



วิทยานิพนธ์

นวัตกรรมการผลิตเซลลูโลสรูปทรงกลมที่มีรูพรุนจากเยื่อฟางข้าวและ
ซังข้าวโพด

**INNOVATIVE MICRO POROUS SPHERICAL CELLULOSE
BEADS FROM RICE STRAW PULP AND CORNCOB PULP**

นางสาวพัชรลักษณ์ พรหมถาวร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)
ปริญญญา

วิศวกรรมเคมี

สาขา

วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา

เรื่อง นวัตกรรมการผลิตเซลล์โลสรูปลูกกลมที่มีรูพรุนจากเยื่อฟางข้าวและขังข้าวโพด

Innovative Micro Porous Spherical Cellulose Beads from Rice Straw Pulp and Corncob Pulp

นามผู้วิจัย นางสาวพัชรลักษณ์ พรหมถาวร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศิริกัญญา ศิริรัตนมณี
(รองศาสตราจารย์ศิริกัญญา สุวจิตตานนท์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงกาญจนาย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงกาญจนาย, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.
(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 3 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

นวัตกรรมการผลิตเซลล์รูพรุนทรงกลมที่มีรูพรุนจากเยื่อฟางข้าวและซังข้าวโพด

Innovative Micro Porous Spherical Cellulose Beads From Rice Straw Pulp and Corncob Pulp

โดย

นางสาวพัชรลักษณ์ พรหมถาวร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

พ.ศ. 2551

พัชรลักษณ์ พรหมถาวร 2551: นวัตกรรมการผลิตเซลลูโลสรูพรุนที่มีรูพรุนจากเยื่อฟางข้าวและ
ซังข้าวโพด ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชา
วิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, Ph.D.
94 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการผลิตเซลลูโลสที่มีรูพรุน เพื่อใช้แทน Sephadex G-25(G-25) ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูก
นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการด้าน Chromatography, กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchanger) เป็น
ต้น โดยในงานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมคือ ฟางข้าว และซังข้าวโพดซึ่งมีส่วนของ
เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่ในขั้นตอนการทดลองนั้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการปรับ
สภาพของฟางข้าวและซังข้าวโพดเพื่อกำจัด สารแทรก เหมิเซลลูโลส และ ลิกนิน สุดท้ายแล้วจะได้แอลฟา
เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ 82.12%, 95.24% สำหรับฟางข้าวและซังข้าวโพด ตามลำดับ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนที่สองเป็น
กระบวนการผสมหนืด ในขั้นนี้จะนำแอลฟาเซลลูโลส นำมาอย่างละ 5 กรัม แช่ใน 18% โซเดียมไฮดรอกไซด์
นาน 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วแยกเอาส่วนน้ำออกแล้ววางไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา นาน 48 ชั่วโมง จึงทำ
ปฏิกิริยาต่อกับคาร์บอนไดออกไซด์ใน 1:4 โดยน้ำหนัก แล้วนำเข้าเครื่องสั่นเป็นเวลา 10 ชั่วโมง และทำการเจือ
จางด้วย 6% โซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 6:1 และเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึงทุกอนุภาคจึงนำเข้าเครื่อง
อุลตราโซนิกนาน 6 นาที จึงได้สารละลายหนืด (Viscose) จากแอลฟาเซลลูโลสของฟางข้าวและซังข้าวโพดที่มี
น้ำหนัก 65 กรัมเท่ากัน แล้วเข้าสู่ขั้นที่สามซึ่งเป็นขั้นการขึ้นรูปและสร้างรูพรุนซึ่งในการทดลองจะใช้แป้งมัน
สำปะหลังเป็นตัวสร้างรูพรุน กระบวนการในขั้นนี้คือนำ Viscose ที่ได้จากขั้นที่สองนั้นมาผสมกับแป้งมัน
สำปะหลัง โดยมี 4 การทดลองคือ ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 0% 5% 15% และ 25% โดยน้ำหนักใน Viscose
เมื่อผสม Viscose และแป้งมันสำปะหลังแล้ว นำไปเทลงในน้ำมันคาร์เนชั่น-70 แล้วใช้ใบพัดกวนที่ 1500 rpm
ทำให้เกิดอิมัลชัน ซึ่ง Viscose จะแตกตัวเป็นอนุภาคทรงกลมเล็กๆ และให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียสนาน
45 นาทีที่ความเร็วรอบเดิม แล้วกรองแยกเอาส่วนน้ำมันออก นำ Viscose ที่แตกตัวออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ไปแช่
10% กรดซัลฟูริกนาน 15 นาที แล้วนำไปล้างกับน้ำร้อน 5 ครั้งแล้วอบ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาคุณสมบัติทาง
กายภาพของ beads เทียบกับ G-25 พบว่า beads ที่ผลิตได้จากสองวัตถุดิบนั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่า G-25
อนุภาคของผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่กว่า G-25 คือมีการกระจายขนาดอยู่ในช่วง 237-240 ไมโครเมตร และมีการ
กระจายขนาดของอนุภาคที่สม่ำเสมอคล้ายกับ G-25 และพบว่าจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังใน
Viscose จาก 0% - 25% โดยน้ำหนักนั้นทำให้ปริมาตรรูพรุนของผลิตภัณฑ์เพิ่มจาก 0.0366-0.098 cc/g สำหรับ
ฟางข้าว และ 0.0378 - 0.095 cc/g สำหรับซังข้าวโพด และมีปริมาตรรูพรุนมากกว่า G-25 และจากการเพิ่ม
ปริมาณแป้งใน Viscose มีผลทำให้ลดพื้นที่ผิวของอนุภาคลงจาก 29.5 ไปเป็น 8.63 m²/g สำหรับฟางข้าว และ
28.87 ไปเป็น 10.17 m²/g และมีพื้นที่ผิวมากกว่า G-25

พัชรลักษณ์ พรหมถาวร
ลายมือชื่อผู้สมัคร

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

28 / 05 / 2551

Patcharalux Promthaworn 2008: Innovative Micro Porous Spherical Cellulose Beads from Rice Straw Pulp and Corncob Pulp. Master of Engineering (Chemical Engineering), Major Field: Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Sirikalaya Suvachittanont, Ph.D. 94 pages.

This research is to study the method to produced Cellulose with micro porous-like property from agriculture-residual materials to substitute Sephadex G-25. Sephadex G-25 is important for Chromatography production, Ion exchanger and etc. This study aims to recycle agriculture-residual materials: rice straw and corn cob in which are cellulose in gradient. This method has 4 processes. First process is to separate unwanted material away such as Hemi cellulose, Lignin. Received from this step, we got pure alpha cellulose 82.12%, 95.24 % from rice straw and corn cob respectively. Second step, Viscose process, we mixed each receives from first step 5 gram with 18 % sodium hydroxide for 2 hours at room temperature. Liquid derived from this step was left for 48 hours, room temperature in which Alkali cellulose, we get. We mixed alkali cellulose with Carbon-disulfide (CS_2) 1:4 by weight and left this mixture in shaking incubator for 10 hours. Then diluted with 6 % sodium hydroxide (Sodium hydroxide to alpha cellulose is 6:1) in Ultrasonic for 6 minutes for completion of mixing and now we get 2 viscose samples, viscose from rice straw and corn cob, 65 gram for each. Third step, cellulose beads formation process, we mixed each viscose with cassava starch for 4 concentration: 0%, 5%, 15%, and 25% and rinsed this mixture in Carnation solution-70 and speed 1500 round per minute to be emulsion, in this step viscose is divided into small particle, next, speed it again for 45 minutes in 95 degree Celsius. Then separated from oil by filtration, and separated viscose from cassava starch by dimmed in 10 % sulfuric acid for 15 minutes and rinsed with hot water 5 times. Now we get cellulose bead derived from rice straw and corn cob.

The last step, qualify process, compared cellulose bead with Sephadex G-25: Cellulose bead has lower density, but larger size, eventually size about 237-240 micrometer. The higher cassava starch we use, we get: increment from 0.0366 to 0.098 cc/gram for rice straw and from 0.0378 to 0.095 cc/gram for corn cob. Cellulose bead has more particle size than Sephadex G-25 and cassava starch percent inversely related to surface area of cellulose beads: from 29.5 to 8.63 m^2 /gram for rice straw and from 28.87 to 10.17 m^2 /gram for corn cob, but higher surface area than from Sephadex G-25

Patcharalux Promthaworn

Student's signature

Sirikalaya Suvachittanont 28 / 05 / 2551

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้ความดูแลเอาใจใส่และให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์อย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ปั่นสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษาในส่วนหนึ่งงานวิจัยและทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากหน่วยงานดังต่อไปนี้ สถาบันพัฒนาและวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการพัฒนายุทธศาสตร์และวิจัยด้านวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ADB)

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการของภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ช่วยติดต่อประสานงานและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ วิศวกรรมเคมี และบุคคลรอบข้างทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และความรู้สึกที่ดีตลอดมา รวมถึงคำแนะนำและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ประโยชน์อันใดอันจะเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาอบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำต่างๆ จนถึงปัจจุบัน

พัชรลักษณ์ พรหมถาวร

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	56
อุปกรณ์	56
วิธีการวิจัย	59
ผลและวิจารณ์	64
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	85
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เซลลูโลสที่มีตามธรรมชาติ	10
2	แสดงคุณสมบัติของเซลลูโลสในเตรดทางการค้า	20
3	แสดงคุณสมบัติของเซลลูโลสอะซิเตดทางการค้า	22
4	ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว	34
5	ลักษณะภายนอกของอิมัลชัน	35
6	ปริมาณสารเคมีและเวลาในการบ่มของวัตถุดิบชนิดต่างๆที่ใช้ในการเตรียม Viscose	46
7	สรุปการเตรียมตัวอย่างการทดลอง	61
8	เปรียบเทียบการผลิตรีโอเก่าและวิธีใหม่	63
9	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวและซังข้าวโพด	66
10	ผลการทดลองหาความหนาแน่นของอนุภาค	67
11	ผลการกระจายขนาดอนุภาค ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิวของอนุภาค	69
12	ผลการทดลองหาค่าซึลิกอนและเหล็กในผลิตภัณฑ์	76

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาการเกิด Cellulose Xanthate	5
2	การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สังเคราะห์ได้จาก Methanolysis	6
3	แสดงพอลิไคเมทิลไซลอคเซน	6
4	ชั้นของผนังเซลล์ของไม้	10
5	โครงสร้างของ Microfibril	11
6	พื้นผิวส่วนประกอบโครงสร้างพืช	12
7	โมเลกุลของกลูโคสซึ่งเป็นหน่วยซ้ำในเซลลูโลส	12
8	โครงสร้างของเซลลูโลสแบบ Haworth formular	13
9	โครงสร้างของเซลลูโลสแบบ Chair formular	13
10	กระบวนการทำเซลลูโลสยวติและอนุพันธ์ของเซลลูโลส	18
11	กระบวนการทำเซลลูโลสในเตา	19
12	การทำเซลลูโลสอะซิเตด	20
13	ปฏิกิริยาของ Methylation หรือ Ethylation ของ Alkali Cellulose กับ Methy หรือ Ethy Halide	22
14	ปฏิกิริยาของ Acrylonitrile กับ Alkali cellulose	22
15	Alkali Cellulose ทำปฏิกิริยากับ Ethylene oxide	24
16	Alkali Cellulose ทำปฏิกิริยากับ Propylene oxide	24
17	หมู่ Secondary Hydroxyl ใน Hydroxypropyl Group ทำปฏิกิริยา Hydroxyl Propylation ทำให้เกิดสายโซ่กิ่ง	25
18	การผลิต Hydroxypropyl methyl cellulose	26
19	การผลิต Sodium Chloroacetate	27
20	สูตรโครงสร้างของไซลอส ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม	30
21	สูตรโครงสร้างของโพลิเมอร์ไซเลน ประกอบด้วยโครงสร้างหลักของน้ำตาลไซเลส ที่ต่อกันด้วยพันธะ เบต้า - ไกลโคสิติก	30
22	สูตรโครงสร้างหลักของ 4-เมทิล-ดี-กลูโคยูโรนิค	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	โมเลกุลลิคินิน	32
24	ฟางข้าว	33
25	ชนิดของฟิล์มที่ผิวประจันระหว่างน้ำและน้ำมันที่เกิดจากตัวทำอิมัลชันชนิดต่างๆ กรณีที่มีอิมัลชันเป็น O/W	39
26	Lamellar liquid crystal ซึ่งประกอบด้วยน้ำ-ตัวทำอิมัลชัน-น้ำมัน-ตัวทำอิมัลชันน้ำ	40
27	ลักษณะการเรียงตัวของฟิล์มที่หุ้มรอบหยดน้ำมันของตัวทำอิมัลชันชนิดประจุลบ	41
28	ผลของตำแหน่งที่อยู่แรกเริ่มของตัวทำอิมัลชันและอุณหภูมิที่ใช้ต่อขนาดของ อนุภาค	45
29	แบบจำลองของปฏิกิริยา Inverse Emulsion	53
30	แบบจำลองของปฏิกิริยา Inverse Microemulsion	53
31	กลไกของกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันใน สัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ใน Microemulsion	53
32	เครื่อง Multipyconometer	54
33	เครื่อง Autosorb-1	56
34	เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง	57
35	เครื่อง FTIR รุ่น SCCH 43-A036231	57
36	โครงสร้างทางเคมีของ Sephadex G-25	57
37	การเปรียบเทียบกระบวนการผลิต Micro porous cellulose beads	66
38	FTIR สเปกตรัมของเยื่อแอลฟาเซลลูโลสจากฟางข้าว ชังข้าวโพด เยื่อจากไทย เรยอง	66
39	สารละลายชนิดที่ผ่านกระบวนการกวนในน้ำมันและให้ความร้อนนาน 45 นาที	70
40	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคกับปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ ใส่ในViscose	72
41	ความสัมพันธ์ของปริมาตรรูพรุนและสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลัง	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	ความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวของอนุภาคกับสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่ใส่ลงใน Viscose	75
43	การกระจายขนาดอนุภาคสำหรับการทดลองที่ 1-4 และ Sephadex G-25	76
44	การกระจายอนุภาคสำหรับการทดลองที่ 5-8 และ Sephadex G-25	77
45	แสดงการกระจายอนุภาคสำหรับการทดลองที่ 1-8 และ Sephadex G-25	78
46	เปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาคโดยวิธีการขึ้นรูปแบบเก่าและใหม่	79
47	แบบจำลองการเกิดรูพรุนในอนุภาคของผลิตภัณฑ์	86

การผลิตเซลลูโลสที่มีรูพรุนจากเยื่อฟางข้าวและซังข้าวโพด

Innovative Micro Porous Spherical Cellulose Beads From Rice Straw Pulp and Corncob Pulp

คำนำ

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงทำให้มีผลผลิตที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมากมาย เช่น ชานอ้อย ใบสับปะรด ฟางข้าว ซังข้าวโพด ฯลฯ ซึ่งโดยองค์ประกอบหลักแล้ววัสดุเหลือทิ้งจากทางภาคเกษตรกรรมเหล่านี้จะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากทางภาคเกษตรกรรมเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ได้ในหลายๆด้าน ดังนั้นในปัจจุบันนี้ทำให้มีงานวิจัยหลากหลายในการนำเซลลูโลสที่สกัดได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาใช้งาน เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าแก่ผลผลิตที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม

ในงานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในหลายงานวิจัยที่ได้้นำเซลลูโลสที่สกัดได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากทางภาคเกษตรกรรมมาใช้งาน โดยเลือกใช้ฟางข้าวจากอำเภอสองเนิน จังหวัดนครราชสีมา และซังข้าวโพดจากบริษัทเบทาโกร เพื่อนำมาผลิตเซลลูโลสที่มีรูพรุน โดยนำไปใช้แทน Sephadex G-25 ซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มีรูพรุนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมด้านกระบวนการดูดซับโปรตีน การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ใช้กับปฏิกิริยาเคมีที่ต้องสัมผัสกับคะตะลิสต์ (Catalyst)

ในการผลิตแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกเป็นการปรับสภาพวัตถุดิบ โดยการนำฟางข้าวและซังข้าวโพดมาสกัดสารแทรก ล้างลิกนินและ เฮมิเซลลูโลสออก จะได้เยื่อแอลฟาเซลลูโลส แล้วเข้าสู่ขั้นตอนที่สองคือกระบวนการผสมหนืด(Viscose) เป็นการนำเยื่อแอลฟาเซลลูโลสที่ได้มา รีเจนเนอเรตใหม่และขึ้นรูปเป็นทรงกลมซึ่งเป็นขั้นตอนที่สาม ในขั้นนี้จำนำวิสคอสที่ได้มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นตัวกำหนดรูพรุน โดยเมื่อผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว นำไปขึ้นรูปเป็นทรงกลมโดยใช้วิธี Water In Oil แล้วนำไปแช่ 10% กรดซัลฟูริกเพื่อล้างแป้งออก จะทำให้ได้เซลลูโลสที่มีรูพรุน จากนั้นเข้าสู่ขั้นสุดท้ายคือการนำเซลลูโลสที่มีรูพรุนจากฟางข้าวและซังข้าวโพดไปวิเคราะห์หาความหนาแน่น ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิว และสุดท้ายนำไปหาปริมาณโลหะในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลของSephadex G-25

วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตเซลลูโลสที่มีรูพรุนรูปทรงกลมจากเยื่อฟางข้าวและซังข้าวโพด
2. เพื่อนำคุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสที่มีรูพรุนรูปทรงกลมจากเยื่อฟางข้าวและข้าวโพดที่ได้เทียบกับ Sephadex G-25
3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาเพิ่มคุณค่า

ขอบเขตงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงการปรับสภาพฟางข้าวจากอำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมาและซังข้าวโพดจากบริษัทเบทาโกร
2. เพื่อศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ Viscose
3. เพื่อศึกษาถึงการขึ้นรูปเซลลูโลสที่มีรูพรุนรูปทรงกลมให้เป็นทรงกลมโดยใช้วิธี Water In Oil
4. เพื่อศึกษาหาแนวโน้มของปริมาณโดยน้ำหนัก Viscose ต่อ ปริมาณโดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อปริมาณรูพรุน ความหนาแน่น พื้นที่ผิว การกระจายขนาดอนุภาค

การตรวจเอกสาร

พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์ คือ สารที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว หรือประกอบด้วยอะตอมนับหลายพันอะตอมมาเชื่อมต่อกัน คำว่า Poly หมายถึง มาก หรือ หลายๆ ส่วน Mer หมายถึง หนึ่งหน่วย ดังนั้นเมื่อนำสองตัวมารวมกันแล้วจึงมีความหมายว่า “หลายๆหน่วยที่มาต่อเชื่อมกัน” โดยทั่วไป Mer หรือหน่วยซ้ำ จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน แต่หน่วยซ้ำจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีประเภทโควาเลนต์ ซึ่งพอลิเมอร์เป็นผลลัพธ์จากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน และแต่ละชนิดของพอลิเมอร์อาจมีสมบัติแตกต่างกัน เนื่องจาก ขนาดของโซ่โมเลกุลหรือโครงสร้างทางเคมีของหน่วยซ้ำที่ต่างกัน

สามารถจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ได้หลายประเภท เช่น ตามแหล่งกำเนิด ตามโครงสร้างของสายโซ่ จำแนกตามตอบสนองต่ออุณหภูมิ จำแนกตามตำแหน่งของมอนอเมอร์ จำแนกตามลักษณะปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ตามการจัดเรียงตัวของสายโซ่ แต่ในที่นี้ขอยกตัวอย่างจากการจำแนกตามแหล่งกำเนิดคือ

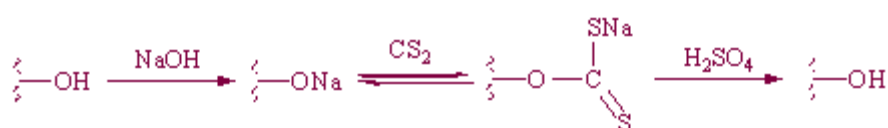
จำแนกตามแหล่งกำเนิดของพอลิเมอร์ (Classification by origin)

1. พอลิเมอร์จากการสังเคราะห์สารอินทรีย์ (Synthetic organic polymers) พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้มีความสำคัญเป็นที่รู้จัก และถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันของเรามากที่สุด โมเลกุลของพอลิเมอร์ประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ ถ้าในหนึ่งโมเลกุลประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมด เรียกพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า โฮโมพอลิเมอร์ แต่ถ้าประกอบไปด้วยมอนอเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าเรียกพอลิเมอร์นี้ว่า โคพอลิเมอร์ โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ในกลุ่มนี้มีลักษณะที่เรียกว่า พอลิดีสเพอร์ส (Polydisperse) ความยาวของแต่ละโมเลกุลไม่เท่ากัน และน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน เมื่อกล่าวถึงน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์จึงหมายถึงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลทั้งหมด

2. ไบโอฟอลิเมอร์ (Biopolymers) พอลิเมอร์ประเภทนี้รวมถึง ขาธรรมชาติ พอลินิวคลีโอไทด์ พอลิแซ็กคาไรด์ (เซลลูโลส แป้ง) และ โปรตีน เป็นต้น ในโมเลกุลของไบโอฟอลิเมอร์บางชนิด เช่น โปรตีน ประกอบไปด้วยมอนอเมอร์หลายชนิด (กรดอะมิโนมากถึง 20 ชนิด) เชื่อมต่อกันด้วยลำดับที่เฉพาะเจาะจง และด้วยความยาวที่แน่นอน ดังนั้นแต่ละโมเลกุลจึงมีลักษณะเหมือนกัน

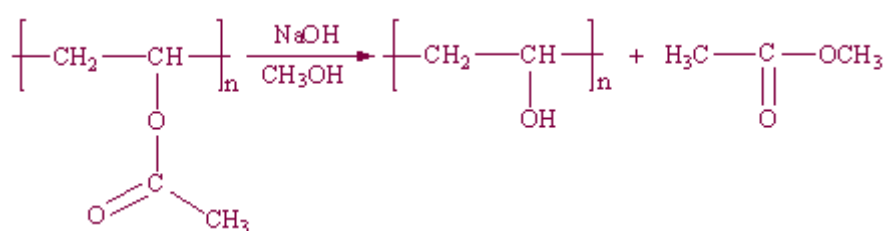
น้ำหนักโมเลกุลเท่ากันหรือมีลักษณะที่เรียกว่า โมโนดิสเพอร์ส (Monodisperse) ไบโอพอลิเมอร์อื่นที่มีลักษณะนี้คือ พอลินิวคลีโอไทด์ เช่น ดีเอ็นเอ (DNA)

3. พอลิเมอร์กึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetic polymers) พอลิเมอร์ประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของพอลิเมอร์ไบโอพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น เอสเทอร์ หรือ อีเทอร์ของเซลลูโลส หรือ อะไมโดส รวมทั้งยังที่ผ่านการวัลคาไนซ์มาแล้ว ปฏิกิริยาดังกล่าวมักเกิดกับหมู่แทนที่ (Substituent) หรือหมู่ข้างเคียง (Side Group) ของไบโอพอลิเมอร์ โดยไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างหลักของสายโซ่โมเลกุล ดังตัวอย่างภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาการเกิด Cellulose Xanthate

หมู่ -OH ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ในเซลลูโลสสามารถเกิดปฏิกิริยา และถูกเปลี่ยนเป็นโซเดียมเซเนเทท (Sodium Xanthate) เมื่ออยู่ในโครงสร้างนี้ทำให้เซลลูโลสอยู่ในสภาพที่ละลายได้สามารถนำไปผ่าน กระบวนการเพื่อขึ้นรูปเป็นเส้นใย (เรยอน) หรือฟิล์ม (เซลโลเฟน) ได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับหมู่แทนที่ หรือ หมู่ข้างเคียงใน โมเลกุลพอลิเมอร์ เรียกว่า Polymer Analogous Reaction สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ได้ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สังเคราะห์ได้จากการ Methanolysis ของพอลิไวนิลอะซิเตต

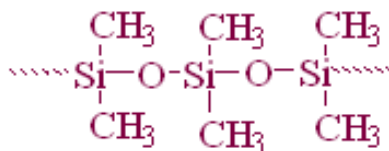


ภาพที่ 2 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สังเคราะห์ได้จากการ Methanolysis

ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญมาก เพราะไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์ ($\text{CH}_2=\text{CHOH}$) ไม่เสถียรสามารถเกิด Tautomerize ไปเป็นอะเซตัลดีไฮด์ (CH_3CHO) ได้ง่าย จึงไม่นิยมเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิเมอร์ไรเซชันของไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์โดยตรง

4. พอลิเมอร์อนินทรีย์ (Inorganic polymers) คำจำกัดความของพอลิเมอร์ประเภทนี้ ในที่นี้จะจำแนกพอลิ-เมอร์อนินทรีย์โดยใช้โครงสร้างของสายโซ่หลัก (back bone) ในโมเลกุลของพอลิ

เมอร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยอะตอมชนิดอื่น ๆ นอกจากคาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจน เช่น พอลิไดเมทิลซิลอกเซน ที่มีอะตอม Si เป็นส่วนประกอบของสายโซ่หลัก



Poly(dimethyl siloxane)

ภาพที่ 3 พอลิไดเมทิลซิลอกเซน

เซลลูโลสติกไบโอแมส (Cellulosic Biomass)

เซลลูโลสติกไบโอแมส (Cellulosic biomass) หมายถึง สารที่มีองค์ประกอบหลักอย่างแรกเป็นเซลลูโลส และมีองค์ประกอบหลักอื่นๆคือ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ส่วนองค์ประกอบรองจะเป็นพวกโปรตีน, ไขมัน, สารประกอบอินทรีย์ต่างๆ และ แป้ง สารที่ใช้ส่วนใหญ่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 40-60% เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสมีโซ่ยาว (DP) 1000-10000 เป็น โพลิเมอร์แบบเส้นตรงไม่มีกิ่ง กลูโคสแต่ละตัวเชื่อมต่อกันด้วยโซ่ $\beta - 1,4$ โซ่โพลิเมอร์แต่ละสายจะวิ่งขนานกันและสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกัน ซึ่งอาจจะสูงถึง 3 พันธะต่อ 1 หน่วยกลูโคส แต่เมื่อรวมกันหลายๆ สายจะเรียกว่า ไมโครไฟบริล (Microfibril) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบโครงผลึกสามมิติ ส่วนที่เป็นเซลลูโลสแบบผลึก(Crystalline) นั้นจะมีความคงทนต่อเอนไซม์และกรดมาก ส่วนที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนแต่มีการจัดเรียงตัวแบบสุ่มจะเรียกว่าเซลลูโลสแบบอสัณฐาน(Amorphous) เซลลูโลสธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลสแบบผลึกแหล่งที่มาหลักๆ ของเอทานอล คือ กลูโคส ซึ่งมาจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส คือโพลิเมอร์ที่ผสมกันระหว่างโพลิเมอร์แบบเส้นตรงและโพลิเมอร์แบบมีกิ่งของน้ำตาลคาร์บอน 5 เช่น ไซโลสและอรานิโนส และน้ำตาลคาร์บอน 6 เช่น กลูโคส แมนโนส และกาแลคโตส เฮมิเซลลูโลสนี้จะถูกละลายและถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลทั่วไปโดยกรดเจือจางที่อุณหภูมิประมาณ 120°C ซึ่งสารที่ใช้ส่วนใหญ่ในกระบวนการจะมีเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบอยู่ 15-25% ลิกนินเป็นส่วนที่แยกออกจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ในที่นี้ลิกนินจะไม่ใช้ส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต แต่จะประกอบด้วยโครงผลึกของฟีนอลิก-โพเพน ลิกนินนี้เปรียบเสมือนเป็นตัวป้องกันน้ำและเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงคอยป้องกันการทำร้ายจากจุลินทรีย์ ลิกนินจะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆในกระบวนการเตรียมและกระบวนการไฮโดรลีส มันเพียงถูกลดความเป็นโพลิเมอร์ลงเท่านั้น

การเผาลิกนินจะเป็นการผลิตพลังงานให้กับโรงงาน สารที่ใช้กระบวนการผลิตส่วนมากจะมี ลิกนินเป็นส่วนประกอบอยู่ 15-30% เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดในเซลล์พืช ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่เซลล์พืช โดยธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสในรูปอิสระแต่มักรวมกับลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมัน และสารเกิดสีเป็นต้น

เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากกว่าศตวรรษในการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เนื่องจากสามารถดัดแปร ปรับปรุงได้มากมายและเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable) มีประวัติอันยาวนานเกี่ยวกับการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ แต่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีและโครงสร้างทางกายภาพนั้นเป็นความรู้ใหม่ ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทางด้านพอลิเมอร์ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาปรับปรุง เพื่อนำความรู้ใหม่เกี่ยวกับการนำเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ เซลลูโลสมีสมบัติพิเศษกว่าวัสดุอื่นๆ มีโครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้มีลักษณะแข็งและมีผลึกค่อนข้างสูงทำให้ละลายในสารละลายอินทรีย์โดยทั่วไปได้ยาก คุณสมบัติเหล่านี้ส่งเสริมให้เซลลูโลสสามารถนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมได้ มีการค้นพบที่สำคัญคือเซลลูโลสมีลักษณะดัดแปรทางเคมีจะสามารถละลายน้ำ สารละลายอินทรีย์และสารละลายที่เป็นอนุพันธ์ของโลหะได้ อนุพันธ์เซลลูโลสที่ผ่านการดัดแปรนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้เป็นยา เครื่องสำอาง อาหารและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น

สามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามปริมาณการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ 3 ชนิด คือ

1. แอลฟาเซลลูโลส (α - Cellulose) คือเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5 % ที่อุณหภูมิห้อง
2. เบต้าเซลลูโลส (β - Cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5 % ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งก็คือแอลฟาเซลลูโลสที่ถูกทำให้ DP ลดลง และจะตกตะกอนในสภาพที่เป็นกรด
3. แกมมาเซลลูโลส (γ - Cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 17.5 % ทุกสภาพความเป็นกรด-ด่าง และตกตะกอนได้ด้วยแอลกอฮอล์

แหล่งของเซลลูโลส

เซลลูโลสที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะกระจายอยู่ทุกแห่งในอาณาจักรพืชในต้นไม้ใหญ่ ไม้เล็ก และในต้นหญ้า โดยรวมแล้วประมาณ 40% ของปริมาณคาร์บอนในพืชที่มีอยู่บนโลกไม่น้อยกว่า 10^{11} ตัน พืชเซลล์สาหร่ายสีเขียวและ Flagellate บางชนิด และเชื้อหุ้มเซลล์ของเราทุกชนิดจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ แต่ไม่พบโครงสร้างที่เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ ในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งพบเซลลูโลส 40-50% โดยน้ำหนัก ในลิกนินมี 70-85% ส่วนฝ้ายซึ่งเป็นเส้นขนของเมล็ดพบว่า มีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลสมากที่สุดคือมากกว่า 90% และฟางข้าวพบได้ 40-45% ดังตารางที่ 1

ผลิตภัณฑ์เซลลูโลสในทางการค้าและใช้ในปริมาณมากจะอยู่ในรูปเซลลูโลสบริสุทธิ์ เช่น ฝ้าย หรือพวงไม้ การแยกเซลลูโลสออกจากไม้เป็นสิ่งที่ยากกว่าแยกออกจากสิ่งอื่นๆ อย่างไรก็ตาม กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการแยกเซลลูโลสออกจากไม้จัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทั่วโลก ในปี 1990 เซลลูโลสประมาณ 224 ล้านตัน ผลิตได้จากไม้ ในทุกๆ ปี เซลลูโลสมากกว่าหนึ่งล้านตันจะใช้ในการผลิตเส้นใยสิ่งทอ

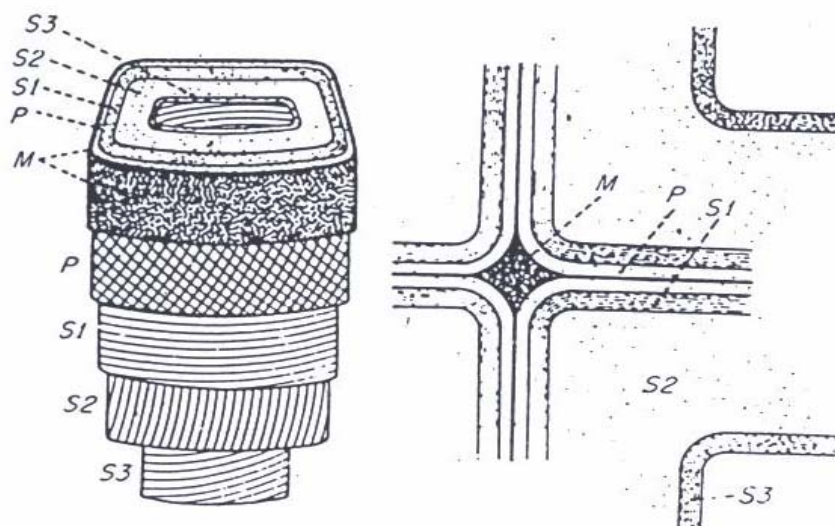
ตารางที่ 1 เซลลูโลสที่มีตามธรรมชาติ

แหล่งที่พบ	ปริมาณเซลลูโลส(%)
ชานอ้อย	35-45
ไม้ไผ่	40-55
ฝ้าย	90-99
ปอ	70-75
ป่าน	75-80
ปอกระเจ็ด	60-65
นุ่น	70-75
ป่านรามิ	70-75
ฟาง	40-45
ไม้	40-45

ที่มา: D. Severian (1996)

โครงสร้างทางกายภาพ

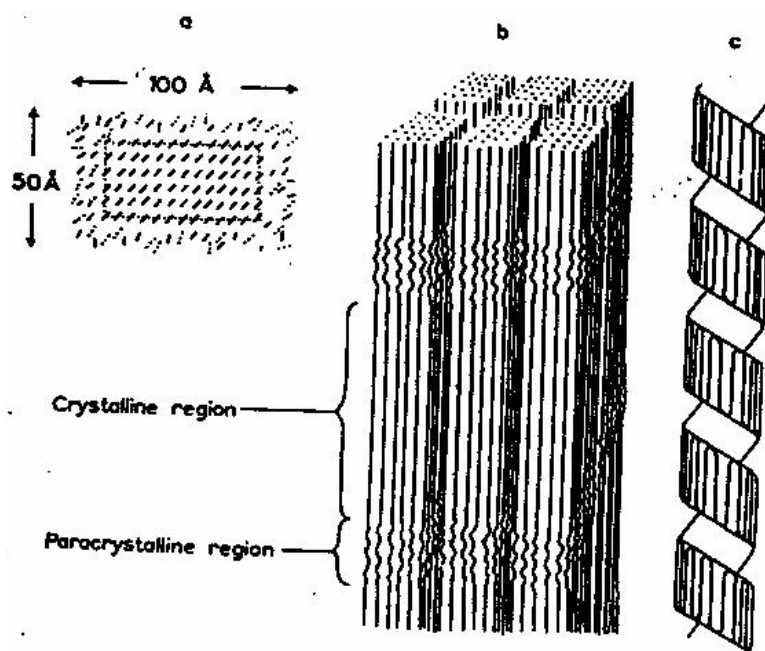
เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 90% ของเส้นใยฝ้าย แต่มีอยู่ประมาณ 45% ในผนังเซลล์ของไม้บางชนิด โครงสร้างทางโมเลกุลของเซลลูโลสในฝ้ายและไม้คล้ายกันมาก เส้นใยของฝ้ายเป็นอิสระต่อกันแต่เส้นใยของไม้มีโครงสร้างเป็น 3 มิติดังภาพที่ 4



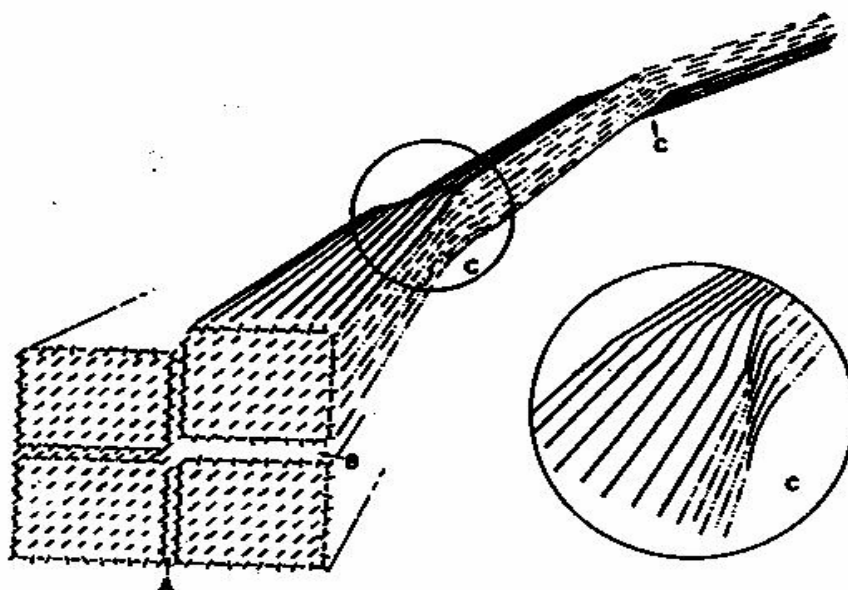
ภาพที่ 4 ชั้นของผนังเซลล์ของไม้ ชั้น M เป็นชั้นกลาง ถัดมาเป็นผนังชั้นปฐมภูมิ (Primary Walls, P) ผนังชั้นทุติยภูมิ (Secondary Walls) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนนอก (S1) ส่วนกลาง (S2) และส่วนใน (S3)

ทั้งฝ้ายและไม้ในเส้นใยจะมีผนังชั้นปฐมภูมิบางๆ ซึ่งล้อมรอบด้วยผนังชั้นทุติยภูมิที่หนากว่า ทั้งไม้และฝ้ายจะมีผนังชั้นทุติยภูมิที่ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ 3 ส่วน เรียกว่า S1 S2 และ S3 ชั้นเนื้อเยื่อ S2 มีความหนาที่ไม่แน่นอน แต่มักเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของสารในผนังเซลล์ โมเลกุลของเซลลูโลสในชั้นเนื้อเยื่อ S1 และ S3 มีลักษณะเป็นเส้นแบนขดเป็นเกลียวเมื่อเทียบกับแกนของเส้นใย ในขณะที่เนื้อเยื่อชั้น S2 ตั้งขนานกับแกนของเส้นใย ในฝ้าย เนื้อเยื่อชั้น S2 ตั้งในลำดับของวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางร่วมกัน โดยจำนวนของเนื้อเยื่อชั้น S2 นั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของเส้นใยในเนื้อเยื่อแต่ละส่วนของผนังชั้นทุติยภูมิ เซลลูโลสและส่วนประกอบอื่นของผนังเซลล์ถูกรวมตัวกันเป็นลักษณะมัดที่ยาวและบางเรียกว่า Micro-fibril แต่ละ Micro-fibril โมเลกุลของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นตรงมีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันทางด้านข้าง บริเวณที่มีความหนาแน่นกันมากโมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่าส่วนโครงสร้างผลึก และส่วนที่มีความเป็นระเบียบน้อยกว่าเรียกว่าส่วนอสัณฐาน ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6

จากภาพที่ 5 a แสดงส่วนของ Micro-fibril ที่มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 50×100 อังสตรอม และประกอบด้วยส่วนของแกนที่เป็นผลึก (Crystalline Core) มีความเป็นระเบียบสูงล้อมรอบด้วยส่วนที่เป็นอสัณฐาน ซึ่งในฝ้ายมีโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ แต่ในไม้ประกอบด้วย Hemicellulose และ โมเลกุลของลิกนิน



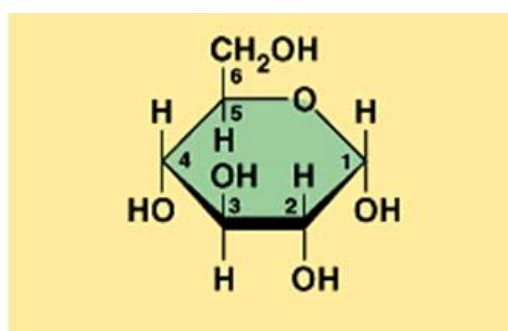
ภาพที่ 5 โครงสร้างของ Micro-fibril (a) แสดงให้เห็นว่า Micro-fibril ประกอบด้วยแกนที่เป็นโครงสร้างผลึกเป็นสี่เหลี่ยมล้อมรอบด้วยส่วนอสัณฐาน (b) แสดงลักษณะของ Micro-fibril อีก รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยเซลลูโลส 15 ถึง 40 โมเลกุลที่รวมกันเป็นส่วนโครงสร้างผลึกและ ส่วนอสัณฐาน (c) เซลลูโลสโมเลกุลพับตัวเป็นเกลียวเป็นลักษณะของโบว์หมุน ในลักษณะเกลียวขวา



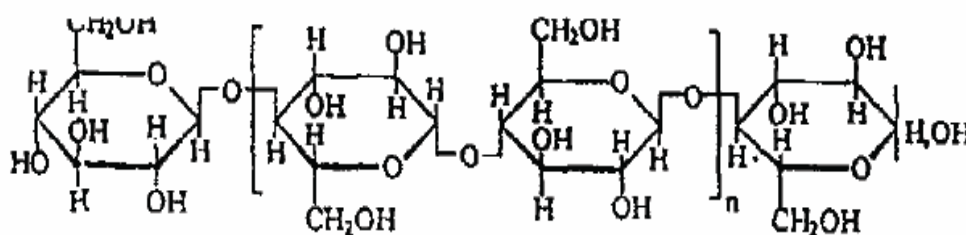
ภาพที่ 6 (A) พื้นผิวส่วนที่ประสานกันของส่วนที่เป็น โครงสร้างผลึก (B) พื้นผิวส่วนที่มีความไม่
เป็นระเบียบเพียงเล็กน้อย (C) พื้นผิวส่วนที่มีการบิดเป็นเกลียว

โครงสร้างทางเคมีและความยาวของสายโซ่โมเลกุล

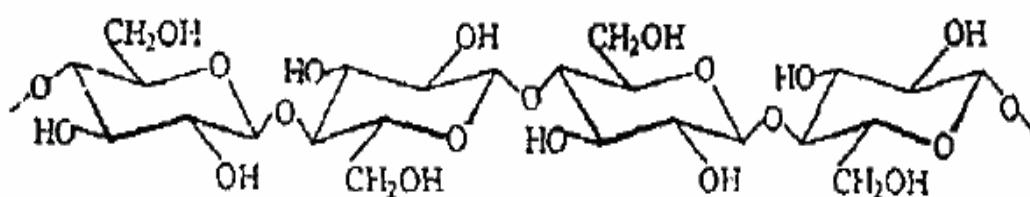
เซลลูโลสจัดเป็น พอลิดีสเพอร์ส (Polydisperse) เป็นพอลิเมอร์เส้นตรงชนิด Syndiotactic หน่วยโมโนเมอร์พื้นฐานคือ D-Glucose ซึ่งยึดติดกันด้วย Glucosidic Linkage ในรูปแบบ β -configuration ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยที่อยู่ติดกัน รูปร่างของสายโซ่เป็นแบบ 1,4 Glucans ดังภาพที่ 6 ซึ่งแสดงแผนภาพอธิบายโครงสร้างของสายโซ่เซลลูโลสและแสดงหน่วยโมเลกุลที่ซ้ำกันดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โมเลกุลของกลูโคสซึ่งเป็นหน่วยที่ซ้ำกันในเซลลูโลส



ภาพที่ 8 โครงสร้างของเซลลูโลสแบบ Haworth formular



ภาพที่ 9 โครงสร้างของเซลลูโลสแบบ Chair formular

เนื่องจากการเชื่อมกันระหว่างโมโนเมอร์เป็นแบบ β -configuration ซึ่งส่งผลให้หน่วยกลูโคสสลับขึ้นลงภายในสายโซ่ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จะพิจารณา cellobios ในหน่วยของเซลลูโลส ซึ่งโมเลกุลขนาดใหญ่จะจัดรูปโครงสร้างเป็นแบบ syndiotactic ขนาดโมเลกุลของเซลลูโลสที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจะแสดงโดย degree of polymerisation (DP) หรือความยาวของสายโซ่ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแหล่งที่มาเป็นอย่างมาก ในบางกรณี DP อาจจะมีมากกว่า 25,000 แต่เซลลูโลสที่บริสุทธิ์ DP และน้ำหนักโมเลกุลจะลดลงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องให้ความสำคัญต่อขั้นตอนการแยกหรือในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์เป็นอย่างมาก ในสำหรับสมบัติของเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสซึ่งจะให้ความสำคัญเฉพาะเซลลูโลสที่มี DP และน้ำหนักโมเลกุลสูงๆเท่านั้น การกระจาย DP หรือน้ำหนักโมเลกุลจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกล สมบัติเกี่ยวกับการละลาย สมบัติทางชีววิทยาและสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส และมีแนวทางการใช้ประโยชน์อีกมากมายเมื่อมีการออกแบบอนุพันธ์ที่มีประสิทธิภาพ

ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาและการเข้าทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเคมีของเซลลูโลสมีการพิจารณาเกี่ยวกับสถานะที่เป็นของแข็งของโครงสร้างโมเลกุลที่ขนาดใหญ่มากของเซลลูโลส เซลลูโลสประกอบด้วยหมู่ Hydroxyl 31-48% โดยน้ำหนัก ซึ่งจะส่งผลต่อวิธีการเตรียมเป็นอนุพันธ์เซลลูโลส การดัดแปรเซลลูโลส ปฏิกิริยาจะเกิดที่ตำแหน่งของ Primaryhydroxy Group และที่ตำแหน่งของ Secondary Hydroxy Group ต่อหนึ่งหน่วยของกลูโคสเปรียบเสมือนสารที่มีหมู่ Hydroxyl เป็นองค์ประกอบ ซึ่งหมู่ Hydroxyl เหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นและปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เนื่องจากประสิทธิภาพของหมู่แทนที่ขึ้นกับความเป็นกรดและแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาของหมู่ Hydroxyl เรียงตามลำดับคือ $OH6 < OH3 < OH2$ ดังนั้นความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ hydroxyl จะสัมพันธ์กับความเป็นกรด หรือไม่ก็ Alkaline ตัวอย่างที่เกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยา Etherification ของหมู่ Hydroxyl ที่เกิดในสถานะ Alkaline โดย Secondary Hydroxy group (OH2) เป็นตำแหน่งที่เกิดได้ง่ายที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ตำแหน่ง ในทางตรงข้าม สำหรับปฏิกิริยา Esterification ตำแหน่ง Primary Hydroxyl Group (OH6) จะเป็นตำแหน่งที่ว่องไวที่สุด ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาชัดเจน คือ Secondary Hydroxyl Group ที่ตำแหน่ง C2 ซึ่งจะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา Heterogeneous Esterification หรือ Etherification ได้ อธิบายได้ว่า เมื่อ OH2 เกิดเป็นไอออนหรือเกิดการแทนที่ ค่าความเป็นกรดที่ OH3 จะลดลง และ OH6 จะมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าหมู่ Hydroxyl เหล่านี้จะว่องไวต่อปฏิกิริยาก็ตาม แต่อาจไม่เกิดปฏิกิริยาได้โดยง่ายในทุกๆตำแหน่งของหมู่ Hydroxyl เนื่องจากหมู่ Hydroxyl เหล่านี้จะมีผลต่อช่องว่างของโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีผลอย่างมากในการควบคุมคุณสมบัติเฉพาะตัวเกี่ยวกับโครงสร้างของเซลลูโลส หมู่ Hydroxyl เหล่านี้จะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล ภายในโมเลกุลนั้น พันธะไฮโดรเจนจะเกิดระหว่าง Anhydroglucose Ring ที่อยู่ติดกัน เสริมให้เกิดเป็นสายโซ่โมเลกุลที่เป็นเส้นตรงที่สมบูรณ์ขึ้นส่วนผลกระทบของพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล ไม่เฉพาะที่จะทำให้สายโซ่โมเลกุลมีลักษณะไม่ยืดหยุ่นแล้ว ยังส่งผลต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ Hydroxyl (Hydroxyl function) อีกด้วย (โดยเฉพาะหมู่ hydroxyl ที่ตำแหน่ง C3) ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ Ring Oxygen ที่อยู่บนหน่วย Anhydroglucose ที่อยู่ติดกัน พันธะภายในโมเลกุลและภายนอกโมเลกุล รวมถึง Secondary Force อื่นๆเช่น แรงดึงดูด Van der Waal สองส่วนนี้ของสายโซ่โมเลกุลจะทำให้เกิดการเรียงตัวเป็นชั้นต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบกับโมเลกุลข้างเคียง ในลักษณะของ Crystal Lattice (เรียกโดยทั่วไปว่า Crystalline region) จนถึง Random Condition (Amorphous Region) เมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่มาของเซลลูโลสพบว่าภายในเส้นใยเซลลูโลสมีบริเวณ Crystalline และ Amorphous เกิดขึ้น 55-75% และ 25-45% ตามลำดับ คุณสมบัติทาง Topochemical จะควบคุม

ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของเซลลูโลสโดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่ Hydroxyl ในบริเวณ Amorphous จะว่องไวต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก และเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายปฏิกิริยาอย่างใดก็ตามบริเวณ Crystalline ซึ่งมีการจัดเรียงตัวที่แน่น และมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ที่แข็งแรง ดังนั้นหมู่ Hydroxyl จึงเกิดปฏิกิริยาได้ยาก แต่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาในส่วน Crystalline ได้โดยการทำให้เกิดการบวมตัวหรือการลดความเป็น Crystalline ซึ่งจะสัมพันธ์อย่างเห็นได้ชัดกับสารที่เข้าทำปฏิกิริยาและสถานะที่ใช้ ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ความดัน และตัวทำละลายที่ใช้ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง เซลลูโลสจึงไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยทั่วไป ดังนั้นปฏิกิริยาส่วนใหญ่ของเซลลูโลสจึงแบ่งเป็น 2 เฟส คือ ปฏิกิริยาที่บริเวณผลึกและ Amorphous

ซึ่งปฏิกิริยาที่จะเกิดมี 4 รูปแบบ คือ

1. Surface reaction
2. Macroheterogeneous reaction
3. Microheterogeneous reaction
4. Permutoid reaction

ซึ่ง surface reaction จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะโมเลกุลของเซลลูโลสที่ส่วนเล็กๆ ของพื้นผิวหรือที่ชัดเจนกว่านี้ก็คือจะเกิดเฉพาะส่วนหนึ่งของบริเวณพื้นผิวเท่านั้น ส่วนปฏิกิริยา Macroheterogeneous จะเริ่มที่พื้นผิว ผ่านเข้าไปใน Fiber จากชั้นหนึ่งสู่อีกชั้นหนึ่ง ถ้าเซลลูโลสละลายหรือบวมตัวเมื่ออยู่ในตัวทำละลาย ปฏิกิริยา Microheterogeneous เกิดขึ้นเมื่อเซลลูโลสบวมตัวในตัวกลางของการเกิดปฏิกิริยาแต่บริเวณผลึก บริเวณที่มีความเป็นระเบียบ หรือบริเวณภายใน fiber จะไม่เกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยา Permutoid (ปฏิกิริยาภายใน Fiber หรือปฏิกิริยาบริเวณผลึก) ขยายเข้าสู่บริเวณที่มีความเป็นระเบียบสูงและบริเวณที่เป็นผลึกที่ไม่เกิดการละลาย ซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของพลังงาน lattice ปฏิกิริยา Microheterogeneous และ Permutoid จะเป็นความเด่นชัดของ Intermicellar และ Intramicellar ตามลำดับในขณะที่ Photochemical และ Weathering Reaction ของเซลลูโลส โดยทั่วไปจะพิจารณาเป็น Surface reaction ส่วน Nitration ของเซลลูโลสจะพิจารณาเป็นปฏิกิริยา Permutoid ปฏิกิริยาของ Microheterogeneous และ Permutoid จะคำนึงถึงประสิทธิภาพของตัวทำละลาย Acetylation ของเซลลูโลสในตัวทำละลายสำหรับ Cellulose Acetate

ซึ่งไม่ทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวจะเกิดปฏิกิริยา Macroheterogeneous ขึ้นได้ ถ้าเกิด Acetylation เพียงบางส่วนของเซลลูโลสจะทำให้เกิด Acetic anhydride ซึ่งเป็นสารทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวและถือว่าเป็นปฏิกิริยา Microheterogeneous มีหลายวิธีที่เพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา เช่น การบวมตัว การเปลี่ยนตัวทำละลายครอบคลุมถึงการใส่ตัวเติมที่ทำให้โครงสร้างขยายตัวหรืออาจใช้เครื่องมือกล ซึ่งเป็นการทำให้พันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมแตกออกและ Intracellulose เกิดการบวมตัว หมู่ Hydroxyl ของเซลลูโลส จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเหมือนกับหมู่ Hydroxyl ของพวก Aliphatic โดยทั่วไปมี Cosolvent หลายชนิดที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับเซลลูโลส เพื่อทำให้เกิดการเข้าทำปฏิกิริยาและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เช่น Dimethyl Sulfoxide / Paraformaldehyde, Lithium Chloride / Dimethylacetamide, Dinitrogen Tetroxide / Dimethylformamide และ Sulfur Dioxide / Nitrosyl Chloride ซึ่ง Cosolvent นี้จะทำให้ปฏิกิริยาการดัดแปรของเซลลูโลสเป็นแบบ Homogeneous ตัวอย่างเช่น จำนวนของหมู่ Hydroxyl ที่เกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงจาก 10-15% ของเซลลูโลส ณ บริเวณที่มี Crystalline สูง หรือมากถึง 85-95% ใน Decrystallized Cellulose และจะเข้าทำปฏิกิริยาได้สูงมาก (98-100%) ก็สามารถเกิดได้ในสถานะที่เซลลูโลสในรูปแบบใหม่ที่ไม่มีผลึก หรืออยู่ในสภาพของสารละลาย

อนุพันธ์ของเซลลูโลส (Cellulose Derivative)

หน่วย D-Glucopyranose ที่มีหมู่ Hydroxyl ซึ่งเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดเป็นอนุพันธ์ต่างๆของเซลลูโลส คุณสมบัติของอนุพันธ์เหล่านี้จะมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับ ชนิด การกระจายตัวและความสม่ำเสมอของหมู่แทนที่ ค่าเฉลี่ยของหมู่ Hydroxyl ที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่แทนที่ เรียกว่า Degree Of Substitution (DS) ซึ่งจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3 ตัวอย่างเช่น Cellulose Ether ที่มีค่า DS = 1.5 แสดงว่า 50%ของหมู่ Hydroxyl ใน Cellulose เกิดปฏิกิริยาและอีก 50% ไม่เกิดปฏิกิริยา นั่นคือเฉลี่ยแล้วมีหมู่แทนที่ 1.5 หมู่ต่อหน่วย Anhydroglucose เมื่อมีการสร้าง Side Chain คือ Molar Substitution (MS) หรือ Degree Of Reaction (DR) ซึ่งจะแสดงถึงความยาวของ Side Chain และค่าของปฏิกิริยาแทนที่จะเกิน 3 ถ้าเป็นค่า DS ก็จะบอกถึงหมู่แทนที่ แต่ส่วนที่แสดงถึงความยาวเฉลี่ยสายโซ่ของหมู่ Ether ที่ Side Chain ซึ่งอาจจะคำนวณได้จากอัตราส่วนของ MS ต่อ DS คุณสมบัติจะมีผลมาจาก DS และ MS ได้แก่ คุณสมบัติในการละลายและ Plasticity คุณสมบัติการละลายและการกระจายตัวของหมู่แทนที่ (Substitution distribution) อนุพันธ์ที่มีค่า DS ต่ำๆจะมีความว่องไวต่อน้ำมากและจะเกิดการกระจายตัวในน้ำ และถ้าค่า DS ของหมู่แทนที่ ที่ไม่มีขั้วสูงๆ ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายได้ก็จะลดลง ส่วนความสามารถในตัวทำละลายอินทรีย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านี้การเพิ่มค่า DS ของหมู่แทนที่ที่ไม่มีขั้ว คุณสมบัติ Plasticity จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

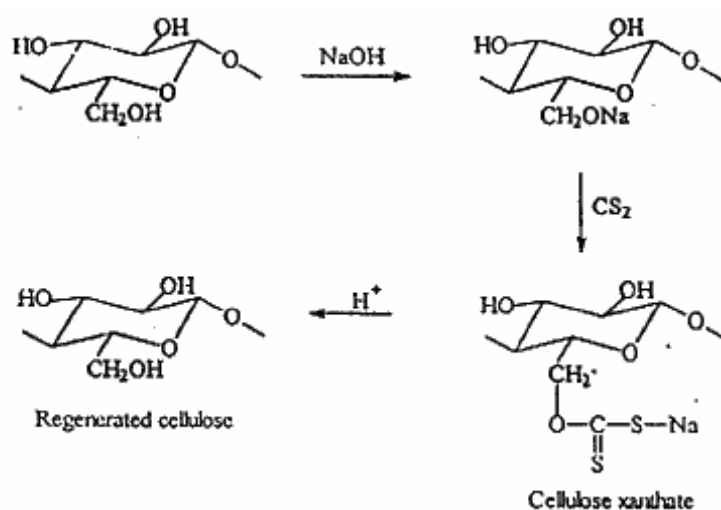
ส่วนที่ไม่มีหมู่แทนที่ หรือว่าบริเวณที่มีหมู่แทนที่น้อยมากๆ บริเวณนี้จะเกิดการบวมตัวสูง มีความหยุ่นหรือไม่ก็อาจจะโปร่งแสงเนื่องจากส่วนที่เป็นเจลอนุพันธ์ของเซลลูโลสสามารถสังเคราะห์ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ Etherification, Esterification, Crosslinking หรือ Graft Copolymer ซึ่ง Graft Copolymer ของ Cellulose Ether จะมีใช้มากที่สุด ซึ่ง cellulose ether จะมีความสำคัญทางด้านเภสัชยา เครื่องสำอาง และทางด้านอาหาร

ชนิดอนุพันธ์ของเซลลูโลส

1. Oxidized Cellulose มีอยู่หลายวิธีที่จะทำให้สายโซ่ในเซลลูโลสเกิดการออกซิไดซ์ โดยที่การเชื่อมโยงแบบไกลโค-ซิดิก (Glycosidic Linkages) ยังคงอยู่ เซลลูโลสสามารถเกิดออกซิไดซ์ด้วยรีเอเจนต์หลายชนิด เช่น $K_2Cr_2O_7$ กับกรดออกซาลิก, $K_2Cr_2O_7$ กับ H_2SO_4 , HIO_4 กับ H_2SO_4 OCI^- OBr^- $KMnO_4$ และ H_3PO_4 ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดหมู่แอลดีไฮด์ คาร์บอกซิลิก และกรดยูโรนิคตลอดสายโซ่ Dinitrogen Tetroxide จะออกซิไดซ์ Primary Hydroxyl เป็นหมู่คาร์บอกซิล และการออกซิเดชันแต่ละครั้งจะให้ได้อัลดีไฮด์เนื่องจากการแตกพันธะระหว่าง C2 และ C3 oxidized cellulose นำไปใช้ทางชีวภาพ เช่น ใช้ในการห้ามเลือดในห้องผ่าตัด

2. Regenerated Cellulose โดยทั่วไปเซลลูโลสจะไม่ละลายในสารละลายอินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของเซลลูโลสจำนวนมากก็สามารถละลายน้ำและสารละลายอินทรีย์ได้ ในทางปฏิบัติจะมีการผลิตสารละลายอนุพันธ์ของเซลลูโลส เพื่อที่จะดึงหมู่ที่คัดแปรออกทำให้เซลลูโลสกลับมาอยู่ในรูปแบบเดิมโดยมีรูปร่างคล้ายไฟเบอร์หรือฟิล์ม

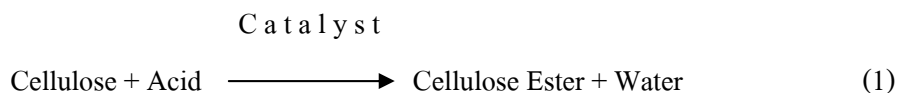
กระบวนการเตรียม Regenerated Cellulose ที่สำคัญก็คือใช้ Xanthate Process ซึ่ง Regenerated Cellulose เตรียมโดยแช่เซลลูโลสไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนเกิดเป็น alkali cellulose ต่อจากนั้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับ CS_2 ได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Alkali – Soluble Cellulose Xanthate และเมื่อให้สารละลาย Viscose Xanthate วิ่งผ่าน Spinnerate และผ่านลงในสารละลายของกรดซัลฟิวริกและโซเดียมซัลเฟต ซึ่งจะทำให้เซลลูโลสแซนเททกลับไปสู่รูปแบบเดิม ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนได้แสดงในภาพที่ 10



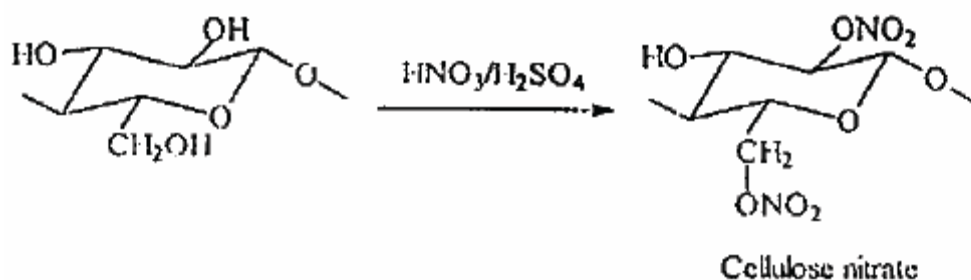
ภาพที่ 10 กระบวนการทำเซลลูโลสบริสุทธิ์และอนุพันธ์ของเซลลูโลส

วิธีการอื่นที่ใช้ คือ ใช้สารละลายแอมโมเนียของคิวปริกไฮดรอกไซด์ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2]$ เพื่อจะให้เซลลูโลสอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน นำสารละลายนั้นปั่นเป็นเส้นใยลงในกรดซัลฟิวริกเจือจางเพื่อที่จะผลิต Regenerated Cellulose แบบที่เรียกว่า Cuprammonium Rayon กระบวนการนี้มีราคาค่อนข้างสูงเพราะจำเป็นต้องเอา Copper กลับมาใช้ใหม่ แผ่นฟิล์มที่ได้จากกระบวนการ Cuprammonium นำมาทำไดเทียมได้

3. Estersกระบวนการดัดแปรเซลลูโลสที่ตำแหน่ง Primary และ Secondary Hydroxyl Group โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถทำได้โดยใช้กรดอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นตัวตั้งน้ำได้หรืออาจทำปฏิกิริยากับเอซิดคลอไรด์ โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่หมู่ $-\text{OH}$ 3 หมู่ จะถูกแทนที่ด้วยหมู่เอซิล (Acyl Group) ของกรดอินทรีย์ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อไม่เกิดน้ำออกมา ซึ่งน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ โดยทั่วไปปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดได้ทั้งกับกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ ข้อจำกัดของปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาก็คือชนิดและปริมาณของกรดที่ใช้ เช่นเดียวกันกับ Degree ของ Acid-Catalyzed Hydrolysis ที่สามารถทำให้เกิดการแยกตัวของโมเลกุลเซลลูโลสอย่างสมบูรณ์ เอสเทอร์ของ Monobasic Acid ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 4 อะตอม อาจเตรียมโดยปฏิกิริยาของเซลลูโลสแอนไฮไดรด์ แต่อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์ให้มีหมู่เอสเทอร์ที่สูงขึ้นด้วยวิธีนี้ยังไม่เป็นที่พอใจเนื่องจากปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับกรดอินทรีย์ และแอนไฮไดรด์จะลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่จำนวนคาร์บอนในเอซิดแอนไฮไดรด์เพิ่มมากขึ้น การใช้ตัวเร่งที่เป็นกรดแก่สามารถปรับปรุงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ตัวเร่งก็ไม่ได้ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเพียงอย่างเดียว แต่เกิด Depolymerization และการสลายตัวของโครงสร้างเซลลูโลสด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันทั่วไป ดังสมการที่ 1



เซลลูโลสไนเตรตเป็นเซลลูโลสเอสเทอร์ชนิดแรกที่ใช้เป็นพลาสติกสังเคราะห์และเป็นเอสเทอร์ของกรดอนินทรีย์ของเซลลูโลสที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เซลลูโลสไนเตรตเตรียมได้โดยแช่เซลลูโลสในสารละลายกรด HNO_3 ที่มีกรด H_2SO_4 และน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นสมการที่ 1 ปริมาณของน้ำที่ใช้จะเป็นตัวควบคุม DS ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งจะแปรผันตามปริมาณของไนโตรเจน ดังแสดงในตารางที่ 2 มีอนุพันธ์ของสารอินทรีย์ที่น่าสนใจอีก 2 ชนิด คือเซลลูโลสเอสเทอร์ที่มีซัลเฟอร์ ซึ่งสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับกรดคลอโรฟอสฟอริก (Chlorosulfonic Acid) ในสารละลาย Pyridine และเอสเทอร์ที่มีฟอสฟอรัสซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับกรดฟอสฟอริกในยูเรียเหลว



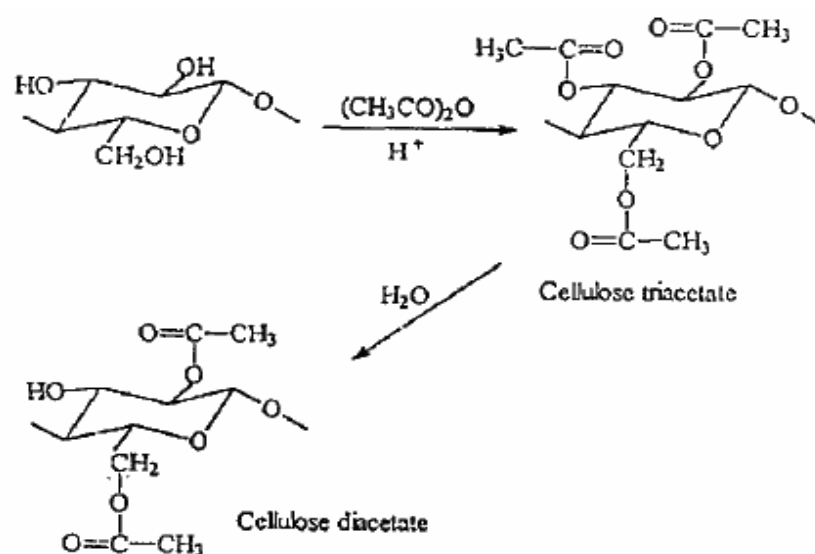
ภาพที่ 11 กระบวนการทำ Cellulose Nitrate

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเซลลูโลสในเตรตทางการค้า

ปริมาณ ไนโตรเจน (%)	DS	ตัวทำละลาย	Average DP	การนำไปใช้
10.7-11.1	1.9-2.0	Ethanol	200-500	Plastics
10.7-11.1	1.9-2.0	Ethanol	70-850	Lacquers
11.2-12.3	2.0-2.4	Methanol, ester, Methylethyl Ketone acetone	70-850	Lacquers
12.4-13.5	2.4-2.8	Acetone	3,000-5,000	Explosives, propellants

ที่มา: D. Severian (1996)

เซลลูโลสอะซิเตตเป็นเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ที่สำคัญของเซลลูโลสเพราะสามารถใช้งานได้หลายอย่างที่ใช้เป็นเส้นใย พลาสติก และสารเคลือบผิว ซึ่งสามารถเตรียมให้มีสมบัติดังกล่าวได้โดยมีระดับของหมู่แทนที่ที่แปรผัน ในทางการค้าเซลลูโลสอะซิเตตมีทั้งประเภทปฐมภูมิและทุติยภูมิเซลลูโลสอะซิเตตเตรียมได้โดยให้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์โดยมีกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายและกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การทำเซลลูโลสอะซิเตต

เซลลูโลสอะซิเตตสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากมีความใสและขึ้นรูปได้ง่าย ดังนั้นเซลลูโลสอะซิเตตจึงใช้เป็นฟิล์มสำหรับทำพวกบรรจุภัณฑ์และฟิล์มพลาสติกที่ได้จาก Extruded ใช้สำหรับออกแบบตกแต่ง เซลลูโลสอะซิเตตเป็นวัสดุที่ดีที่ใช้เป็นเมมเบรนกึ่งซึมผ่านสำหรับใช้ใน Microfiltration , Reverse Osmosis การแยกคอลลอยด์ และการแยกแก๊สพื้นฐานของการดัดแปรเซลลูโลสอะซิเตตก็คือนำเซลลูโลสมาผสมกับเอสเทอร์ของกรดโพร-พิโอนิก (Propionic), เซลลูโลสโพรพิโอเนต หรือ อะซิติกและกรดบิวทิริก เซลลูโลสอะซิเตตบิวทิเรตและเซลลูโลสอะซิเตตพธาลเลต เซลลูโลสอะซิเตต-บิวทิเรต สามารถเตรียมโดยผสม อะซิติกแอนไฮไดรด์ และบิวทิริก แอนไฮไดรด์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากได้ผลิตภัณฑ์แล้วจะทำการไฮโดรไลซ์แบบไม่รุนแรง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสถานะของปฏิกิริยาที่ใช้และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสมบัติที่หลากหลายปฏิกิริยาที่คล้ายๆกันก็คือปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ และ พธาลิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นเซลลูโลสอะซิเตตพธาลเลตประมาณ 25% เมื่ออยู่ในรูปของกรดจะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และไม่ละลายในน้ำ ขณะที่อยู่ในรูปเกลือจะละลายในน้ำ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเซลลูโลสอะซิเตตทางการค้า

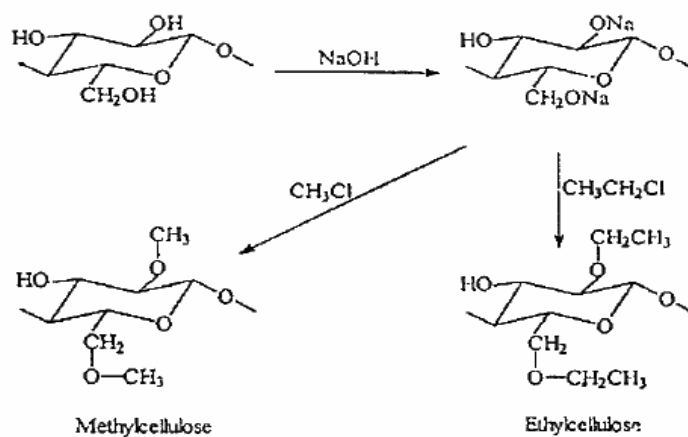
ปริมาณ Acetyl (%)	DS	ตัวทำละลาย	การนำไปใช้
13.0-18.6	0.6-0.9	Water	
22.2-32.2	1.2-1.8	2-Methoxy ethanol	Plastics
36.5-42.2	2.2-2.7	Acetone	Fibers , photographic films
43.0-44.8	2.8-3.0	Chloroform	Fabrics, foils, fibers

ที่มา: D. Severian (1996)

4. Ethersเซลลูโลสอีเทอร์ใช้มากในรูปพอลิแซคคาไรด์ในอุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรมเซลลูโลสอีเทอร์มักเป็นที่นิยมเนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำและมีหลากหลายชนิด จึงทำให้มีการใช้ที่กว้างขวาง

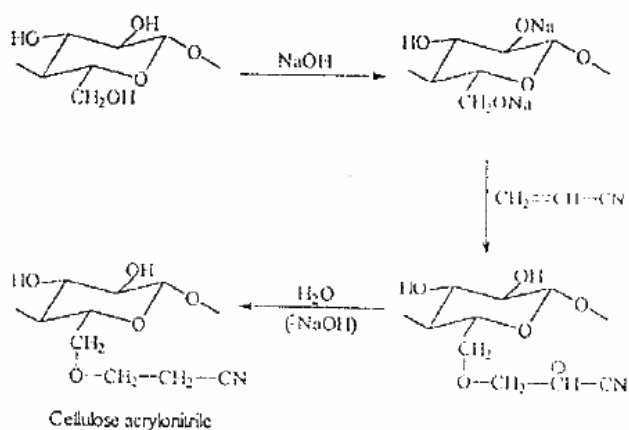
4.1 การเตรียม cellulose ethers Cellulose Ethers สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับสารละลาย NaOH หรือ Alkaline Hydroxide เช่น LiOH, KOH และ RbOH กับ alkyl halide โดยปฏิกิริยาการเตรียม Cellulose Ether เป็นปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Substitution ตัวอย่าง

ของปฏิกิริยาดังกล่าวได้แก่ ปฏิกิริยา Methylation หรือ Ethylation ของ Alkali Cellulose กับ Methyl หรือ Ethyl Halide ตามภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ปฏิกิริยาของ Methylation หรือ Ethylation ของ Alkali Cellulose กับ Methyl หรือ Ethyl Halide

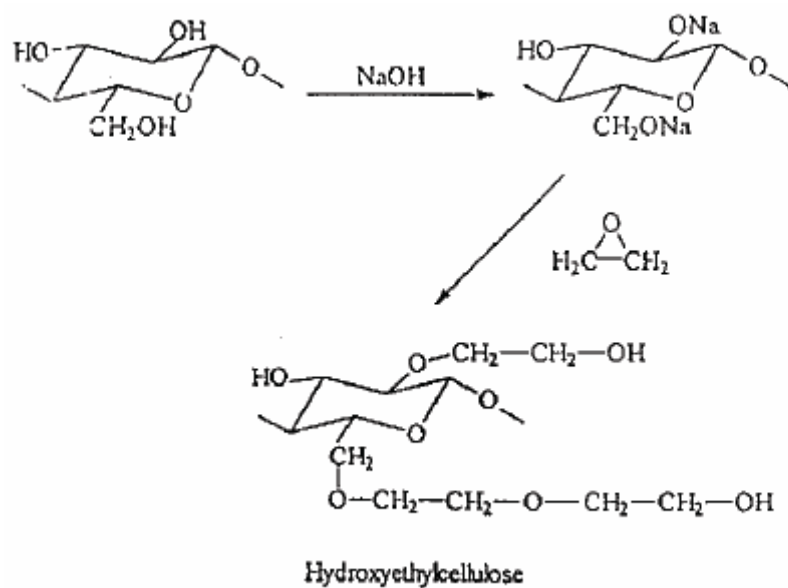
ส่วนปฏิกิริยา Etherification แบบอื่นจะเป็นแบบ Michael Addition ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากการให้ Alkalicellulose ทำปฏิกิริยากับหมู่ Vinyl ชนิดที่มีความว่องไวสูง เช่น ปฏิกิริยาของ Acrylonitrile กับ Alkali cellulose ตามภาพที่ 14



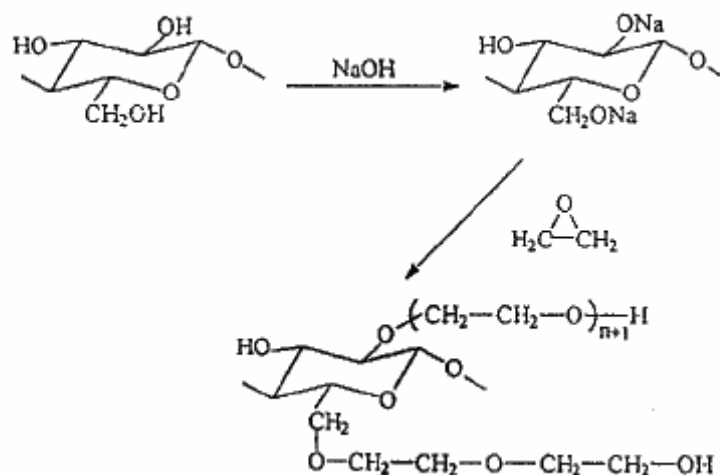
ภาพที่ 14 ปฏิกิริยาของ Acrylonitrile กับ Alkali cellulose

ภาพที่14 เป็นการสังเคราะห์ methylcellulose (MC) ซึ่ง Methyl Ether ของเซลลูโลสมีปริมาณของ Methoxy อยู่ในช่วง 6% ถึง 33% ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดอยู่ในช่วง 5 ถึง 100,000 Centipoise (สำหรับ 2% ของสารละลายที่อุณหภูมิ 20°C) ต้องควบคุม Degree ของ Methylation ส่วนสมบัติของ Methylcellulose (MC) จะละลายได้ในน้ำเย็นและจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอ (Smooth) ซึ่งจะเป็นสารละลายที่ไม่ขุ่น และยังพบอีกว่าสารละลายของ Methylcellulose (MC) มีความเสถียรในช่วง pH ที่กว้าง คือตั้งแต่ pH 2 ถึง 12 และมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม สารละลายของ Methylcellulose (MC) ก็สามารถตกตะกอนหรือเกิดเป็นกลุ่มก้อนที่มีลักษณะเหนียวหนืดได้โดยไอออนบวก Sulphate Phosphate และ Carbonate โดยจะเกิดการตกตะกอนได้แม้ไอออนบวกนี้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม

เนื่องจาก MC มีความหนืดที่เฉพาะตัวจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็น ยาระบาย nose drop ใช้เตรียมยารักษาโรคที่เกี่ยวกับตา ใช้เตรียมยารักษาแผลไฟไหม้ ใช้เตรียมขี้ผึ้งและยังนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆได้อีกมากเนื่องจากความหนืดอันเฉพาะตัวนี้ Hydroxyethyl Cellulose (HEC) และ Hydroxypropyl Cellulose (HPC) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับสารละลาย NaOH ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์เป็น Alkali Cellulose ต่อจากนั้นให้ Alkali Cellulose ทำปฏิกิริยากับ Ethylene Oxide และ propylene oxide ตามลำดับคุณสมบัติ Hydroxyethyl cellulose (HEC) ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด มีลักษณะเป็นของแข็งที่มีลักษณะคล้ายผงแป้ง โดยมีการจำแนกออกเป็นเกรดต่างๆไป และมีสีที่ไม่ใช่สีขาว การจำแนก Hydroxyethyl cellulose (HEC) ออกเป็นเกรดต่างๆ จะแบ่งตามน้ำหนักโมเลกุลซึ่งหาได้จากค่าความหนืดของสารละลาย Hydroxyethyl cellulose (HEC) ในน้ำ จากคุณสมบัติต่างๆของ Hydroxyethyl cellulose (HEC) จึงนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น น้ำมันใส่ผม ยาสระผม creams โลชั่น ขี้ผึ้ง ยาสีฟัน สบู่ ครีมอาบน้ำ เจล และยังเป็นองค์ประกอบของยาเม็ด ยาอมและฟิล์มคุณสมบัติของ Hydroxypropyl cellulose (HPC) ที่มีลักษณะเป็นผงแป้งที่สำคัญคือ ไม่ละลายในน้ำที่ร้อนแม้อุณหภูมิจะเกิน 40°C ก็ตาม แต่มันจะละลายในสารละลายอินทรีย์ที่มีขี้ว เช่น Propylene Glycol และ Ethanol โดยให้สารละลายที่เสถียรในช่วง pH ที่กว้างคือ pH ตั้งแต่ 3 ถึง 10 ซึ่งสารละลายของ Hydroxypropyl Cellulose (HPC) ในสารอินทรีย์ที่มีขี้วมีประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ใช้เป็น Emulsion ระหว่างน้ำกับน้ำมัน หรือใช้เป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติที่ดีคือมีความยืดหยุ่นดีและ Heat-Sealing และสารละลาย Hydroxypropyl Cellulose (HPC) ในสารอินทรีย์ที่มีขี้วยังมีประโยชน์ในด้าน น้ำมันใส่ผม Grooming Aids น้ำหอม และยา อีกด้วย



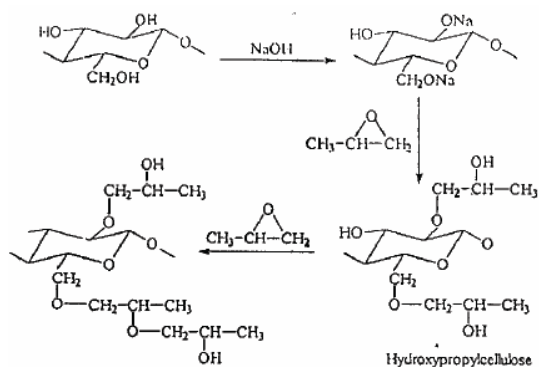
ภาพที่ 15 Alkali Cellulose ทำปฏิกิริยากับ Ethylene oxide



ภาพที่ 16 Alkali Cellulose ทำปฏิกิริยากับ Propylene oxide

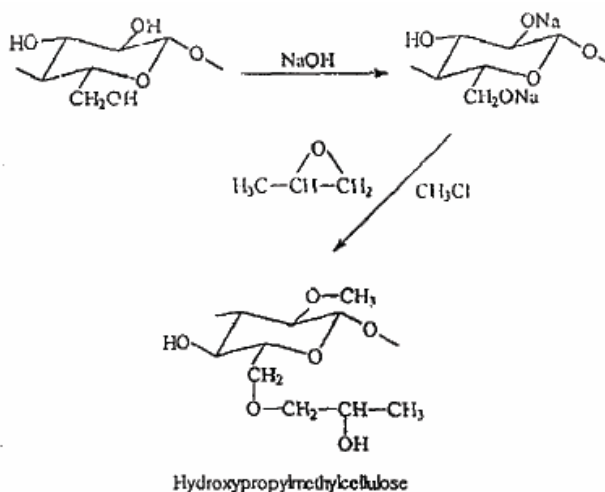
หมู่ Hydroxyl ของ Hydroxyethyl Cellulose (HEC) และ Hydroxypropyl Cellulose (HPC) สามารถทำปฏิกิริยากับ Ethylene oxide ได้ โดยใช้ Ethylene oxide ตั้งแต่ 2 ขึ้นไปจนเป็น Poly (oxyethylene) สามารถเกิดเป็นพอลิเมอร์ กับ Hydroxyethyl Cellulose (HEC) และ Hydroxypropylcellulose (HPC) นอกจากนี้หมู่ Secondary Hydroxyl ใน Hydroxypropyl Group ยังสามารถทำปฏิกิริยา Hydroxyl propylation ทำให้เกิดสายโซ่กิ่งได้ ปฏิกิริยาของ Alkali Cellulose

กัมสารผสมของ Ethyl Chloride และ Ethylene oxide สามารถที่จะใช้ผลิต ethyl Hydroxyethyl Cellulose (EHEC)



ภาพที่ 17 หมู่ Secondary Hydroxyl ใน Hydroxypropyl Group ทำปฏิกิริยา Hydroxyl propylation ทำให้เกิดสายโซ่กิ่ง

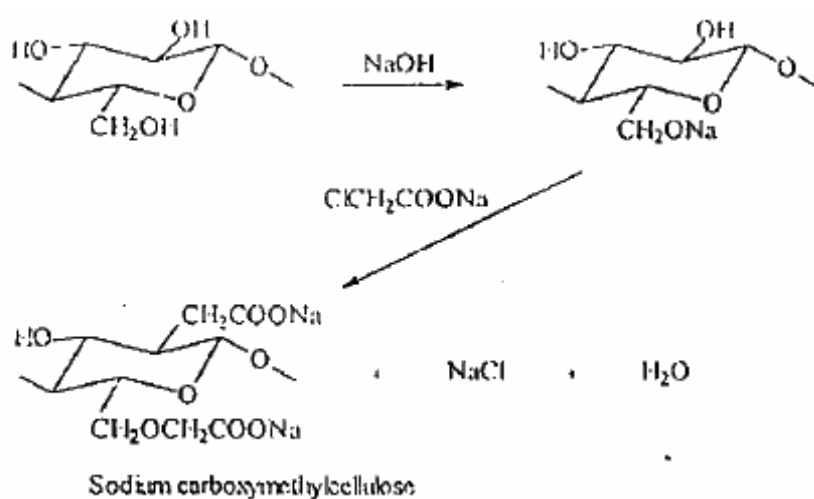
สำหรับการผลิต Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) ทำได้โดยเติม propylene oxideลงในสารผสม (Mixture) ที่ใช้ในการเตรียม Methyl Cellulose (MC) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนแสดงได้ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การผลิต Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC)

Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) ประกอบด้วย Methoxy Group ไม่น้อยกว่า 16.5% แต่ไม่มากกว่า 30% และประกอบด้วย Hydroxypropyl Residues ไม่น้อยกว่า 4% แต่ไม่

มากกว่า 32%ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะปรากฏในรูปของเม็ดแป้งสีขาว และใช้ประโยชน์ในรูปของ สารแขวนลอย หรือพวก Thickening Agent และ Tablet Excipient ส่วนสารละลายของพอลิเมอร์ที่เป็น Hydrophilic นี้ถูกใช้เป็น Protectant หรือน้ำตาเทียมสำหรับ Contact Lens Sodium Carboxyl Methyl Cellulose (NaCMC) เป็น Cellulose Ether ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเมื่อละลายน้ำแล้วมี ลักษณะเป็น Anionic โดย Sodium Carboxy Methyl Cellulose (NaCMC) เตรียมได้จากปฏิกิริยาของ เซลลูโลสกับสารละลาย NaOH และตามด้วยการทำปฏิกิริยากับ Sodium Chloroacetate ตามภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การผลิต Sodium Chloroacetate

จากนั้น ล้าง NaCMC ด้วย Alcohol ผสมกับน้ำเพื่อล้างเกลือที่มากเกินไป ใน กระบวนการนี้ยังสามารถปรับปรุงค่า DS DP และคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆได้อีกด้วยค่าความ หนืดของสารละลาย CMC จะสัมพันธ์โดยตรงกับมวลโมเลกุล โดยพบว่าค่า DP ส่งผลกระทบต่อ ความหนืดของสารละลาย คือถ้าค่า DP มีค่ามากค่าความหนืดของสารละลายก็จะมีค่ามากเช่นกัน โดยปกติแล้ว CMC มีค่าความหนืดคงที่ในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้าง คือ ตั้งแต่ pH 5 ถึง 11 โดยมี pH ที่ทำให้ค่าความหนืดเสถียรที่สุดคือ pH Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) ที่พบทั่วไป จะมีการแบ่งเกรดตามความหนืดโดยจะแบ่งตั้งแต่ 5 ถึง 2,000 centipoises ในสารละลายเข้มข้น 1% ซึ่งจะนำมาใช้งานในลักษณะของ suspending หรือ thickening

4.2 การผลิต Cellulose Ethers ถูกเตรียมขึ้น โดยการนำ Ether Alkyl หรือ Hydroxy Alkyl Group มาแทนที่หมู่ Hydroxyl และพบว่าปริมาณและการกระจายตัวของหมู่แทนที่จะมีผลในการ

ควบคุมคุณสมบัติต่างๆ เช่นการละลาย อุณหภูมิที่เสถียร ความเสถียรของคอลลอยด์ Surface Activity ความเป็นเทอร์โมพลาสติกลักษณะของฟิล์ม และการสลายตัวตามธรรมชาติ

ในการเตรียม Cellulose Ethers นั้นจะเกิดกระบวนการ Swelling และ Decrystalline ในระหว่างการแทนที่เซลลูโลสด้วย Alkaline Metal Hydroxide ซึ่งทำให้เกิดผลเสียขึ้นคือความไม่สม่ำเสมอของกระบวนการบวมตัวและ Decrystalline ทำให้ Ether ที่เตรียมได้มีการละลายต่ำ เนื่องจากการที่ Cellulose Ethers ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับสารละลายได้ จึงแก้ปัญหาโดย นำ Alkyl โมเลกุลเล็กๆ เช่น Methyl หรือ Ethyl มาใส่ลงในเซลลูโลสเพื่อทำการเปิดโครงสร้างทำให้เซลลูโลสนี้สามารถละลายได้ใน NaOH ทำให้มีการแทนที่สูงขึ้นและส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ละลายได้ในน้ำ

เมื่อจำนวนหมู่แทนที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตที่ได้จะสามารถละลายได้ใน Alkali ที่มีความเข้มข้นน้อยๆได้ และยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถละลายได้ในน้ำด้วยแต่ถ้าจำนวนหมู่ alkyl เพิ่มขึ้น ผลผลิตที่ได้จะละลายได้น้อยในน้ำและยังละลายได้น้อยมากในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วในทางการค้า Cellulose Ethers สามารถจำแนกได้เป็น 2 พวกคือ

1. Ether ที่ละลายในน้ำ ได้แก่ NaCMC , Sodium Carboxy Methyl 2- Hydroxyethyl Cellulose 2- Hydroxyethyl Methyl Cellulose , 2- Hydroxybutyl Methyl Cellulose , 2- Hydroxyethyl Ethyl Cellulose , 2- Hydroxypropyl Cellulose
2. Ether ที่ละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ ได้แก่ Ethyl Cellulose , Ethyl 2- Hydroxyethyl Methyl Cellulose , 2- Cyanoethyl Cellulose

พอลิเมอร์ที่สามารถละลายในน้ำจะดูดซับน้ำแล้วเกิดการบวมตัวก่อนเข้าสู่สภาพเป็นสารละลายโมเลกุลของเซลลูโลส จะอยู่ในลักษณะเป็น Coil ที่แผ่ขยายออก การทำให้โมเลกุลแยกออกจากกันเพิ่มขึ้น สารละลายของเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสก็จะกลายเป็นอนุภาคของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เป็นผลจากการที่ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับความหนืดพบว่า ความหนืดเพิ่มขึ้นแบบ Exponential กับความเข้มข้น ในทางอุตสาหกรรมนั้น Cellulose Ethers ที่ผลิตขึ้นมีค่าความหนืดต่างๆกันโดยพวกที่มีความหนืดต่ำจะนำไปใช้เมื่อต้องการให้สารละลายมีความเข้มข้นสูงหรือกระบวนการที่มีอัตราการไหลสูง ส่วนพวกที่มีความหนืดสูงจะใช้เมื่อต้องการความหนืด ความยืดหยุ่น หรือความแข็งแรง ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้

cellulose ethers มีประโยชน์อย่างมากในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ Thickening Agents , Thermal gelation , Surfactancy , Film Formation และ Adhesion ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆเช่น อาหาร เครื่องสำอาง สี ยา เกษตรกรรม กาว เส้นใยและกระดาษ ตัวอย่างของ Cellulose Ethers ได้แก่

- MC หรือ HPMC เป็นสารที่ทำให้เกิดการระคายเคือง เช่น แก๊สน้ำตา จนถึงทำให้บาดเจ็บได้

- Hydroxypropyl Cellulose กับ Alcohol ใช้เป็นน้ำยาตกแต่งทรงผม น้ำหอม และโคโลญจ์

- Hydroxyethyl Cellulose (HEC) เมื่อเป็น Cationic ใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับดูแลเส้นผม ใช้ในทางยา

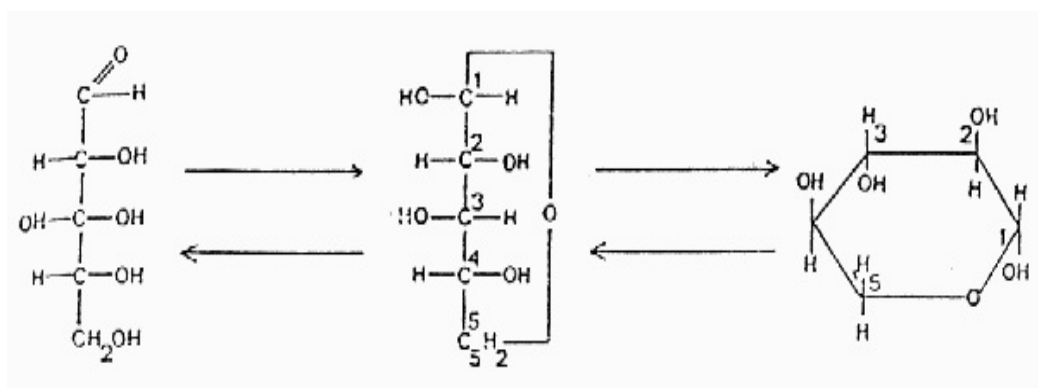
- MC และ EC ใช้เป็นส่วนผสมของขี้ผึ้งและโลชั่น

เมื่อเรารู้นี้ได้มีการค้นพบวิธีการปรับปรุง พวก Hydroxyethyl Cellulose (HEC) โดยให้ทำปฏิกิริยากับ Hydrocarbon ที่เป็นเส้นตรงยาว ได้สารที่มีคุณสมบัติเป็น Thickening โดยสิ่งที่จำเป็นในการปรับปรุงนั้น ต้องใช้ alkyl ที่มีสายโซ่ที่ยาวและมีคุณสมบัติเป็น Hydrophillic และยังต้องมีค่า DS ที่ต่ำอีกด้วย

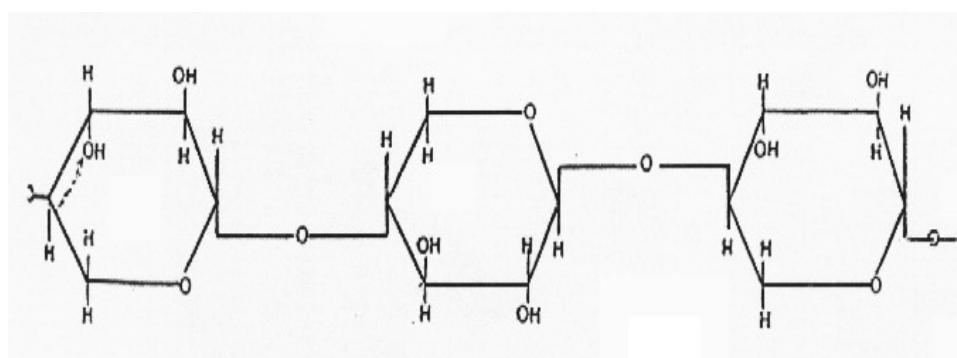
เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemi cellulose) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทเฮเทอโรโพลิแซคคาไรด์ โพลีแซคคาไรด์ (Heterogeneous Polysaccharides) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์หลายชนิดประกอบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โดยเฮมิเซลลูโลสจะแตกต่างกับเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งเป็นสารประเภทโฮโมโพลิแซคคาไรด์ โพลีแซคคาไรด์ (Homogeneous Polysaccharides) ที่ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสประเภทเดียวประกอบอยู่ในโมเลกุล เฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่มีค่ามวลโมเลกุลน้อยกว่ามวลโมเลกุลของเซลลูโลส และมีค่า Degree of Polymerization ไม่เกิน 200 โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายโดยสารละลายกรด แล้วให้โมเลกุลของน้ำตาลที่มีขนาดเล็กลงคือ โมเลกุลเดียวของน้ำตาลกลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบินอส โดยปกติทั่วไปบริเวณของเฮมิเซลลูโลสที่ประกอบอยู่ในพืชจะมีปริมาณ

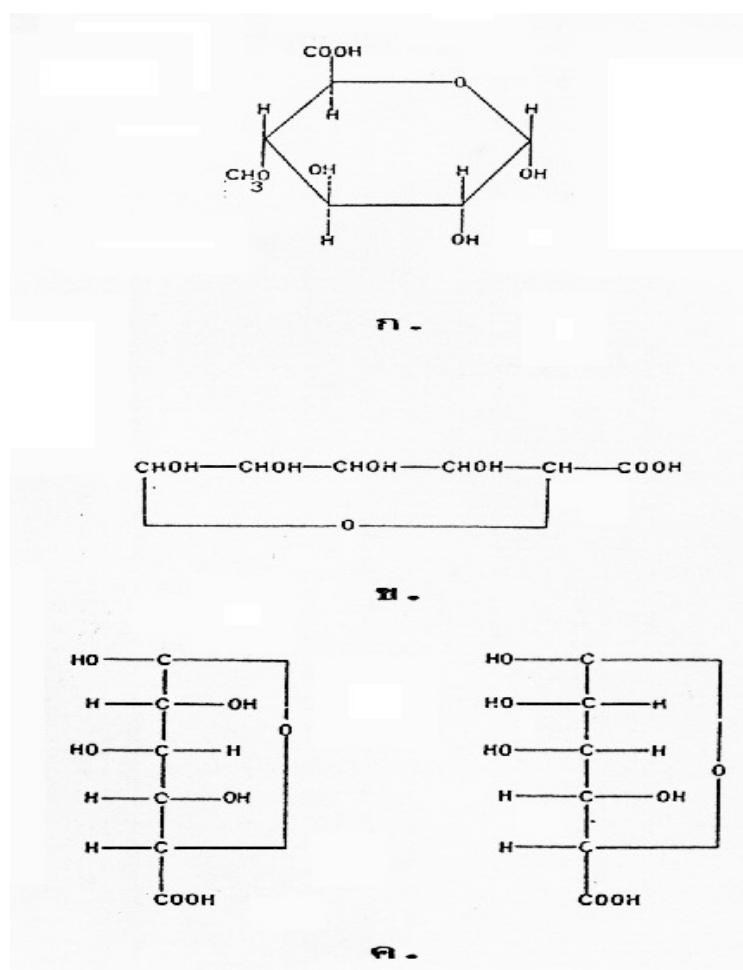
ประมาณ 20-30% โดยที่เฮมิเซลลูโลสนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ดังนี้คือ กาแลกโตกลูโคแมนแนน (Galacto glucomannan) ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสกลูโคส และกาแลกโตส อะราบิโนกลูคูโรโนไซแลน (Arabino glucuronoxylan) ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส กาแลกโตสและอะราบิโนส อะราบิโนกาแลกแทน ประกอบด้วยน้ำตาลกาแลกโตสและอะราบิโนส กลูคูโรโนไซแลน (Glucuronoxylan) ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและไซโลส และกลูโคแมนแนน (Glucomannan) ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและแมนโนส ในปัจจุบันได้นำเฮมิเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น กลูคูโรโนไซแลนหรือไซแลน ซึ่งมีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลักจะนำมาใช้ในการผลิตไซโลส ไซลิตอล (Xylitol) เฟอรัฟรัล (Furfural) อะราบิโนกาแลกแทนถูกใช้เป็น binder, emulsifier และ stabilizer ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนกลูโคแมนแนนสามารถหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นเอทานอลได้



ภาพที่ 20 สูตรโครงสร้างของไซโลส ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม



ภาพที่ 21 สูตรโครงสร้างโพลิเมอร์ไซแลน ประกอบด้วยโครงสร้างหกเหลี่ยมของน้ำตาลไซแลส ที่ต่อกันด้วยพันธะ เบต้า - ไกลโคซิดิก



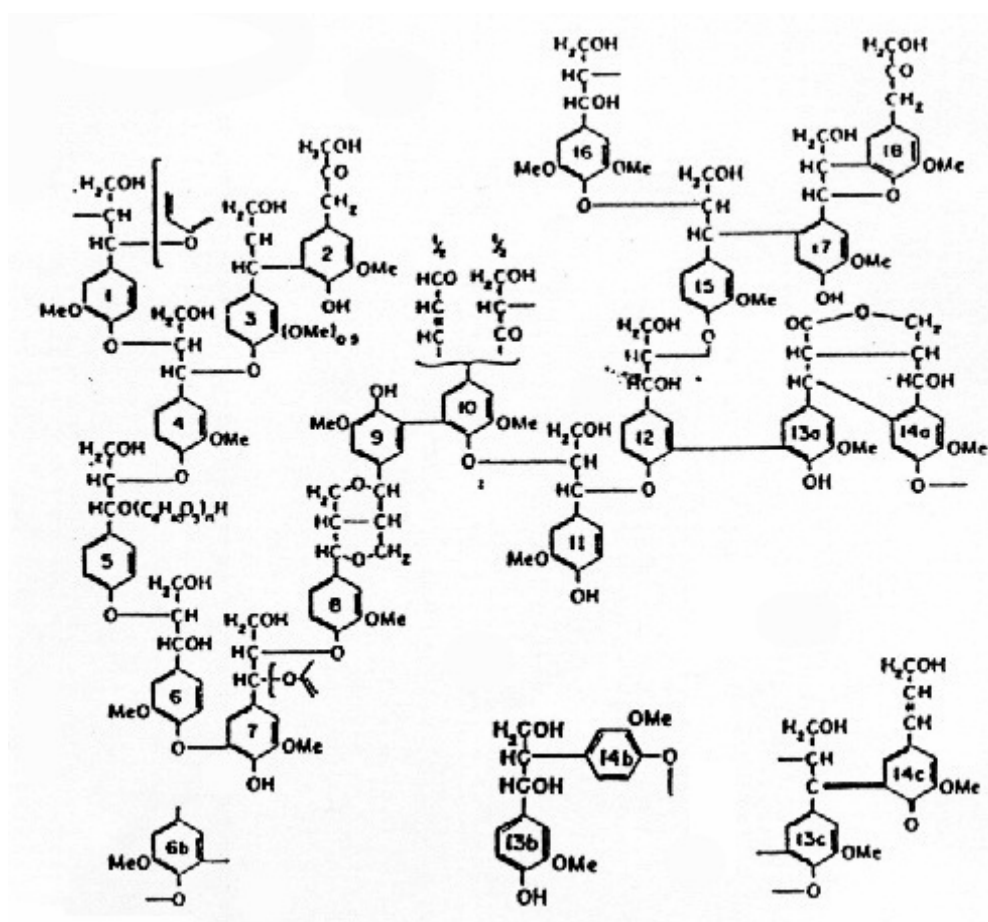
ภาพที่ 22 ก. สูตรโครงสร้างหกเหลี่ยมของ 4-เมทิล-ดี-กลูโคยโรนิก

ข. สูตรเคมีของกรดยโรนิก ที่เป็นส่วนประกอบของเฮมิเซลลูโลส

ค. สูตรโครงสร้างของกรดยโรนิก ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอม

ลิกนิน

เป็นโพลิเมอร์ของสารประกอบอะโรมาติกหรือที่เรียกว่าเป็น ฟีนอลิกโพลิเมอร์ โดยมีหน่วยฟีนิลโพรเพน เรียงต่อกันแบบสุ่ม ที่หน่วยฟีนอลอาจเป็นกัวนิเอซิลหรือไซริงกิลที่ตำแหน่งแอลฟาและเบต้าของโมเลกุลลิกนิน อาจเกิดการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลหรือคาร์บอนในหน่วยฟีนอล อาจเกิดพันธะในอีกหน่วยหนึ่งภายในสายโพลิเมอร์ที่ประกอบกันเป็นโมเลกุลลิกนิน ทำให้ลิกนินมีโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น ในเอทานอล หรือ เมทานอลที่ร้อน และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปกติลิกนินจะอยู่ในโครงสร้างของเซลล์พืชบริเวณรอบ ๆ เซลลูโลสโดยเป็นตัวป้องกันเซลล์ลูโลสจากการย่อยอีกด้วย



ภาพที่ 23 โมเลกุลลิกนิน

ฟางข้าว (Rice Straw)

ฟางข้าวเป็นหนึ่งในจำนวนมากของธัญพืช และถูกผลิตทุกๆปีในปริมาณมาก ในประเทศที่พัฒนาแล้วเส้นใยที่เหลือจากการเพาะปลูกจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ หรือเป็นอาหารสัตว์



ภาพที่ 24 ฟางข้าว

ข้อจำกัดและข้อแนะนำการใช้

- ฟางใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และควรใช้ร่วมกับอาหารข้นหรือเสริมด้วยใบพืชตระกูลถั่วโปรตีนสูง

- การใช้ฟางหมักเลี้ยงโค-กระบือ สามารถใช้ในสภาพเปียกหรือแห้งก็ได้ ฟางหมักที่เปิดจากกอง ใหม่ ๆ มีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย ควรทิ้งไว้สักพัก (ประมาณ 2 ชั่วโมง) ก่อนให้สัตว์กิน ถ้าใช้ฟางหมักยูเรีย เป็นอาหารหยาบอย่างเดียว ควรเสริมอาหารข้น เพื่อให้เกิดแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์โปรตีนของ จุลินทรีย์ และควรมีน้ำสะอาดให้โค-กระบือกินตลอดเวลา

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว

โภชนา	ฟางธรรมชาติ	ฟางหมักยูเรีย		ฟางราดสารละลาย ยูเรีย – กากน้ำตาล
		สด	แห้ง	
วัตถุแห้ง (DM)	90.0	57.0	90.0	63.48
โปรตีนรวม (CP)	2.76	4.99	7.88	7.02
เยื่อใย (CF)	38.13	21.11	33.33	-
เถ้า (Ash)	14.54	11.6	18.3	-
ไขมัน (EE)	2.00	3.09	4.88	1.92
คาร์โบไฮเดรต (NFE)	32.27	16.21	25.61	-
โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN)	40.2	28.22	44.55	-
โปรตีนย่อยได้ (DP)	0	2.69	4.24	-
การย่อยได้ของวัตถุแห้ง	50.0	68.56	53.0	51.94

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (ม.ป.ป.)

ชังข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญเพิ่มขึ้นเป็นลำดับในระยะหลังนี้ ดังจะเห็นจากสถิติตัวเลข จำนวน เนื้อที่ปลูก ผลได้ต่อปีและมูลค่าที่ส่งขายดังต่อไปนี้

พ.ศ.	เนื้อที่ (1000 ไร่)	ผลได้ (1000 ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2499	514	114.8	133.2
2500	606	136.8	131.3
2501	792	186.3	193.8
2502	1249	317.2	317.2
2503	1785	343.9	549.3

ปริมาณข้าวโพดที่ผลิตได้นี้หมายถึงเมล็ดที่กะเทาะออกจากฝักแล้ว แต่ส่วนหนึ่งของข้าวโพดที่กลีกรทิ้งไปคือ ชังข้าวโพด ซึ่งมีปริมาณถึง 20% ของจำนวนเมล็ดและไม่ได้ใช้ประโยชน์อย่างใดทั้งสิ้น ได้มีผู้เคยนำชังข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ในทางเป็นอาหารสัตว์และปรากฏผลดีในหลายกรณี สำหรับประเทศไทยความจำเป็นในการใช้ชังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์อาจยังไม่มากพอที่กลีกรจะคำนึงถึง เพราะมีอาหารธรรมชาติอยู่มากเพียงพอในปัจจุบัน แต่ถ้ามการเลี้ยงสัตว์จะขยายตัวมากขึ้น ความจำเป็นที่ต้องใช้อาหารชนิดที่ราคาต่ำและให้ผลดีอาจมีความจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุดิบดังกล่าวให้ได้ประโยชน์มากขึ้น ข้าวโพดเป็นส่วนของฝักที่ประกอบด้วยกาก (Crude Fiber) เป็นส่วนใหญ่ทั้งส่วนประกอบนี้อาจใช้ประโยชน์ในทางเป็นอาหารสัตว์บางประเภทได้ ถ้านำมาใช้ให้ถูกวิธีเพื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่นๆที่ใช้เป็นประจำวัน เช่น ฟางข้าว จะเห็นว่าชังข้าวโพดเป็นอาหารที่ดีกว่าฟางข้าวถึง 3 เท่า ดังนั้นถ้าหากกลีกรโดยทั่วไปจะใช้ชังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์โดยเฉพาะในท้องที่ขาดแคลนอาหารประเภทหญ้าในบางฤดู จะเป็นการแก้ปัญหาอาหารที่ขาดในฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันสำหรับบางท้องที่ปรากฏว่า หญ้าซึ่งเป็นอาหารสำคัญของวัว ควาย หาดูได้ยากและมีราคาแพง การใช้ชังข้าวโพดผสมเป็นส่วนประกอบของอาหารขึ้นอาจแก้ปัญหาเรื่องการขาดหญ้าได้

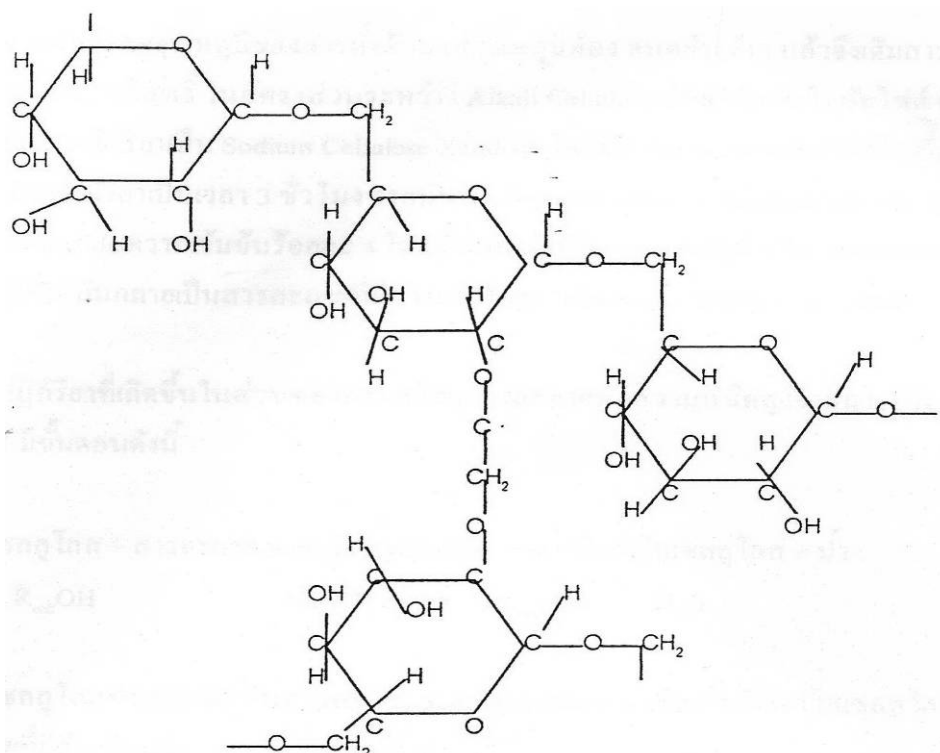
ในต่างประเทศการใช้ซังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์ไม่เป็นของใหม่ แต่ไม่นิยมกันนัก เพราะสามารถหาอาหารอื่นได้ดีกว่าแม้กระนั้นได้มีผู้พยายามใช้ซังข้าวโพดในการเลี้ยงสัตว์หลายประเภท และหลายรายได้รับผลดี ฉะนั้นการทดลองใช้ซังข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ควรได้รับการสนใจยิ่งขึ้น และควรมีการนำซังข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งทางเกษตรกรรม

ส่วนประกอบทางเคมีของซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดมีเยื่อใย (Cride Fiber) พวกลิกโนเซลลูโลส (Lignicellulose) เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เพคติน (Pectin) และลิกนิน (Lignin) เป็นส่วนใหญ่ ซังข้าวโพดมีโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูง (ทิพยา, 2531)

Sephadex G-25

Sephadex G-25 เป็นวัสดุรูปทรงกลมที่มีรูพรุนที่ผลิตจากสารประกอบของเซลลูโลส (Bead Cellulose) ที่ได้มีการผลิตจำหน่ายในปัจจุบัน เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ที่ก่อตัวขึ้นใหม่โดยกรรมวิธีการผลิตจาก Viscose ทั่วๆ อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม ถูกควบคุมให้มีรูพรุนที่สม่ำเสมอ โดยนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ได้แก่ วัสดุรองรับทางการภาพ (Physical Support) วัสดุสำหรับกระบวนการ Chromatography วัสดุสำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchanger) ดูดซับโลหะ (Metal Chelating Metal) ตัวดูดซับทางเคมี (Chemisorbances) ตัวดูดซับที่มีสัมพันธภาพ (Affinity Absorbents) ดูดซับเอนไซม์ (Immobilized Enzymes) โดยในงานวิจัยนี้จะมีการเปรียบเทียบรูพรุน ขนาดอนุภาค และ ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากฟางข้าวและซังข้าวโพดเทียบกับ Sephadex G-25



ภาพที่ 25 โครงสร้างทางเคมีของ Sephadex G-25

อิมัลชัน(Emulsions)

อิมัลชัน (Emulsions) หมายถึงผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งไม่เข้ากันหรือไม่ละลายในกันและกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ถูกนำมาไว้ด้วยกันในลักษณะที่ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยอาศัยตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็น 2 วัฏภาคคือ หยดเล็กๆของของเหลวหนึ่งซึ่งเรียกว่า วัฏภาคภายใน (internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า วัฏภาคภายนอก (External or continuous phase) โดยทั่วไปหยดของวัฏภาคภายในอาจทำให้มีขนาดต่างกันได้ตั้งแต่เล็กกว่า 0.05 ไมครอนจนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดหยดอนุภาคของวัฏภาคภายในนี้มีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ลักษณะภายนอกของอิมัลชัน

ขนาดหยดอนุภาควัดภาคภายใน (μm)	ลักษณะอิมัลชันที่มองเห็น
เล็กกว่า 0.05	โปร่งใส (transparent)
0.05-0.10	ขุ่น หรือ โปร่งแสง (translucent)
0.10-1.00	สีขาวอมฟ้า
ใหญ่กว่า 1.00	ขุ่นขาวทึบ

ที่มา: พิมพร (2534)

ชนิดของอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่พบโดยทั่วไปมักมีลักษณะขุ่นขาวคล้ายน้ำมัน แต่ความจริงแล้วอิมัลชันอาจมีลักษณะโปร่งใสก็ได้ การแบ่งชนิดของอิมัลชันอาจมีได้หลายลักษณะดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น ได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.1 แมโครอิมัลชัน (Macro emulsion) ซึ่งคืออิมัลชันลักษณะขุ่นขาวที่พบโดยทั่วไปนั่นเอง อนุภาคของวัตถุของวัฏภาคภายในของอิมัลชันชนิดนี้มักมีขนาดตั้งแต่ 0.25-10 ไมครอน (โดยทั่วไปใหญ่กว่า 1 ไมครอน) จึงทำให้เกิดความแตกต่างในค่าดัชนีการหักเหแสงของวัฏภาคทั้งสองและเกิดการกระจายแสงทำให้มองดูขุ่นขาว อิมัลชันชนิดนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชันเนื้อหยาบ (Coarse Emulsion) ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด (Fine Emulsion) ซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็กหรือเล็กกว่า 5 ไมครอนลงไป แมโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันชนิดที่พบมากที่สุดทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เช่น ไอศกรีม ครีมสลัด ครีมรักษาโรคผิวหนัง ครีมกันแดด โลชั่นทาผิว เป็นต้น

1.2 ไมโครอิมัลชัน (Micro Emulsion) มีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายในมีขนาดเล็กมาก (ประมาณ 10-75 นาโนเมตร) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจะทะลุผ่านได้ ทำให้มองดูโปร่งใส หยดของวัฏภาคภายในมีลักษณะกลม ถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มของตัวทำอิมัลชัน มีทั้ง o/w และ w/o

2. แบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและเป็นวัฏภาคภายนอกได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.1 อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O Emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมัน พบอิมัลชันชนิดนี้บ้างในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมล้างหน้า (Cleansing Cream) ครีมทากลางคืน (Night Cream) ครีมนวดหน้า (Massage Cream) และครีมฮอร์โมน (Hormone Cream) เป็นต้น

2.2 อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W Emulsion) อิมัลชันชนิดนี้กับชนิดแรก คือมีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ จึงมีความเหนอะหนะน้อย ทาแล้วกระจายดีล้างน้ำ ออกง่าย เป็นที่นิยมมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ครีมและโลชั่นทาผิว (Body Cream and Lotion) ครีมทาหน้า (Vanishing Cream) ครีมทาแดด (Sun Screen Cream) ครีมรองพื้น (Foundation Cream) เป็นต้น

2.3 อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple Emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนนี้สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก แต่วัฏภาคภายในซึ่งเป็นน้ำมันจะมีหยดเล็กๆ ของน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดา จะกลายเป็นชนิด O/W พบอิมัลชันชนิดนี้บ้างในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น Cold Cream ซึ่งเป็นชนิด O/W/O เป็นต้น

ส่วนประกอบของอิมัลชัน

ผลิตภัณฑ์รูปแบบอิมัลชัน มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. วัฏภาคน้ำ (Water phase) ได้แก่ น้ำ และสารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายได้ในน้ำ อาจเป็นสารเพิ่มความหนืด เช่น Veegum, Acacia, Tragacanth, Carbopol สารอิมัลซิไฟเออร์ เช่น Glycerine, Propylene glycol หรือ Glycol ทั้งหลาย สารกันเสีย เช่น Methylparaben, Sodium Benzoate สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Sodium Lauryl Sulfate สีที่ละลายน้ำได้ เช่น Amaranth สารต้านออกซิเดชัน เช่น Sodium Metabisulfite นอกจากนี้ยังเป็นสารออกฤทธิ์อื่นที่ละลายน้ำได้ เช่น Benzalkonium Chloride เป็นต้น สารต่างๆ เหล่านี้อาจเติมลงในวัฏภาคน้ำได้ทั้งสิ้น แล้วแต่ส่วนประกอบของสูตรในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

2. วัฏภาค (Oil phase) ได้แก่ น้ำมันต่างๆ เช่น Olive oil, mineral oil, castor oil ไขมัน เช่น Stearyl Alcohol, Stearic Acid, Cetyl Alcohol, Lanolin ไขแข็ง เช่น Spermaceti, Beeswax, Carnauba Wax, Parafin Wax สีที่ละลายในน้ำมัน

3. ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว เช่น Tween, Span, Sodium Lauryl Sulfate คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ เช่น Acacia, Gelatin ของแข็งอนุภาคละเอียด เช่น Bentonite, Colloidal Magnesium Aluminium Silicate เป็นต้น ตัวทำอิมัลชันเป็นตัวสำคัญในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

กลไกการเกิดอิมัลชัน

ปกติของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมกันจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่าเพื่อเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้น แต่เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราว ซึ่งหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายได้ว่า การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface Free Energy) จึงเข้ากันได้ชั่วคราว สภาวะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าของเหลวเหล่านั้นจะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากการปรับสภาพให้เข้าสู่จุดคงสภาพโดยการลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันให้น้อยที่สุด

เหตุการณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นอย่างถาวร กล่าวคือเกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันของของเหลวทั้งสองชนิดโดยที่ยังคงสภาพอยู่ ซึ่งไม่กลับแยกชั้นดังเดิมได้โดยการเติมตัวทำอิมัลชันลงไปก่อนการเขย่า

ดังนั้น การเกิดอิมัลชันได้ต้องใช้กระบวนการ 2 ขั้นตอนคือ

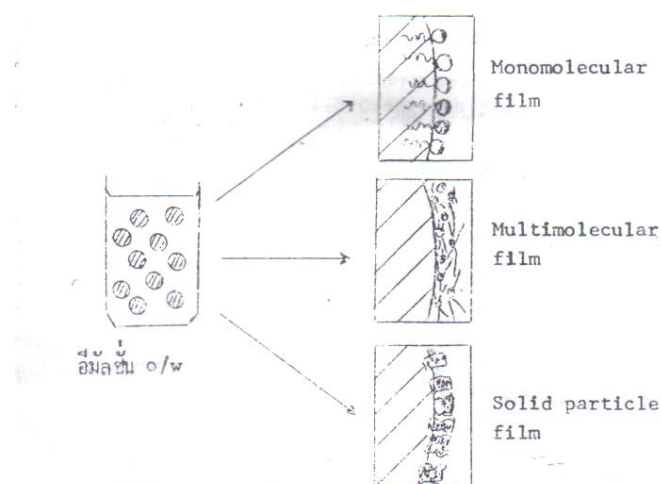
1. การทำให้ของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็กๆ โดยอาศัยการให้พลังงานซึ่งอาจใช้ได้ในรูปแบบของความร้อน (Heat) การคนหรือการเขย่า (Mechanical Agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (Ultrasonic Vibration) หรือไฟฟ้า (Electricity) เป็นต้น

2. การทำให้หยดเล็กๆ ที่กระจายตัวนั้นคงสภาพอยู่ได้ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชัน ซึ่งมีกลไก

การทำงานของตัวทำอิมัลชันไว้ดังนี้

ลดแรงตึงระหว่างผิวของของเหลวทั้งสอง เป็นการลดพลังงานอิสระที่พื้นผิวด้วย ทำให้โอกาสที่หยดตัวภาคซึ่งกระจายตัวอยู่นั้นรวมตัวกันได้น้อยลง เป็นการเพิ่มความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์

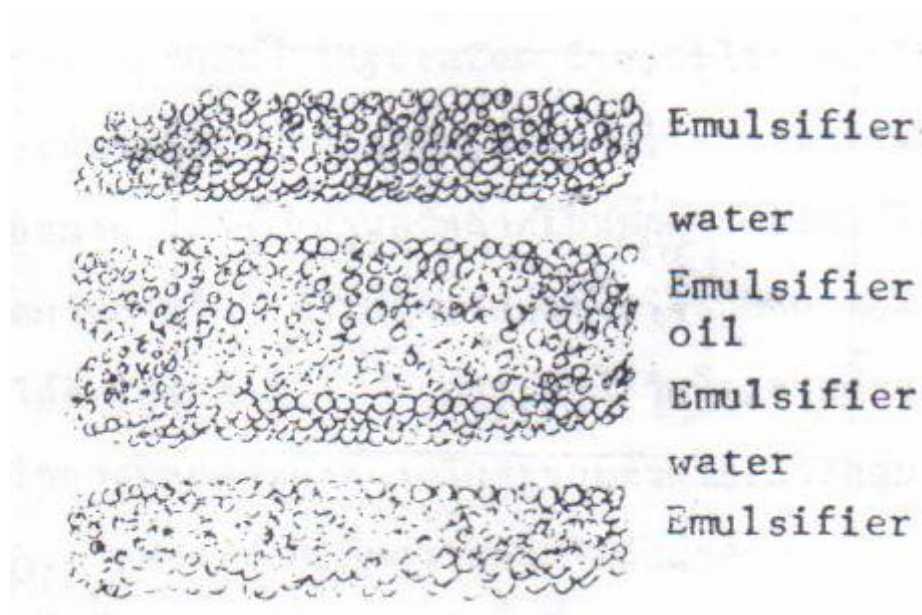
เกิดฟิล์มที่แข็งแรงและยืดหยุ่นโดยรอบหยดตัวภาคภายใน ความแข็งแรงและลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของฟิล์มนี้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำอิมัลชันที่ใช้ ฟิล์มอาจมีการเรียงตัวเป็นโมเลกุลเดี่ยว (Monomolecular Film) โดยหันด้านมีประจุเข้าหาตัวภาคน้ำ ด้านไม่มีประจุเข้าหาตัวภาคน้ำมัน ฟิล์มชนิดนี้มักเกิดจากการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวทำอิมัลชัน หรือมีการเรียงตัวซ้อนกันของโมเลกุล (Multimolecular Film) เกิดจากการใช้คอลลอยด์ที่ชอบน้ำเป็นตัวทำอิมัลชัน หรือมีการเรียงตัวของอนุภาคเล็กละเอียดของของแข็ง (Solid Particle Film) ซึ่งเกิดจากการใช้ของแข็งเล็กละเอียดบางชนิดซึ่งดูดซับที่ผิวของตัวภาคทั้งสองได้ ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ชนิดของฟิล์มที่ผิวประจันระหว่างน้ำและน้ำมันที่เกิดจากตัวทำอิมัลชันชนิดต่างๆ กรณีที่อิมัลชันเป็น O/W น้ำมัน

ฟิล์มที่เกิดขึ้นรอบหยดตัวภาคภายในนี้ทำหน้าที่เป็นกั้นชน ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของหยดตัวภาคภายใน ซึ่งกลไกข้อนี้ถือว่าสำคัญที่สุด เพราะตราบดีที่กั้นชนนี้ยังคงอยู่ จะไม่ทำให้

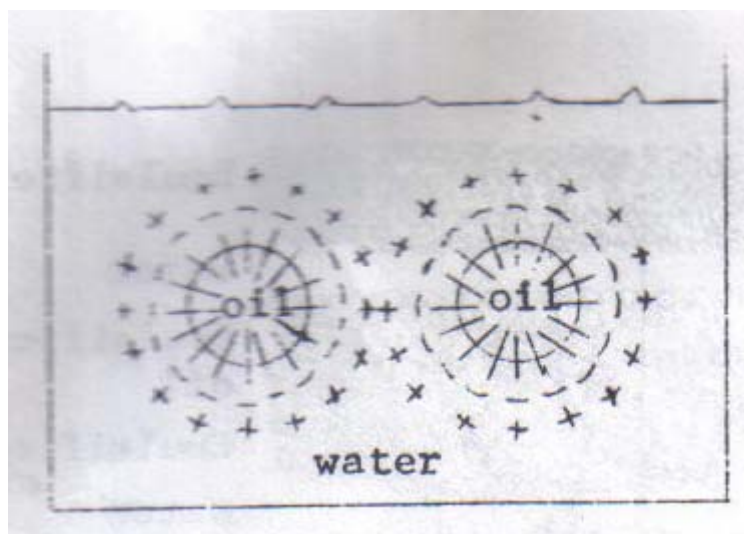
หยดวฏภาคภายในรวมตัวกันได้ ความแข็งแรงของกันชนนี้ยังขึ้นกับปริมาณของตัวทำอิมัลชันที่ใส่ลงไปด้วย ถ้ามีปริมาณมากพอ การเรียงตัวของโมเลกุลบนฟิล์มก็จะหนาแน่น ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติหรือฟิล์มที่เกิดขึ้นระหว่างผิวนี้อีกเรื่อยมา จนปัจจุบันนี้มีสมมุติฐานใหม่อธิบายว่า อิมัลชันที่คงตัวนั้นเชื่อว่ามีชั้นของผลึกของเหลวอยู่ระหว่างผิวของหยดวฏภาคภายในกับวฏภาคภายนอกโดยมีโครงสร้างเป็นสามมิติดังในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 Lamellar liquid crystal ซึ่งประกอบด้วยน้ำ-ตัวทำอิมัลชัน-น้ำมัน-ตัวทำอิมัลชัน-น้ำ เรียงตัวอย่างต่อเนื่องกัน

ข้ออธิบายใหม่นี้ยังอาจใช้ศึกษาเพื่ออธิบายปฏิกิริยาระหว่างกันของหยดวฏภาคภายในซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อิมัลชันเกิดการรวมตัวกันและแยกชั้นได้ต่อไป และเชื่อกันว่าใช้อธิบายกลไกการทำงานของตัวทำอิมัลชันที่เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โพรตีน และคอลลอยด์ ซึ่งทำให้อิมัลชันคงสภาพได้ด้วย

3. เกิดชั้นคู่ของไฟฟ้าสถิตเป็นกันชนทางไฟฟ้า ซึ่งกันชนทางไฟฟ้านี้เกิดจากกลุ่มโมเลกุลที่มีประจุ ซึ่งอยู่รอบๆผิวของหยดวฏภาคภายใน กลไกนี้ใช้อธิบายอิมัลชันชนิด O/W ได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างที่เห็นชัดคือ การใช้ Sodium Soap เป็นตัวทำอิมัลชัน โมเลกุลที่เรียงตัวเป็นฟิล์มห่อหุ้มหยดวฏภาคภายในจะหันด้านที่เป็นไอออนเข้าหาวฏภาคน้ำ และหางซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนเข้าหาวฏภาคน้ำมัน ไอออนที่มีประจุลบเกิดจาก Carboxylate Group รอบหยดวฏภาคภายในจะถูกล้อมรอบด้วยประจุบวกอีกชั้นดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ลักษณะการเรียงตัวของฟิล์มที่หุ้มรอบหยดน้ำมันของตัวทำอิมัลชันชนิดประจุลบ

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากไอออนประจุลบนี้จะผลักกัน ทำให้หยดน้ำมันไม่มีโอกาสเข้าใกล้กัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าตัวทำอิมัลชันแต่ละชนิดซึ่งทำหน้าที่ในการทำให้เกิดอิมัลชันและรักษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นั้นอาจอาศัยกลไกอย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่า 1 อย่างและอาจมีกลไกการทำงานต่างกันไปบ้าง แต่ข้อสำคัญคือต้องเป็นสารที่สามารถถูกดูดซับอยู่ที่ผิวประจันระหว่างวัฏภาคทั้ง 2 ได้ และสร้างฟิล์มหรือกั้นชนลักษณะใดก็ได้ โดยปริมาณตัวทำอิมัลชันต้องมากพอที่จะเกิดฟิล์มที่แข็งแรงหนาแน่นรอบหยดวัฏภาคภายใน จึงจะถือว่าตัวทำอิมัลชันทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์

ตัวทำอิมัลชัน

สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำอิมัลชันได้มีหลากหลายชนิด ซึ่งพอจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิว (surfactants) เป็นสารซึ่งมีคุณสมบัติชอบทั้งน้ำและน้ำมันเพราะโครงสร้างของสารมีทั้งกลุ่มที่ชอบน้ำ และกลุ่มที่ชอบน้ำมัน ในโมเลกุลเดียวกัน ทำให้สามารถเชื่อมรอยต่อระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำหน้าที่เป็นตัวทำอิมัลชันได้โดยมีกลไกทั้งข้อ 1 และข้อ 2 และ/หรือข้อ 3 สารลดแรงตึงผิวมีทั้งชนิดประจุบวก ชนิดประจุลบ และชนิดไม่มีประจุ เป็นตัวทำอิมัลชันกลุ่มที่นิยมใช้มากที่สุด

2. คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ (hydrated lyophilic colloids) เป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่ถูกดูดซับได้ที่ผิวประจันระหว่างน้ำกับน้ำมัน แต่ไม่มีผลในการลดแรงตึงระหว่างผิวให้กับของเหลวทั้งสองหรือมีผลน้อยมาก สารเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวทำอิมัลชันได้โดยสร้างฟิล์มชนิดเรียงตัวซ้อนกันห่อหุ้มรอบหยดวัฏภาคภายใน ซึ่งเป็นกันชนที่แข็งแรงหนาแน่นพอที่จะต้านทานการรวมตัวกันของหยดวัฏภาคภายในได้ดี ภาพที่ 21 นอกจากนี้ส่วนที่ละลายน้ำจะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับวัฏภาคภายนอก ทำให้โอกาสที่หยดวัฏภาคภายในจะรวมตัวหรือเกาะกลุ่มกันมีน้อยลง สารกลุ่มนี้มักทำให้เกิดอิมัลชันชนิด O/W เพราะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับน้ำด้วย ตัวอย่างสารกลุ่มนี้คือ acacia, gelatin, pectin เป็นต้น การใช้สารเหล่านี้เป็นตัวทำอิมัลชันจะต้องใช้แรงหรือพลังงานมากในการเตรียมอิมัลชันเพราะไม่ทำให้แรงตึงระหว่างผิวลดลงมากนัก และต้องควบคุมอัตราส่วนของน้ำ น้ำมัน และตัวทำอิมัลชันเป็นอย่างดี ไม่ค่อยนิยมใช้ในทางเครื่องสำอางมากนัก มักจะใช้ในส่วนช่วยทำอิมัลชัน และสารเพิ่มความหนืดมากกว่า คอลลอยด์บางตัวไม่ถูกดูดซับที่ผิวประจันของวัฏภาคน้ำและน้ำมัน แต่ช่วยเพิ่มความหนืดมากกว่า คอลลอยด์บางตัวไม่ถูกดูดซับที่ผิวประจันของวัฏภาคน้ำและน้ำมัน แต่ช่วยเพิ่มความหนืดของวัฏภาคน้ำโดยการพองตัว เช่น tragacanth, methylcellulose และอนุพันธ์ของมัน จึงมักใช้ร่วมกับ acacia ในการเตรียมอิมัลชันและใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด

3. อนุภาคของแข็งขนาดเล็กละเอียดบางชนิด (finely divided solid particle) พงละเอียดของสารกลุ่มนี้ถูกดูดซับได้ที่ผิวประจันโดยมีความสามารถในการเปียกน้ำและน้ำมันได้ต่างกัน ทำหน้าที่เป็นตัวทำอิมัลชันโดยการสร้างฟิล์มที่เรียกว่า particulate film (ดังภาพที่ 21) สารกลุ่มนี้จะต้องมีพงละเอียดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดหยดวัฏภาคภายในบางชนิดอาจมีประจุซึ่งทำให้เกิด electrical double layer รอบหยดวัฏภาคภายในได้ จะทำให้อิมัลชันยังมีความคงตัวมากขึ้น ตัวอย่างสารกลุ่มนี้คือ bentonite, aluminium hydroxide, magnesium hydroxide, colloidal aluminium silicate, colloidal magnesium, aluminium silicate เป็นต้น พงเหล่านี้จะแสดงขั้ว (polar solid) ทำให้เปียกน้ำได้ดีกว่าน้ำมัน และเกิดอิมัลชันชนิด O/W พงที่ไม่แสดงขั้ว (non polar solid) จะเปียกน้ำมันได้ดีกว่าน้ำและเกิดอิมัลชันชนิด W/O ได้แก่ พงถ่าน, glyceryl tristearate เป็นต้น สารกลุ่มนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ในทางเครื่องสำอาง มักใช้เป็นตัวช่วยทำอิมัลชัน โดยใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว สำหรับ bentonite ซึ่งถูกดูดซับที่ผิวประจันนั้น จะต้องทำให้เปียกก่อนจึงจะเกิดฟิล์มที่คงตัว ชนิดของอิมัลชันที่ได้ขึ้นอยู่กับลำดับการผสม ถ้าทำให้ bentonite เปียกน้ำก่อนจะได้อิมัลชันชนิด แต่ถ้าทำให้เปียกน้ำมันก่อนจะได้อิมัลชันชนิด W/O

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อชนิดของอิมัลชัน

ในแง่ของการผลิตอิมัลชันนั้นชนิดของอิมัลชันจะยึดถือตามส่วนประกอบที่เป็นวัฏภาคภายในและภายนอก คือ ชนิด O/W และชนิด W/O ซึ่งปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดชนิดของอิมัลชันที่ได้มีดังนี้คือ

1. ชนิดของตัวทำอิมัลชัน ตัวทำอิมัลชันจะกำหนดชนิดของอิมัลชันได้จากค่าการละลาย โดยทั่วไปยึดหลักว่า ตัวทำอิมัลชันละลายดีในวัฏภาคใด วัฏภาคนั้นจะเป็นวัฏภาคภายนอก โดยหลักการนี้จะต้องสัมพันธ์สอดคล้องกับปัจจัยในข้อ 2 คืออัตราส่วนของวัฏภาคน้ำกับน้ำมันที่มีในสูตรคาร์บ และปัจจัยข้อ 3 คือลำดับการผสมด้วย

1.1 สารลดแรงตึงผิว เป็นสารที่โมเลกุลมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและชอบน้ำมัน ดังนั้นการละลายของสารกลุ่มนี้ ทำนายได้จากค่า HLB (hydrophilic – lyophilic balance) ซึ่งเป็นค่าสมดุลย์ของส่วนที่ชอบน้ำกับชอบน้ำมัน ค่านี้ถูกกำหนดขึ้นจากการศึกษาของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactant) ในการกระจายตัวในน้ำ โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูงคือ 8-18 จะละลายน้ำได้ ทำให้เกิดอิมัลชันชนิด O/W (บางคนยึดค่า $HLB > 7$) สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำคือ 4-6 จะละลายน้ำไม่ดี ทำให้เกิดอิมัลชันชนิด W/O (บางคนยึดค่า $HLB < 7$) กรณีของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกหรือชนิดประจุลบซึ่งไม่มีค่า HLB นั้นกำหนดชนิดของอิมัลชันได้จากความสามารถในการละลายเช่นกัน

1.2 คอลลอยด์ที่ชอบน้ำ ซึ่งละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายน้ำมัน ทำให้เกิดอิมัลชันชนิด O/W

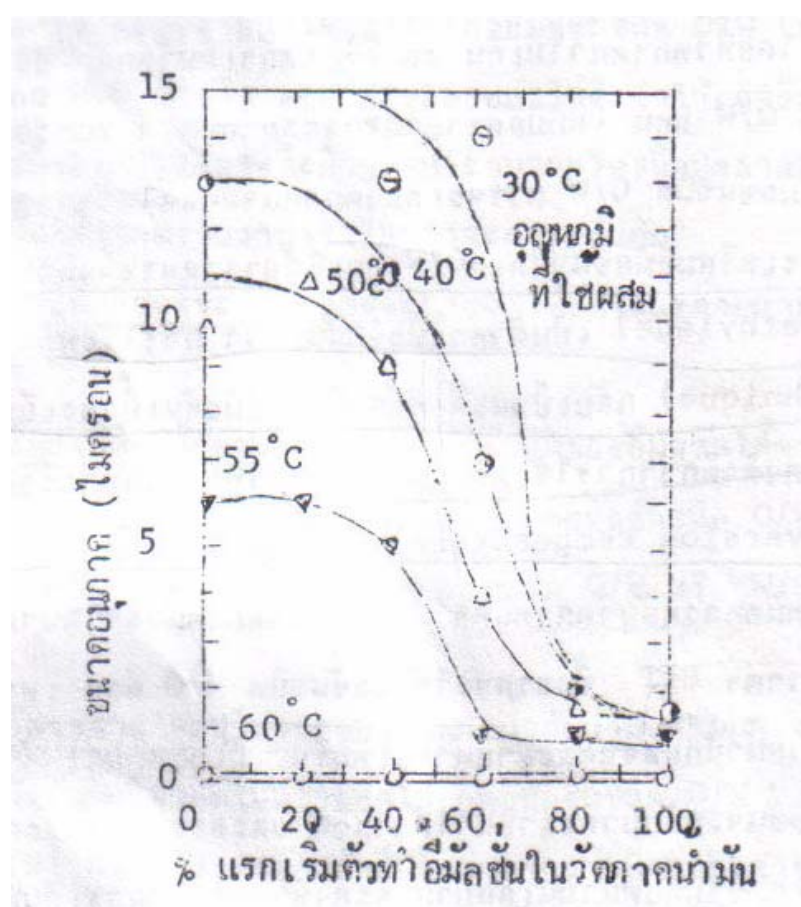
1.3 ของแข็งละเอียด กำหนดชนิดของอิมัลชันได้จากอำนาจในการเปียกน้ำหรือน้ำมัน ถ้าเป็นชนิดที่เปียกน้ำได้ดีกว่าน้ำมัน ทำให้เกิดอิมัลชันชนิด O/W และในทางกลับกันแต่มีข้อยกเว้นสำหรับ bentonite ซึ่งทำให้เกิดอิมัลชันชนิด O/W หรือ W/O ก็ได้แล้วแต่ลำดับการผสมตามได้กล่าวแล้ว

2. อัตราส่วนโดยปริมาตรของวัฏภาคน้ำกับน้ำมัน (phase volume ratio) โดยปกติแล้วตัวทำอิมัลชันที่ละลายดีในน้ำจะทำให้เกิดอิมัลชันชนิด O/W หลักนี้จะเป็นจริงได้ต่อเมื่อวัฏภาคน้ำมัน (ภายใน) มีไม่เกิน 74% ถ้ามีปริมาณมากกว่านี้จะเกิดการกลับวัฏภาค (phase inversion) ทันทีกลายเป็นชนิด W/O และไม่คงสภาพเนื่องจากตัวทำอิมัลชันละลายดีในน้ำ ซึ่งควรเป็นวัฏภาค

ภายนอกที่อธิบายในข้อ 1 ตัวทำอิมัลชันที่ละลายดีในน้ำมันจะทำให้เกิดอิมัลชันชนิด W/O ตัวอย่างเช่น water-mineral oil-sorbitan monooleate แต่ถ้าปริมาณวัฏภาคน้ำ (ภายใน) มีเกิน 40% จะกลับได้อิมัลชันชนิด O/W และไม่คงสภาพ การที่อิมัลชันชนิด O/W มีค่าอัตราส่วนวัฏภาคภายใน ได้สูง (75%) กว่าอิมัลชันชนิด W/O (40%) เพราะฟิล์มที่หุ้มรอบหยดน้ำมันเป็นฟิล์มที่มีประจุ (electrical double layer) ทำหน้าที่เป็นกั้นชนที่แข็งแรงในการป้องกันการรวมตัวกันของหยดน้ำมัน ได้ดี แต่ฟิล์มที่หุ้มรอบหยดน้ำ (กรณีอิมัลชันชนิด W/O) เป็นฟิล์มไม่มีประจุ จึงไม่เกิดการผลักกัน ของประจุขึ้น ความสามารถในการชนจึงด้อยกว่า

3. ลำดับการผสม (order of mixing) โดยทั่วไปการผสมนั้นมักเดิมของเหลวที่จะเป็นวัฏภาคภายในลงไปของเหลวอีกชนิด เช่น ในการเตรียมอิมัลชันของ water-mineral oil-sorbitan monooleate ดังกล่าวในข้อ 2 จะต้องเติมน้ำลงในน้ำมันพร้อมกับผสมไปด้วยจึงจะได้อิมัลชันชนิด W/O (โดยที่วัฏภาคน้ำไม่เกิน 40%) แต่ถ้าเติมวัฏภาคทั้งสองลงไปพร้อมกันแล้วคนผสมจะได้ อิมัลชันชนิด O/W แทน (แม้มีอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำแค่ 20-30%) ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการ เตรียมอิมัลชันชนิด O/W ควรจะเติมวัฏภาคน้ำมันลงในวัฏภาคน้ำพร้อมกับผสมไปด้วย แต่กรณีของ การเตรียมอิมัลชันชนิด O/W และใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (โดยเฉพาะกลุ่ม polyoxyethylene) เป็นตัวทำอิมัลชันนั้นพบว่า การใช้เทคนิคการกลับวัฏภาค (phase inversion technique) กลับเป็นผลดี กล่าวคือได้อิมัลชันเนื้อละเอียด (ขนาดหยดน้ำมันเล็กมาก) และมีความคง ตัวดีกว่าการใช้เทคนิคผสมแบบธรรมดา ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจะต้องทราบค่า PIT (phase inversion temperature) ของตัวทำอิมัลชันด้วย (โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 65-80 องศาเซลเซียส) เทคนิคการ กลับวัฏภาคนี้ทำได้โดยเติมน้ำลงไป ในน้ำมันพร้อมกับผสมตลอดเวลา ณ ที่อุณหภูมิสูงกว่า ค่า PIT ขึ้นแรกจะได้อิมัลชันชนิด W/O ก่อน เพราะสารลดแรงตึงผิว (ตัวทำอิมัลชัน) ละลายน้ำ น้อยลงแต่ละลายน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิระหว่างการผสมลดลงมาต่ำกว่าค่า PIT ตัวทำอิมัลชัน จะกลับมาละลายน้ำได้มากขึ้น และละลายน้ำมันลดลง อิมัลชันจะกลับวัฏภาคกลายเป็นชนิด O/W ซึ่งมีหยดน้ำมันเล็กมากและคงตัวมากกว่าการเติมน้ำมันลงในน้ำแต่แรก การเก็บรักษาอิมัลชันที่ เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุนี้ ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่า PIT คือประมาณ 20-65 องศาเซลเซียส จะทำให้อิมัลชันคงตัวเพราะสารลดแรงตึงผิวยังคงละลายน้ำได้ดี บทบาทของ ตำแหน่งที่อยู่แรกเริ่มของตัวทำอิมัลชันก็มีผลต่อชนิดและคุณภาพอิมัลชันที่ได้ ซึ่งได้มีคณะวิจัย พบว่าตัวทำอิมัลชันชนิดไม่มีประจุที่มีค่า HLB สูง (ชอบน้ำ) นั้น ถ้าใส่ลงในวัฏภาคน้ำมันทั้งหมด ก่อนเติมน้ำลงไป จะทำให้อิมัลชันชนิด O/W ที่มีเนื้อเนียนละเอียดกว่าการใส่ลงในวัฏ ภาคน้ำทั้งหมด เพราะในขั้นแรกน้ำที่เติมบางส่วนจะถูกทำให้ละลายในน้ำมันและเกิดอิมัลชันชนิด W/O ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นชนิด O/W เนื่องจากตัวทำอิมัลชันเกิดการเคลื่อนย้าย (migrate) จากวัฏภาค

น้ำมันไปยังวัฏภาคน้ำ ซึ่งจุดใกล้จุดกลับวัฏภาคนี้อาจเกิดอิมัลชันเชิงซ้อน W/O/W ชั่วระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะกลับวัฏภาค จึงทำให้อิมัลชันสุดท้ายที่ได้มีเนื้อเนียนละเอียด แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของตำแหน่งแรกเริ่มของตัวทำอิมัลชันชนิดไม่มีประจุต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่ได้จะเห็นได้ว่า เมื่อตัวทำอิมัลชันอยู่ในวัฏภาคน้ำมันทั้งหมด ไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิในการเตรียมอิมัลชันเป็นเท่าใด อิมัลชันจะมีขนาดเล็กที่สุด นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการเตรียมอิมัลชันที่จุดเหนือค่า PIT (ค่า PIT = 57 องศาเซลเซียส) คือ 60 องศาเซลเซียส อิมัลชันจะมีขนาดเล็กละเอียดที่สุดโดยไม่ขึ้นกับตำแหน่งแรกเริ่มของตัวทำอิมัลชันเช่นกัน



ภาพที่ 29 ผลของตำแหน่งที่อยู่แรกเริ่มของตัวทำอิมัลชันและอุณหภูมิที่ใช้ต่อขนาดของอนุภาค

ดังนั้นอิมัลชันชนิด O/W ที่ใช้ตัวทำอิมัลชันชนิดไม่มีประจุ สามารถเตรียมให้มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดได้ 2 แนวทางคือ

3.1 ใช้เทคนิคการกลับวัฏภาค

3.2 ทำให้ตัวทำอิมัลชันอยู่ในวิภูภาคน้ำมันทั้งหมดแต่แรกเริ่ม

4. ความหนืดของแต่ละวิภูภาค การเพิ่มความหนืดให้แก่วิภูภาคใด วิภูภาคนั้นมีแนวโน้มที่จะเป็นวิภูภาคภายนอก

ขนาดของอนุภาค (Particle size)

ขนาดอนุภาคอิมัลชันมีผลต่อลักษณะอิมัลชันที่ได้ (ตามตารางที่ 5) คุณสมบัติการไหลและความคงตัวของอิมัลชัน อิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กมักจะหนืด เนื้อเย็น คงตัว ป้างจยที่มีอิทธิพลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันคือ ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำอิมัลชัน วิธีการผลิต เช่น ปริมาณพลังงานที่ให้ และลำดับการผสม การวัดขนาดอนุภาคอาจใช้วิธีตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้วิธีการกระจายแสง (Light scattering technique) ใช้เครื่อง Coulter Counter หรือการวัดค่า Dielectric Constant

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยพร และคณะ(ม.ป.ป.) วิเคราะห์ปัจจัยการระเบิดด้วยไอน้ำที่มีผลต่อสภาวะในการแยกองค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน จากฟางข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี1 และสาเหตุที่เลือกใช้วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ เพราะวิธีนี้มีข้อดีกว่ากระบวนการใช้สารเคมีแบบดั้งเดิมคือ 1) เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบที่ใช้การแยกแบบเชิงกล เชิงความร้อน และเชิงเคมีไว้ด้วยกัน ทำให้เลือกสัดส่วนการแยกองค์ประกอบต่างๆ ได้ดีขึ้น มีความสมบูรณ์ในการนำองค์ประกอบจากพืชกลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากขึ้น 2) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง เนื่องจากไอน้ำไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพน้อยลง ดังนั้นจึงมีข้อระมัดระวังในการดำเนินงานน้อยลง 3) มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการติดตั้งถูกลง จากผลการทดลองพบว่า ความดันหรืออุณหภูมิของการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะมีผลต่อปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ส่วนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น จะมีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสเช่นกัน แต่ปริมาณลิกนินนั้นพบว่าไม่ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษา สุดท้ายเซลลูโลสที่ได้จะถูกนำไปเตรียมเส้นใยลิกเซลลูโลส และปรับสภาพผิวด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงผิวที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำวัสดุเชิงประกอบระดับนาโนเมตร

Rawski and Cole (1997) วิจัยการเตรียม Viscose จากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าเพื่อนำมา ก่อตัวขึ้นรูปใหม่เป็นผลิตภัณฑ์เซลลูโลสที่มีประโยชน์ในรูปของ แผ่นฟิล์ม Cellophane และ ฟองน้ำเซลลูโลส นอกจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า (Old Newspaper, ONP) ในงานวิจัยนี้ยังมีการ ทดลองใช้กระดาษสำเนาจากสำนักงาน (Office Copies Paper, OCP) กระดาษถุงใส่สินค้า (Grocery Bag Paper, GB) กระดาษแข็งลูกฟูก (Cardboard Corrugated, CB) และกระดาษนิตยสารเก่า (Old Magazine Paper, OMP)

Viscose เตรียมได้จากการตัดวัตถุดิบให้เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 1 ตารางนิ้ว เตรียม สารละลายดังนี้ สารละลายด่างโซดาไฟ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 20 และ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายกรด Sulfuric (H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร

ผสมวัตถุดิบกับสารละลายด่างโซดาไฟเข้มข้นร้อยละ 20 ในปริมาณมากเกินพอนำไปบ่ม ริดสารละลายส่วนเกินออกจะได้ Alkali Mass ทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ เก็บในภาชนะปิด นำไปบ่ม จากนั้นเติม Carbon-disulfide เพื่อทำให้เป็น Cellulose Xanthate ซึ่งจะนำไปบ่มอีกครั้งแล้วเจือจาง ด้วยสารละลายด่างโซดาไฟเข้มข้นร้อยละ 4 เพื่อให้เป็น สารละลาย Viscose หลังจากการบ่ม นำ Viscose ปาดกระจายให้เรียบเสมอบนแผ่นกระจกบาง จุ่มลงในสารละลายกรด Sulfuric เข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อก่อตัวขึ้นใหม่เป็นแผ่นฟิล์ม Cellophane เมื่อผสม Viscose กับผลึกของ Sodium Sulfate (Na_2SO_4) จุ่มลงในสารละลายกรด Sulfuric เข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อก่อตัวขึ้นใหม่เป็นฟองน้ำ เซลลูโลส (Cellulose Sponge)

สำหรับวัตถุดิบชนิดอื่นสามารถใช้กรรมวิธีการเตรียม Viscose ได้ในลักษณะเดียวกับ กระดาษหนังสือพิมพ์เก่าแต่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณของสารเคมีที่ใช้และระยะเวลาในการ บ่ม (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณสารเคมีและเวลาในการบ่มของวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียม Viscose

	ONP	ฝ้าย	OCP	GB	CB	OMP
น้ำหนักวัตถุดิบ(กรัม)	40	13.1	17.5	17.5	17.5	17.5
ปริมาณของ NaOH เข้มข้น 20% (มิลลิลิตร)	900	295	300	300	300	300
เวลาในการบ่ม Alkali Mass (ชั่วโมง:นาฬิกา)	0:35	0:35	0:30	0:30	0:30	0:30
อัตราส่วนของ Alkali/น้ำหนักวัตถุดิบ (กรัม/กรัม)	6.34	6.48	4.38	6.26	6.00	5.19
เวลาในการบ่ม Alkali (ชั่วโมง:นาฬิกา)	19:45	28:25	22:50	29:33	22:22	29:04
ปริมาณของ Carbon-disulfide (มิลลิลิตร)	35.0	11.5	17.0	20.0	17.0	17.0
เวลาในการบ่ม Xanthate (ชั่วโมง:นาฬิกา)	1:05	1:05	1:09	1:00	1:00	1:00
ปริมาณของ NaOH เข้มข้น 4%	138.0	95.2	150.0	100	100	100
เวลาในการบ่ม Viscose (ชั่วโมง:นาฬิกา)	22:00	23:05	196:30	166:20	143:10	93:00

ที่มา: ธนิตย์ (2546)

Viscose จากฝ้ายเมื่อก่อตัวขึ้นใหม่จะมีความแข็งแรงสูงและมีความยืดหยุ่นได้ดี ผลิตภัณฑ์เซลลูโลสมีสีขาวคล้ายนํ้านม ฟองนํ้าเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนหนาแน่น แผ่นฟิล์ม Cellophane ซึ่งมีรูปทรงที่ผลิตได้มีลักษณะคล้ายพลาสติก

การก่อตัวขึ้นรูปใหม่ของ Viscose ที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าโดยสมบูรณ์ใช้เวลา 5 นาที ขณะที่ Viscose จากวัตถุดิบอื่นใช้เวลาในการก่อตัวขึ้นรูปใหม่ในช่วงวินาที ผลิตภัณฑ์ฟองนํ้าเซลลูโลสมีลักษณะอ่อนนุ่มแตกออกจากกันได้ง่าย แต่ยังมีมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรักษารูปร่างได้เมื่อเปียกนํ้า Viscose จากกระดาษสำเนาจากสำนักงานมีลักษณะคล้ายดินเหนียวอาจจะมีสาเหตุมาจาก Kaolin ที่ได้เติมลงไป เพื่อให้กระดาษสำเนาทึบแสง ลักษณะของ Viscose ที่คล้ายดินเหนียวทำให้การผสมกับ CS_2 และสารละลายด่างโซดาไฟเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเนื้อเดียวกันได้ยาก แต่เมื่อผสมกันได้แล้ว นำไปก่อตัวขึ้นรูปใหม่เป็นฟองนํ้าเซลลูโลสที่ไม่มีสีมีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ฟองนํ้าเซลลูโลสจากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าหลายเท่า

Viscose จากถุงกระดาศไส่ตินิก้า มีคความขั่นมากคล้าย Gelatin มีสีน้ำตาลเข้มสามารถก่อตัวขึ้นรูปใหม่ได้ทั้งผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์ม Cellophane และฟองน้ำเซลลูลอส

Viscose จากกระดาษแข็งมีสีคล้าย Viscose จากถุงกระดาษสีน้ำตาลแต่มีความหนืดต่ำกว่า ซึ่งสามารถก่อตัวขึ้นรูปใหม่ได้ทั้งแผ่นฟิล์ม Cellophane และฟองน้ำเซลลูโลสได้เช่นกัน

Viscose จากกระดาษนิยตสารเก่า มีลักษณะคล้ายดินเหนียวเช่นเดียวกับ Viscose จากกระดาษสำเนาจากสำนักงาน ซึ่งมีสาเหตุมาจาก Kaolin ที่เติมลงไปเพื่อให้เกิดความทึบแสงเช่นเดียวกัน สามารถก่อตัวขึ้นรูปใหม่ได้ทั้งแผ่นฟิล์ม Cellophane และฟองน้ำเซลลูโลส สำหรับส่วนผสมของ Viscose ทั้ง 3 แบบจะก่อตัวขึ้นรูปใหม่เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์ม Cellophane และฟองน้ำเซลลูโลสที่แข็งแรงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก Viscose จากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าเพียงอย่างเดียว ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่ามีความแข็งแรงมากขึ้นต้องเติมเซลลูโลสชนิดอื่นๆ ที่มีความแข็งแรงมากกว่าในขั้นตอน Viscose ได้แก่ ฝ้ายและกระดาษชนิดอื่นๆ เรียงลำดับความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จาก Viscose ชนิดต่างๆ จากแข็งแรงมากที่สุดจนถึงความแข็งแรงต่ำที่สุดดังนี้ ฝ้าย ถูกระดาษใส่สินค้ำ กระดาษสำเนาจากสำนักงาน ส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า/กระดาษสำเนาจากสำนักงาน/กระดาษถูใส่สินค้ำ/กระดาษแข็งลูกฟูก/กระดาษนิยตสารเก่า/ฝ้าย ส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า/กระดาษสำเนาจากสำนักงาน/กระดาษถูใส่สินค้ำ/กระดาษแข็งลูกฟูก/กระดาษนิยตสารเก่า ส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า/ฝ้าย กระดาษนิยตสารเก่า และกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า ผลิตภัณฑ์จากส่วนผสมของกระดาษหนังสือพิมพ์เก่า/ฝ้าย มีความแข็งแรงปานกลาง มีความอ่อนนุ่มบ้าง ผลิตภัณฑ์จากนิยตสารเก่าไม่สามารถสังเกตความอ่อนนุ่มได้แต่ฉีกขาดได้ง่าย ผลิตภัณฑ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าฉีกขาดได้ง่าย อ่อนนุ่มและมีความแข็งแรงต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบชนิดอื่น

วิทยา และคณะ(ม.ป.ป) ได้ทำการทดลองผลิตเชื้อที่มีแอลฟาเซลลูโลสสูงและไซโตสจากชานอ้อยและซังข้าวโพด โดยวิธีระเบิดด้วยไอน้ำ โดยการทดลองได้นำชานอ้อยและซังข้าวโพดแช่ในกรดซัลฟูริกที่ควบคุมความเข้มข้นต่างๆในช่วง 0.1-2% เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำเข้าเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสนาน 4 นาที พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของสารละลายน้ำตาลไซโตสที่ได้รับมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักของไซโตสในชานอ้อยและซังข้าวโพดเริ่มต้น ซึ่งแสดงว่ากระบวนการนี้สามารถแทนกระบวนการไฮโดรไลซ์ขั้นแรกโดยใช้สารละลาย

กรดเจี๊องได้ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาของการไฮโดรไลซ์เพื่อผลิตไซโลสเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเฟอร์ฟอรอลต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าในการระเบิดด้วยไอน้ำใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (Recovery) ของการละลายน้ำตาลไซโลสจะสูงขึ้นด้วยโดยไม่จำเป็นต้องแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก

Ibrahim และคณะ(ม.ป.ป.) ได้ทดลองเตรียมเยื่อแอลฟาเซลลูโลสสูงจากขานอ้อยโดยผ่านการ Prehydrolysis ด้วยกรดซัลฟูริก เข้มข้นในช่วง 0-2.5% และอุณหภูมิช่วง 120-140 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำเยื่อที่ได้มาต้มเยื่อ (pulp) ต่อด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และเอนทราควิโนน และฟอกเยื่อด้วย H_2O_2 ผลการทดลองสรุปได้ว่าเยื่อที่มีแอลฟาเซลลูโลสสูงจะต้องมีการ prehydrolysis ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสนาน 90 นาที ตามด้วยการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียสนาน 120 นาทีโดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 25% ร่วมกับเอนทราควิโนน เข้มข้น 0.05% และในขั้นสุดท้ายมีการฟอกขาวเยื่อ 4 ขั้นตอน ขั้นการใช้คลอรีน ขั้นการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ขั้นการใช้ $NaClO$ และขั้นการใช้ $NaClO_2$ ส่วนถ้าใช้ฟอกขาวเยื่อด้วย H_2O_2 จะได้เยื่อแอลฟาเซลลูโลสที่มีปริมาณเถ้าปนอยู่สูง

Lönnberg *et al.* (1995) ได้ทำการทดลองศึกษาการวัดความหนืดของสารละลาย Viscose ของเซลลูโลส การทำให้สารประกอบของเซลลูโลสก่อตัวใหม่มีความต้องการวัตถุดิบที่มีสารประกอบของเซลลูโลสซึ่งมีลักษณะที่เป็นโครงสร้างผลึกและได้มีการกำจัดสารลิกนินออกไปอย่างดี นอกจากนั้น เส้นใยของวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสซึ่งถูกฟอกล้างแล้วนั้นต้องนำมาทำให้ละลายน้ำได้ ความสามารถของวัตถุดิบที่มีสารประกอบเซลลูโลสในการละลายในสารละลายอัลคาไลอ่อนๆ เกิดขึ้นในขั้นตอน Xanthogenate ของอัลคาไลเซลลูโลส ดังที่เคยมีการนำเสนอโดย Cross, Bevan และ Beadle ในปี 1891 สารละลาย Viscose ของเซลลูโลสจากกระบวนการ Xanthogenate ที่ได้อาจจะนำไปก่อตัวขึ้นใหม่ได้หลายวิธี ทั้งการใช้ความร้อน หรือการทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด

สารละลาย Viscose ของเซลลูโลสสามารถนำไปก่อตัวขึ้นใหม่เป็นรูปแบบของเส้นใยโดยการปั่น ก่อตัวเป็นฟิล์มโดยการดึงให้เป็นแผ่นบางๆ หรือก่อตัวเป็นรูปร่างลักษณะเป็นฟองน้ำ (Sponge) โดยการนำสารละลาย Viscose ของเซลลูโลสมาหล่อขึ้นรูป ฟองน้ำของเซลลูโลส (Cellulose Sponge) ถูกนำไปใช้ประโยชน์มาแล้วหลายปีในการทำความสะดวกและวัตถุประสงค์ในด้านการแพทย์ การแพทย์แผนใหม่และเทคโนโลยีทางชีวภาพมีความต้องการฟองน้ำของเซลลูโลสซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับประโยชน์ที่ใช้ ในการผลิตฟองน้ำของเซลลูโลสนั้นอยู่

บนพื้นฐานความคิดในด้านความหนืดของสารละลาย Viscose เป็นตัวกำหนดการไหลของสารละลาย Viscose รอบผลึกและเส้นใยที่ถูกผสมกับสารละลาย Viscose เพื่อสร้างความพรุนและความแข็งแรงของเซลลูโลสที่ก่อตัวขึ้นใหม่ ดังนั้นจึงมุ่งความสนใจต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลาย Viscose ดังที่มีการบ่งบอกด้วยเทคนิคของเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด ซึ่งสัมพันธ์กับวิธีในการผสมสาร

Rheometer ดูเหมือนว่ามีประโยชน์สำหรับการวัดค่าตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการในการเตรียมสารละลาย Viscose รวมทั้งขั้นตอนการทำปฏิกิริยากับสารละลายต่าง การบ่มด้วยความร้อน Xanthogenatation และ การบ่มที่อุณหภูมิต่ำ จำนวนของกลูโคสโมเลกุลต่อหนึ่งหน่วยโมเลกุลของเซลลูโลส (Degree of Polymerization) ลดลงมากโดยการบ่มด้วยความร้อนที่ยาวนานมากขึ้นในเวลาที่ยาวนานและมีอุณหภูมิสูง ทำให้ความหนืดของสารละลาย Viscose ที่ได้ลดลงไปมากพอสมควร

ความสนใจในฟองน้ำของเซลลูโลสที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นได้รับความสนใจมากขึ้นในทางการวิเคราะห์ด้านการแพทย์ และวัตถุประสงค์ในทางเวชกรรม ฟองน้ำของเซลลูโลสที่ได้ผลิตขึ้นจากวัสดุทางธรรมชาติอย่างเซลลูโลสจะให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ครบถ้วน

กระบวนการผลิตสารละลาย Viscose ตั้งอยู่บนพื้นฐานของขั้นตอน Xanthogenatation ต่อมาก็คือสถานะในการที่วัตถุดิบซึ่งมีส่วนประกอบของเซลลูโลสที่อยู่ในสารละลายต่างโซดาไฟ และวัตถุดิบนั้นทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างโซดาไฟจัดว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญจากการนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายประเภทสำหรับการผลิตเส้นใยสิ่งทอ ฟิล์ม และฟองน้ำของเซลลูโลส ในทางการแพทย์และเวชกรรม ฟองน้ำของเซลลูโลสที่นำมาใช้ควรจะเป็นเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ และยิ่งไปกว่านั้นควรจะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของพื้นที่ผิวที่ดีด้วย

สารละลาย Viscose ที่มีความหนืดสูงจะมีการไหลรอบอนุภาค เช่น โมเลกุลของโครงสร้างผลึกได้ไม่ดี ผลึกภัณฑ์ฟองน้ำของเซลลูโลสที่ได้จะมีช่องเปิดมากเกินไปจึงทำให้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่ต่ำ ในทางตรงกันข้าม สารละลาย Viscose ที่มีความหนืดต่ำจะมีการไหลที่ดีเพื่อก่อตัวเป็นลักษณะของเนื้อผนังที่มีความต่อเนื่องของพื้นผิวและให้โครงสร้างที่ดีสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการ เช่น การจับเซลล์ของเม็ดเลือด

ความหนืดของสารละลาย Viscose สามารถหาได้ง่ายด้วยเครื่องมือผสมที่ทำงานภายใต้สภาวะควบคุม (ความเข้มข้นของ ภาชนะผสมออกแบบอย่างเหมาะสม และลักษณะของแกนหมุนของเครื่องมือ) โดยการวัดแรงบิดของเพลเป็นค่าตัวอย่างที่ความเร็วในการหมุนค่าหนึ่งซึ่งจะวางหลักของความสัมพันธ์ดังนี้

$$P = f(d, n, \eta) \quad (3)$$

P = กำลังสุทธิของแกนหมุน (W) ซึ่งคำนวณจากความต้านทานแรงบิด

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะผสม (เมตร)

n = ความเร็วในการหมุนของแกนหมุน (รอบต่อวินาที)

η = ความหนืดของสารละลาย Viscose (Ns/m^2)

แบบจำลองทั่วไปสามารถพัฒนาขึ้นโดยใช้วิธี Dimensional Analysis:

$$P = cd^2\eta n^2 \quad (4)$$

c = ค่าคงที่ของการแปรผัน

จากแบบจำลองนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P และ n^2 จะได้ฟังก์ชันความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

การหาคุณสมบัติของสารละลาย Viscose ที่เกิดจากกระบวนการ Xanthogenate ของสารละลาย Viscose ทำได้โดยวัดคุณสมบัติบางประการกับฟองน้ำของเซลลูโลสที่ผลิตได้และโดยการวัดความหนืดของสารละลาย Viscose สามารถวัดได้ด้วยการใช้เครื่องมือ Rheometer ที่มีขายอยู่ทั่วไป เช่น Bohlin VOR Rheometer ด้วยการใช้ Carbon-14 ภายในภาชนะปิด ภาชนะที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.4 มิลลิเมตร และมีความสูง 27.9 มิลลิเมตร ลูกดิ่งในภาชนะที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร และมีความสูง 21 มิลลิเมตร ปริมาณของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดในภาชนะคือ 2 มิลลิลิตร ในเครื่องมือนี้ภาชนะบรรจุสารตัวอย่างจะหมุนในขณะที่ลูกดิ่งจะอยู่นิ่ง

Laszkiewicz *et al.* (1990) ศึกษาวิธีในการปรับปรุงความคุ้มค่าในการผลิต Viscose โดยผลิตเส้นใยจากสารละลาย Sodium Cellulose Xanthate เพิ่มขึ้น ในการทดลองการนำเซลลูโลสมาชุบด้วยด่าง ใช้เยื่อไม้ 20 กรัม ผสมกับสารละลายด่างโซดาไฟเข้มข้นร้อยละ 4-24 โดยน้ำหนัก ใน

อัตราส่วน 1 ต่อ 15 ควนคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยมีการกวนเป็นครั้งคราว เซลลูโลสบางส่วนถูกเคลือบด้วยสารละลายต่างโซดาไฟผสมกับสารละลายยูเรียเข้มข้นร้อยละ 1 ของปริมาณต่างโซดาไฟ เมื่อเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วแยกสารละลายต่างโซดาไฟส่วนเกินออก จะได้ Alkali Cellulose นำไปบ่มไว้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ด้วยสารละลายต่างโซดาไฟเจือจางก่อนใช้รังสี Infrared ตรวจสอบอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเตรียมสารละลาย Viscose (Viscose Preparation)

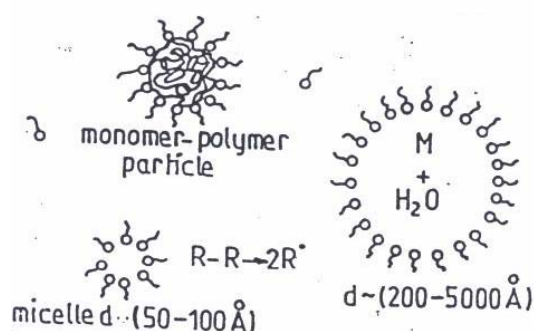
Alkali Cellulose ที่ผ่านการบ่มแล้วได้ถูกนำมาใส่ในภาชนะแก้ว กวนอย่างช้าๆ เติม Carbon-disulfide บริสุทธิ์ลงไปปริมาณร้อยละ 32 ของน้ำหนัก Alkali Cellulose ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที จะได้ Sodium Cellulose Xanthate ละลายในสารละลายต่างโซดาไฟเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 5 องศาเซลเซียส

การปั่นขึ้นรูปเป็นเส้นใย (Spinning of Fiber) เส้นใยจะถูกปั่นในห้องปฏิบัติการในอ่างที่ปั่นเส้นใยบรรจุไว้ด้วยกรด Sulfuric เข้มข้น 131 กรัมต่อลิตร Zinc Sulfate เข้มข้น 10.5 กรัมต่อลิตร และ Sodium Sulfate ในปริมาณที่ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมในอ่างที่ปั่นกวนเส้นใยเป็น 1.302 กรัมต่อมิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ผลของปฏิกิริยากับสารละลายต่างประเมนจากเครื่องมือ Infrared พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับสารละลายต่างเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายต่างโซดาไฟ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายต่างโซดาไฟต่ำกว่าร้อยละ 17.5 โดยน้ำหนัก และเมื่อมียูเรียในปริมาณร้อยละ 1 ของปริมาณโซดาไฟ ปฏิกิริยาของเซลลูโลสกับสารละลายต่างโซดาไฟเกิดขึ้นได้ดีกว่า

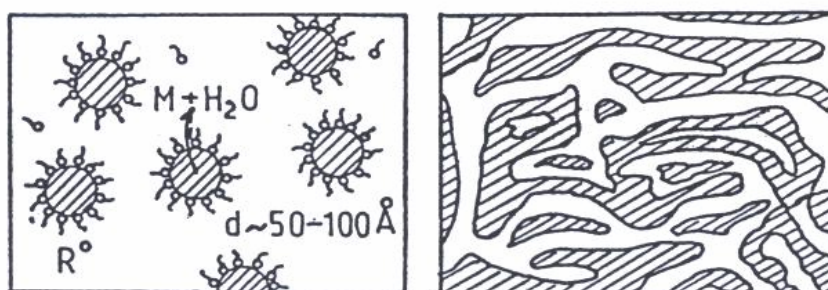
Candau (1990) ศึกษากรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันในสัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกันแบบ Inverse Emulsion และ Inverse Micro-emulsion ในแบบ Inverse Emulsion โดย Monomer ที่ละลายน้ำได้จะถูกทำให้ละลายเข้ากับน้ำมันที่มีความต่อเนื่องโดยสารเชื่อมประสานสำหรับน้ำและน้ำมัน (Emulsifier) สารตั้งต้นสามารถเลือกใช้ได้ทั้งชนิดที่ละลายในน้ำหรือละลายในน้ำมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นการกระจายของอนุภาคละเอียดของสารละลายที่มี Polymer ในปริมาณสูง ซึ่งสามารถผันกลับเปลี่ยนรูปมาอยู่ในน้ำได้ ดังนั้น อนุภาคของ Polymer ที่พองตัวในน้ำจะละลายได้เร็ว ผันกลับเป็นอนุภาค Polymer ของแข็ง ซึ่งอยู่ในรูปของ Gel หรือแข็งตัวเมื่อเติมน้ำลงไป

ในทางตรงกันข้ามสำหรับกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันในสัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกันแบบ Inverse Micro-emulsion จะพิจารณาได้ไม่เหมือนกัน

แบบ Inverse Emulsion ส่วนผสมในระบบจะไม่เสถียร ชุ่น และอนุภาคผลิตภัณฑ์มีการกระจายของขนาดที่กว้าง (ภาพที่ 30) แบบ Inverse Micro-emulsion มีเสถียรภาพทาง Thermodynamics และระบบของน้ำกับน้ำมันมีความโปร่งแสง ในเขตที่มีปริมาณน้ำมันมาก ทรงกลมขนาดเล็กที่พองตัวได้เมื่อถูกน้ำก่อตัวขึ้น โดยมีขนาดสม่ำเสมอ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 นาโนเมตร กระจายตัวอยู่ในน้ำมัน (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 30 แบบจำลองของปฏิกิริยา Inverse Emulsion



ภาพที่ 31 แบบจำลองของปฏิกิริยา Inverse Micro-emulsion

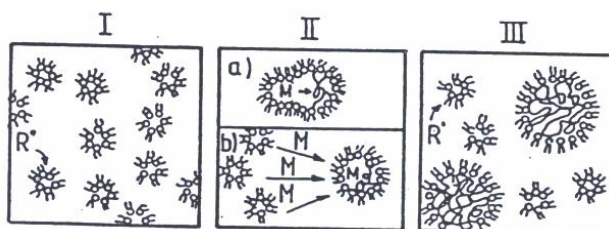
การดำเนินไปและกลไกของกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกัน ในสัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกันแบบ Inverse Emulsion ตำแหน่งของสารตั้งต้นมี 4 ตำแหน่งคือ 1) หยดของ Monomer 2) Micelle ของ Monomer 3) ตัวกลางของระบบที่มีความต่อเนื่อง 4) ชั้นพื้นผิวของสารเชื่อมประสานสำหรับน้ำและน้ำมัน

การขยายขนาดของอนุภาคเกิดขึ้นได้ทั้งโดยการแพร่จากหยดของส่วนผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายเข้ากัน หรือการเกาะตัวกันของอนุภาค ปฏิกิริยาสิ้นสุดโดยถูกควบคุมจากการแพร่เนื่องจากอนุภาคของ Polymer กำลังขยายขนาดขึ้น ทำให้ความหนืดของสารในระบบสูงขึ้น

กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันในสัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกันแบบ Inverse Micro-emulsion ของ Acrylamide (AM) โดยมีสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุเป็นสารสร้างเสถียรภาพ คือ Aerosol OT (Sodium 1,4-Bis(2-Ethylhexyl) Sulphosuccinate) หรือสารเชื่อมประสานน้ำกับน้ำมันประเภทไม่มีประจุ ชนิด Sorbitan Ester ในกรณีแรก Monomer ถูกทำให้กระจายตัวเป็นชั้นเดียวในลักษณะของ Micelles ขนาดเล็กที่พองตัวในน้ำ ในกรณีหลัง Monomer กระจายตัวอยู่ในระบบด้วยโครงสร้างที่มีความต่อเนื่อง Micro-emulsion สามารถรวมตัวกับ Monomer ได้ในจำนวนที่มากกว่าระบบ AOT

การก่อตัวของแกนกลางของอนุภาคในระบบ Toluene/AOT/(H₂O+AM) โดย Quasi Electric Light Scattering (QELS) และ Electron Microscopy (EM) ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Micro-emulsion ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างเดิม ในกรณีของกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันในสัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกันจะสังเกตเห็นการขยายขนาดของ Micelles อนุภาคที่เป็นผลิตภัณฑ์ได้ก่อตัวขึ้นรอบๆ Micelles จำนวนมาก

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าอนุภาค Polymer แต่ละอนุภาคก่อตัวขึ้นในขั้นตอนเดียว อนุภาคมีปริมาณที่แน่นอนระหว่างกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันในสัดส่วนเท่ากันแต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับการสังเกตด้วยตาที่พบเห็นได้บ่อยใน Emulsion โดยที่ขั้นตอนแรกเป็นการเกิดขึ้นของแกนกลางของอนุภาค ติดตามด้วยการโตขึ้นของอนุภาคที่มีปริมาณคงที่ (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 กลไกของกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่นที่มีธาตุเดียวกันในสัดส่วนเท่ากัน แต่มน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ใน Micro-emulsion

คุณสมบัติทางโครงสร้างของชั้นในอนุภาค (Structural Properties of Lattices)

รูปร่างและลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่เป็น Latex เปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสูตรและสภาวะในการทดลองเพียงเล็กน้อย โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวแปรต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา

ธรรมชาติและความเข้มข้นของสารเชื่อมประสานสำหรับน้ำและน้ำมันเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อเสถียรภาพและขนาดของอนุภาค Latex เทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของ Polymer สารเชื่อมประสานสำหรับน้ำและน้ำมันซึ่งมีลักษณะทางเคมีที่เข้ากันกับน้ำมันได้ดีทำให้ชั้นในอนุภาคมีความเสถียร ไม่เช่นนั้นอนุภาคจะขาดเสถียรภาพโดยที่ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ขนาดของอนุภาค Latex สามารถประเมินได้จากการทดลองด้วยเครื่องมือ Quasi-elastic Light Scattering (QELS) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopy, EM) ขนาดของอนุภาคสัมพันธ์กับปริมาณของสารลดแรงตึงผิว เมื่อลดปริมาณลงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมประสานสำหรับน้ำและน้ำมันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลมากขึ้น

สารเพิ่มเติมบางชนิดเช่น กลีเซอรีน ช่วยให้อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ Latex ที่มีความเสถียรภาพดีขึ้น และลดการจับตัวกันของอนุภาค สารตั้งต้นที่ละลายได้ในน้ำมันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า สารตั้งต้นที่ละลายในน้ำ เนื่องจากมีความเข้มข้นของอนุมูลอิสระน้อยกว่า ในกรรมวิธีการผลิตแบบเคมีทางแสง (Photochemical Process) ที่อุณหภูมิห้องจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

บีกเกอร์

ตุ้มน้ำหนัก

Hot Plate

Water Bath

เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Pump Filter)

เครื่องชั่งที่สามารถวัดน้ำหนักได้ละเอียดโดยมีทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่อง Multi –pycnometer

เครื่อง Autosorb-1

เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR)

มอเตอร์ – ใบกวน

เครื่อง Soxhlet Extraction



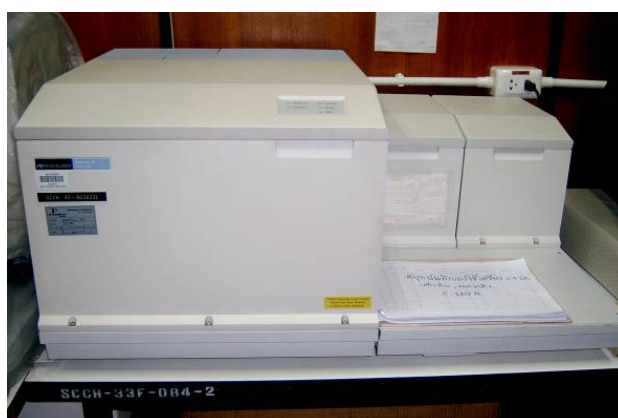
ภาพที่ 33 เครื่อง Multi-pycnometer



ภาพที่ 34 เครื่อง Autosorb-1



ภาพที่ 35 เครื่องชั่งน้ำหนักสนิม 3 ตำแหน่ง



ภาพที่ 36 เครื่อง FTIR รุ่น SCCH 43-A036231

2. สารเคมี

ฟางข้าว จากอำเภอสูงเนิน จังหวัดราชสีมา

ซังข้าวโพด จากบริษัทเบทาโกร

โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH)

คาร์บอนไดซัลไฟด์บริสุทธิ์ (Carbon Disulfide, CS₂)

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethanol, C₂H₅OH)

แป้งมันสำปะหลัง

น้ำกลั่น

น้ำมันคาร์เนชั่น-70

เบนซีน (C₆H₆)

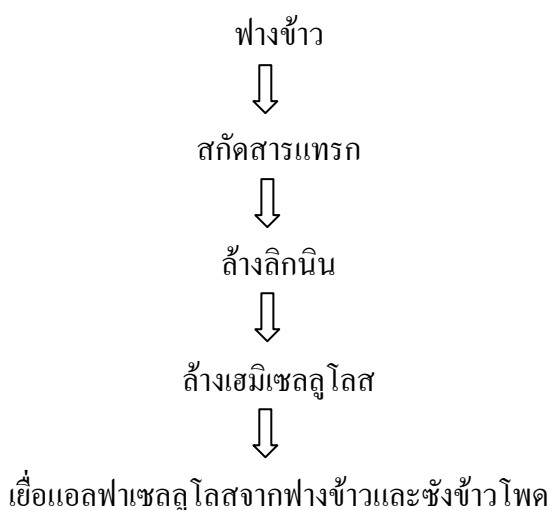
กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid)

Sephadex G-25

วิธีการวิจัย

วิธีการผลิตแอลฟาเซลลูโลสจะแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนคือขั้นตอนแรกจะเป็นการสกัดสารแทรกออกจากฟางข้าว ขั้นตอนที่สองเป็นการเตรียมสารละลายที่มีความหนืดสูง (Viscose) และส่ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการผลิตเซลลูโลสที่มีรูปพรุนโดยวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ ฟางข้าวและซังข้าวโพด โดยมีขั้นตอนการดำเนินการในแต่ละส่วนดังนี้

ขั้นตอนแรก เป็นการสกัดสารแทรกออกจากฟางข้าว ด้วยเอทานอล-เบนซิน โดยมีวิธีการดำเนินการดังนี้



1. ชั่งวัตถุดิบหนัก 20 กรัม ใส่ลงไปใน อุปกรณ์สกัดสารแทรก
2. สกัดด้วยสารผสมเอทานอล-เบนซินจำนวน 150 มิลลิลิตร โดยการควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย ซึ่งใช้เวลาในการสกัดสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล-เบนซิน เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง
3. นำเยื่อที่ผ่านการสกัดแล้วออกจากเครื่องมือสกัดสารแทรก แล้วนำไปล้างกากนินออกโดย
4. ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก 20 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
5. เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดก้นกลมและทำการทดลองในตู้ควั่น
6. นำขวดก้นกลมไปตั้งใน Water Bath ที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ

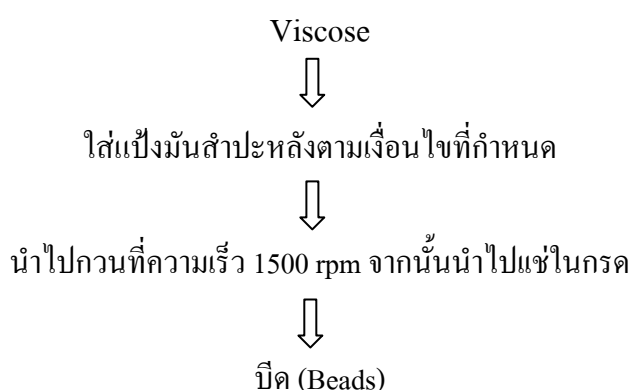
7. หลังจากครบ 1 ชั่วโมงเติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตรตามด้วยโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด
8. หลังจากครบ 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง ให้ปฏิบัติตามข้อ 4 เมื่อครบชั่วโมง
9. นำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมากรองผ่าน Sinter glass crucible เบอร์ 3 ล้างด้วยน้ำเย็น จะได้เยื่อที่ผ่านการสกัดสารแทรกและล้างลิ้นินออก จากนั้นนำไปล้างเอมิเซลลูโลสออกโดย
10. ชั่งเยื่อที่ได้จากข้อ 9 ปริมาณ 20 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ปริมาตร 75 มิลลิลิตรลงไป ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส
11. คนสารละลายด้วยแท่งแก้วเป็นเวลานาน 30 นาที
12. เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้อีก 30 นาที
13. กรองสารละลายโดยใช้ Sinter glass crucible เบอร์ 3
14. ล้างเยื่อที่เหลือด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลางและ 10 % กรดอะซิติก ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ในเตาอบ
15. ทำให้ได้แอลฟาเซลลูโลสจากฟางข้าวและซังข้าวโพด

ขั้นตอนที่สอง เป็นการเตรียมสารละลายที่มีความหนืดสูง (Viscose) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. นำเยื่อจากฟางข้าว ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรในปริมาณที่มากเกินไป (Excess) จากนั้นนำไปบีบเอาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนเกินออก แล้วบ่มจะได้ อัลคาไลเซลลูโลส (Alkali Cellulose)
2. เมื่อได้อัลคาไลเซลลูโลส แล้วนำมาคนอย่างช้าๆ แล้วเติมสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ในอัตราส่วนน้ำหนักของเซลลูโลสหลังการบ่มต่อน้ำหนักของคาร์บอนไดซัลไฟด์ คือ 6:1 โดยกวนผสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็น โซเดียมเซลลูโลส ซานเทต (Sodium Cellulose Xanthate)
3. จากนั้นนำเซลลูโลส ซานเทตผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง (Viscose)

ขั้นตอนที่สาม เป็นการผลิตเซลล์โลสที่มีรูพรุน โดยในงานวิจัยนี้มีการผลิตเซลล์โลสที่มีรูพรุน 8 ชนิดดังตารางที่ 7 ซึ่งเป็นการเตรียมตัวอย่างการทดลองโดยมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับตัวแปรนั้น โดยในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการทดลองที่ 1-4 เป็นการทดลองโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบและเปลี่ยนความเข้มข้นของ viscose: แป้งมันสำปะหลัง และการทดลองที่ 5-8 เป็นการทดลองโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบและเปลี่ยนความเข้มข้นของ viscose: แป้งมันสำปะหลัง มีวิธีการดังนี้

นำสารละลายที่มีความหนืดสูงแล้วมาผสมกับแป้งตามปริมาณที่ต้องการ เมื่อผสมจนเข้ากันแล้วนำไปเทลงในน้ำมันคาร์เนชั่น -70 เพื่อขึ้นรูปเป็นอนุภาคทรงกลม โดยใช้ใบพัดกวนที่ความเร็ว 1500 rpm พร้อมการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส กวนนาน 45 นาที แล้วแยกอนุภาคทรงกลมที่ได้ออกจากน้ำมันคาร์เนชั่น -70 โดยการกรอง แล้วนำไปแช่ 10% กรดซัลฟูริก เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปล้างน้ำร้อน 5 ครั้งเพื่อล้างน้ำมันออก แล้วนำไปอบ



ตารางที่ 7 สรุปการเตรียมตัวอย่างการทดลอง

ตัวอย่างการทดลอง	วัตถุดิบสารละลาย Viscose	Viscose : แป้งมันสำปะหลัง(โดยน้ำหนัก)
1.	ฟางข้าว	100 : 0
2.	ฟางข้าว	95 : 5
3.	ฟางข้าว	85 : 15
4.	ฟางข้าว	75 : 25
5.	ชังข้าวโพด	100 : 0
6.	ชังข้าวโพด	95 : 5
7.	ชังข้าวโพด	85 : 15
8.	ชังข้าวโพด	75 : 25

การวิเคราะห์ผล

1. ยืนยันโครงสร้างแอลฟาเซลลูโลส ยืนยันโครงสร้างแอลฟาเซลลูโลส โดยใช้เครื่อง FTIR เพื่อแสดงสเปกตรัมจำเพาะของแอลฟาเซลลูโลส ซึ่งในการทดลองได้นำเยื่อแอลฟาเซลลูโลสที่ได้จากฟางข้าวและชังข้าวโพด นำไปเปรียบเทียบกับแอลฟาเซลลูโลสที่ใช้ในโรงงานไทยรอน จังหวัดอ่างทอง

2. หาความหนาแน่น ความหนาแน่นของอนุภาคที่วัดโดยใช้ก๊าซฮีเลียม (Helium Density) หรือค่าความหนาแน่นที่แท้จริงของอนุภาค (True Density) ซึ่งหาจากเครื่อง Multi-Pyconometer โดยใช้หาปริมาตรของอนุภาคที่แท้จริงแล้วนำไปหารกับน้ำหนักของอนุภาค

3. หาปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวของอนุภาค หาปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวของอนุภาค โดยใช้เครื่อง Autosorb-1 ตัวอย่างที่ทำการทดสอบจะประกอบไปด้วยเซลลูโลสที่มีรูพรุนขนาดต่างๆกันตามปริมาณที่ใส่แป้งมันสำปะหลังตามตารางที่ 7

4. หากการกระจายขนาดอนุภาค หากการกระจายขนาดอนุภาค โดยใช้เครื่อง Sieve ตัวอย่างที่ทำการทดสอบจะประกอบไปด้วยเซลล์โลสที่มีรูพรุนขนาดต่างๆกันตามปริมาณที่ใส่เป้งมันสำปะหลังตามตารางที่ 7

5. หาปริมาณโลหะหนักที่เจือปนในผลิตภัณฑ์ หาปริมาณโลหะหนักที่เจือปนในผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่อง Atomic Adsorption (AA) ตัวอย่างที่ทำการทดสอบจะประกอบไปด้วยเซลล์โลสที่มีรูพรุนขนาดต่างๆกันตามปริมาณที่ใส่เป้งมันสำปะหลังตามตารางที่ 7

สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ระยะเวลาในการวิจัย

เดือน มกราคม 2549 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ 2551

ผลและวิจารณ์

1. ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการผลิตแบบเก่าและแบบใหม่

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบการผลิตวิธีเก่าและวิธีใหม่

1. ฟางข้าวและซังข้าวโพด 2. สกัดสารแทรก3. ล้างลิกนิน 4. ล้างเฮมิเซลลูโลส 5 ได้เยื่อจากฟางข้าวและเยื่อจากซังข้าวโพด 6. นำไปเข้าสู่กระบวนการ Viscose 7. ได้ Viscose 8. ใส่แป้งมันสำปะหลังตามเงื่อนไขที่กำหนด 9. นำไปเทลงในน้ำมัน Carnation-70 แล้วใช้ใบกวานหมุน 10. นาน 20 นาทีจากนั้นให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียสนาน 45 นาที 11. แยกน้ำมันออกโดยการกรอง 12. จากนั้นนำบีดที่ได้ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10% นาน 15 นาที 13. นำไปกรองแยกกรดซัลฟูริกออก แล้วนำบีดที่ได้ไปล้างน้ำร้อน 14. นำไปอบให้แห้งจะได้ บีด (Beads)	1. ผลผลิตทางเกษตรกรรม 2. นำไปเข้าสู่กระบวนการ Viscose 3. ได้ Viscose 4. ใส่แป้งมันสำปะหลังตามเงื่อนไขที่กำหนด 5. นำไปเทลงในน้ำมัน Carnation-70 แล้วใช้ใบพัดกวาน 6. ใส่ 10% กรดซัลฟูริก 7. นำไปกรองและล้างเอาน้ำมันออก 8. นำไปอบให้แห้งจะได้ บีด (Beads)
---	--

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการผลิตเซลลูโลสบีดแบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับการผลิตเซลลูโลสบีดแบบเก่าของนายธนิตย์ ซึ่งมีความแตกต่างกันดังนี้

จากการศึกษาทางทฤษฎีพบว่าหากมีปริมาณของสารแทรก เฮมิเซลลูโลส และ

ลิกนิน อาจส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเปราะบาง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตเซลลูโลสปีดด้วยวิธีการใหม่ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในการทดลองข้างต้น ซึ่งจะมีความแตกต่างจากวิธีการผลิตเซลลูโลสปีดด้วยวิธีเก่า คือ จะมีการนำวัตถุดิบทางการเกษตรกรรมมากำจัดสารแทรกก่อนนำมาใช้ จากนั้นเมื่อกำจัดสารแทรกแล้ว จึงนำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารแทรก นำไปเข้าสู่การล้างลิกนินออกโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารฟอกขาว แล้วจากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการล้างเฮมิเซลลูโลสออกซึ่งจะได้แอลฟาเซลลูโลสบริสุทธิ์กว่าวิธีการผลิตเซลลูโลสปีดด้วยวิธีเก่าซึ่งไม่มีขั้นตอนการสกัดสารแทรก รวมถึงการล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกก่อนนำไปใช้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อองค์ประกอบเคมีในวัตถุดิบการผลิตเซลลูโลสปีดด้วยวิธีใหม่ในงานวิจัยนี้ได้อนุภาคเซลลูโลสปีดที่มีขนาดเล็กและมีความคงตัวกว่าการผลิตเซลลูโลสปีดด้วยวิธีเก่าดังภาพที่ 38 เนื่องมาจาก

ในกระบวนการ Viscose เมื่อได้สารละลายหนืดหรือที่เรียกว่า Viscose แล้ว นำไปขึ้นรูปเพื่อให้ได้เป็นอนุภาคทรงกลมเล็กๆ ด้วยวิธีการ Water In Oil โดยนำสารละลายหนืดไปกวนในน้ำมันคาร์เนชั่น-70 เพื่อให้สารละลายหนืดถูกเหวี่ยงแล้วแตกตัวเป็นอนุภาคทรงกลมเล็กๆ ซึ่งจากการผลิตแบบเก่านี้พบว่าหากกวนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการให้ความร้อนจะต้องใช้เวลาในการกวนนานเพื่อที่จะทำให้อนุภาคนั้นคงตัวเป็นเม็ด และจากการศึกษาจากทางทฤษฎีพบว่า ถ้ามีการใช้ความร้อนไปพร้อมๆ กับการกวนในการทำให้อุณหภูมิของสารละลายหนืดแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ นั้น จะใช้เวลาในการกวนน้อยและอนุภาคคงตัวเป็นเม็ดและจะไม่กลับมารวมกันอีกครั้ง ในงานวิจัยนี้จึงมีการโดยใช้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียสและกวนนาน 45 นาที จะได้สารละลายหนืดที่แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ และคงตัวไม่กลับมารวมตัวกันอีก

รวมทั้งตามหลักการของการเกิดอิมัลชันของ ของเหลวสองชนิดที่ไม่เข้ากัน(ในที่นี้น้ำมันและสารละลายหนืด) เมื่อรวมตัวกันจะแยกเป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงผิว แต่เมื่อมีการเขย่าหรือการกวนซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสองจะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้นแต่เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราว ซึ่งหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายได้ว่า การเขย่าหรือการกวน

เป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface Free Energy) ของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว สถานะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือกวน หยดของเหลวเหล่านั้นจะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากการปรับสถานะให้เข้าสู่จุดคงสภาพ โดยการลดพื้นที่ผิวระหว่างกันให้น้อยที่สุด แต่เหตุการณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำให้คงสภาพได้โดยการให้ความร้อนหลังจากการเขย่าหรือการกวนสักระยะหนึ่งเพื่อความร้อนจะไปลดแรงตึงผิวลงทำให้สารละลายไม่กลับไปรวมกันอีกแต่จะแยกตัวเป็นเม็ดเล็กๆและคงสภาพนั้น



ภาพที่ 37 สารละลายหนืดในขณะที่มีใบพัดกวน



ภาพที่ 38 สารละลายหนืดที่ผ่านกระบวนการกวนในน้ำมันและให้ความร้อนนาน 45 นาที

2. ศึกษาผลขององค์ประกอบเคมีในแต่ละวัตถุดิบ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากการผลิตเซลลูโลสบีคด้วยวิธีเก่า คือ มีการล้างสารแทรกและสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออก ดังนั้นเพื่อให้รู้องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่แน่ชัด จึงนำวัตถุดิบ 8 ชนิดซึ่งประกอบไปด้วย ฟางข้าวซึ่งได้จากอำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมาที่ไม่ยังผ่านกระบวนการ, ฟางข้าวที่ผ่านการล้างสารแทรก, ฟางข้าวที่ผ่านการล้างลิกนิน, ฟางข้าวล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส, ชังข้าวโพดที่ได้จากบริษัทเบทาโกรที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ, ชังข้าวโพดที่ผ่านการล้างสารแทรก, ชังข้าวโพดที่ผ่านการล้างลิกนิน, และชังข้าวโพดล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

โดยวิธีเตรียมวัตถุดิบและการหาองค์ประกอบของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดมีขั้นตอนเหมือนกัน ดังวิธีการทดลองที่ได้กล่าวไว้ภาคผนวก ก ผลของการปรับสภาพฟางข้าวและชังข้าวโพดแสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 องค์ประกอบเคมีของฟางข้าวและซังข้าวโพด

วัตถุดิบ	ร้อยละขององค์ประกอบในวัตถุดิบ (%)				
	ลิกนิน	เฮมิเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เถ้า	สารแทรกอื่นๆ
ฟางข้าว	9.45	30.57	40.33	16.25	3.4
ฟางข้าวที่ล้างสารแทรก	9.45	30.57	43.60	16.25	0.13
ฟางข้าวที่ล้างลิกนิน	0.45	37.64	45.55	16.24	0.12
ฟางข้าวที่ล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส	0.33	1.26	82.12	16.22	0.07
ซังข้าวโพด	12.10	48.89	37.51	1.20	0.3
ซังข้าวโพดที่ล้างสารแทรก	12.10	48.89	37.51	1.20	0.12
ซังข้าวโพดที่ล้างลิกนิน	1.55	50.00	47.15	1.18	0.12
ซังข้าวโพดที่ล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส	1.10	2.46	95.24	1.15	0.05

จากการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบเคมีของทั้งฟางข้าวและซังข้าวโพดที่ผ่านขั้นตอนการล้างสารแทรก ล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส จะมีเปอร์เซ็นต์แอลฟาเซลลูโลส เพิ่มขึ้นตามลำดับซึ่งแสดงถึงความบริสุทธิ์ที่มากขึ้นเมื่อมีการกำจัดสารอื่นๆออก และวัตถุดิบที่ไม่ผ่านขั้นตอนการล้างในฟางข้าว นั้นมีค่าลิกนิน 9.45% ค่าเฮมิเซลลูโลส 30.57% และแอลฟาเซลลูโลส 40.33% โดยค่าองค์ประกอบทางเคมีในซังข้าวโพดนั้นมีค่าลิกนิน 12.10% มีค่าเฮมิเซลลูโลส 48.89% และมีแอลฟาเซลลูโลส 37.51% ซึ่งจะพบว่าปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสในฟางข้าว นั้นมีมากกว่าปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในซังข้าวโพดอยู่ปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งในทางกลับกันพบว่าเปอร์เซ็นต์แอลฟาเซลลูโลสของซังข้าวโพดมีเปอร์เซ็นต์บริสุทธิ์ที่สูงถึง 95.24% ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์แอลฟาเซลลูโลสของฟางข้าวที่มี 82.12% เมื่อมีการผ่านขั้นตอนการล้างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

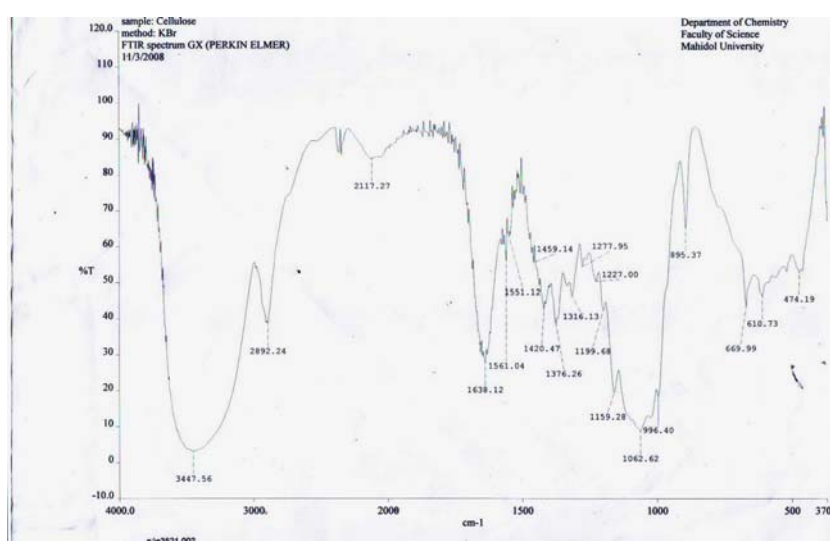
เนื่องจากว่าในฟางข้าวนั้นปริมาณของเถ้าเป็นส่วนมากจึงทำให้ได้ปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสได้ในปริมาณที่น้อยกว่าของชังข้าวโพด

3. ยืนยันโครงสร้างแอลฟาเซลลูโลส

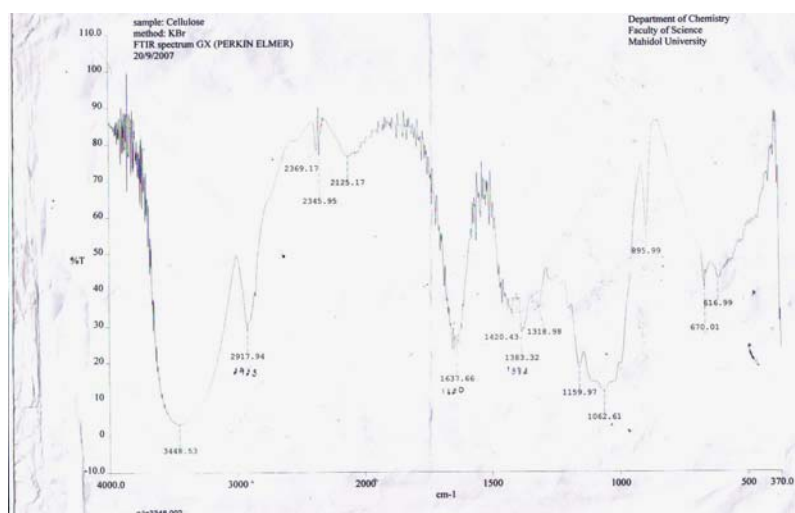
เมื่อได้แอลฟาเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ซึ่งผ่านกระบวนการล้างสารแทรกและสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกแล้ว เพื่อเป็นการยืนยันว่าแอลฟาเซลลูโลสที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นแอลฟาเซลลูโลสที่บริสุทธิ์กว่าแอลฟาเซลลูโลสที่ผลิตด้วยวิธีเก่าดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวัดสเปกตรัมของแอลฟาเซลลูโลสที่ได้จากฟางข้าวและชังข้าวโพด และนำมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของแอลฟาเซลลูโลสที่ได้จากโรงงานไทยเรยอน ซึ่งเป็นแอลฟาเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม แสดงผลของสเปกตรัมแสดงได้ดังรูปที่

39

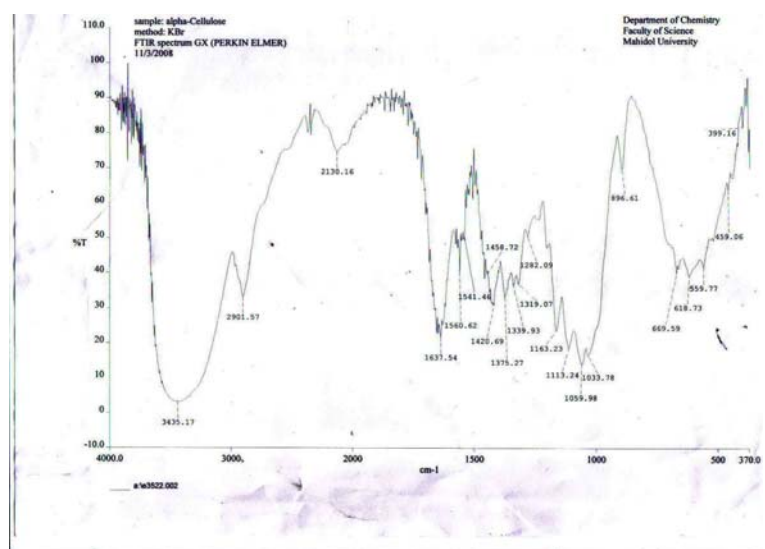
จากผลของสเปกตรัมทั้งสามมีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งสเปกตรัมที่แสดงถึงองค์ประกอบของแอลฟาเซลลูโลสเป็นหลักคือ ช่วงเลขคลื่น (Wave Number) 3356 และเลขคลื่นตั้งแต่ 1317 ถึงเลขคลื่น 1034 cm^{-1} ซึ่งแสดงว่าเชื้อแอลฟาเซลลูโลสที่เตรียมได้นี้มีคุณสมบัติเหมือนกับเชื้อที่ใช้ผลิตในโรงงานไทยเรยอน



ก.เชื้อแอลฟาเซลลูโลสจากฟางข้าว



ข. เยื่อแอลฟาเซลลูโลสที่ได้จากขังข้าวโพด



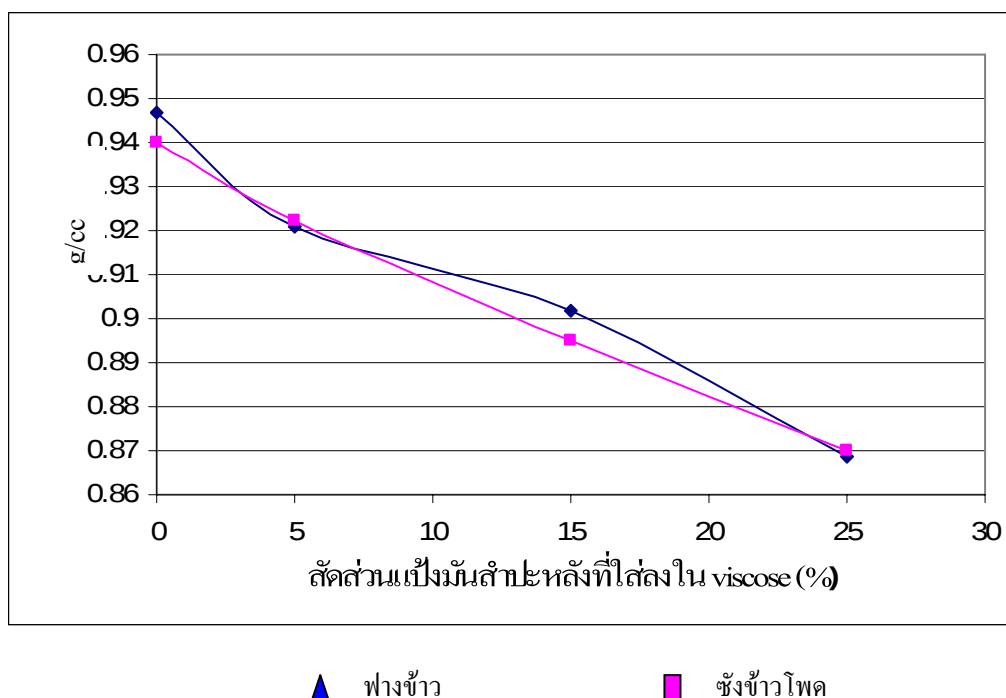
ค. เยื่อแอลฟาเซลลูโลสที่ใช้ในโรงงานไทรของ

ภาพที่ 39 FTIR สเปกตรัมของเยื่อแอลฟาเซลลูโลสจากฟางข้าว (ก.) จากขังข้าวโพด (ข.) และจากเยื่อแอลฟาเซลลูโลสที่ใช้ในโรงงานไทรของ (ค.)

4. หาคความหนาแน่น

ตารางที่ 10 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของอนุภาค

ตัวอย่างการทดลอง	He Density (g/cc)
1.	0.9468
2.	0.9211
3.	0.902
4.	0.8688
5.	0.940
6.	0.9221
7.	0.895
8.	0.870
Sephadex G-25	1.42



ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคกับปริมาณน้ำมันใส่หลังที่ใส่ใน Viscose

ความหนาแน่นของอนุภาคที่วัดโดยใช้ก๊าซฮีเลียม (Helium Density) หรือค่าความหนาแน่นที่แท้จริงของอนุภาค (True Density) ซึ่งหาจากเครื่อง Multi-Pyconometer โดยใช้หาปริมาตรของอนุภาคที่แท้จริงแล้วนำไปหารกับน้ำหนักของอนุภาค

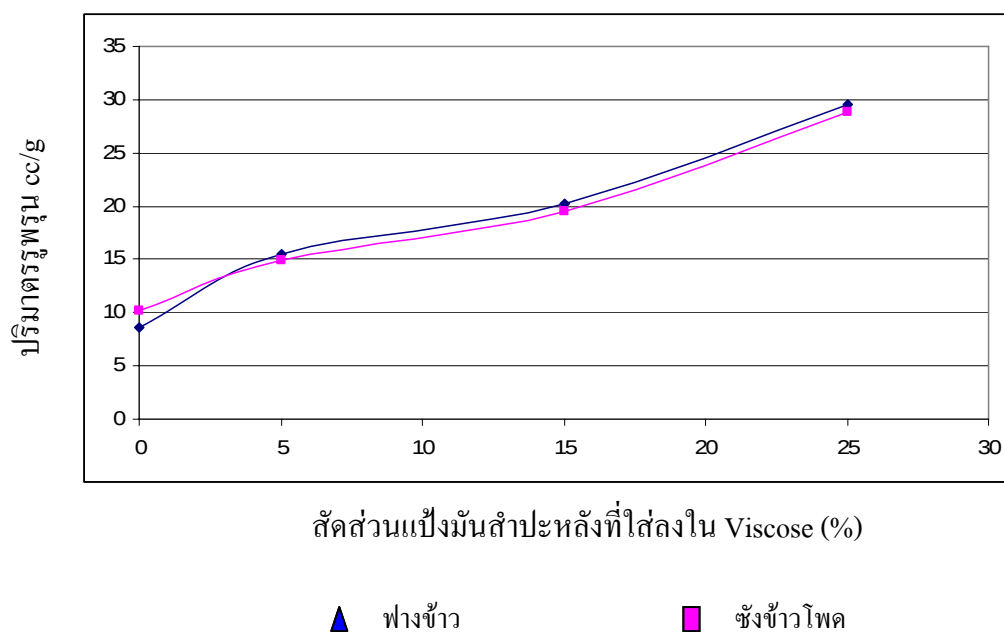
จากผลการทดลองของการหาค่าความหนาแน่นของอนุภาค พบว่า เมื่อปริมาณของแป้งที่ใส่ลงไปมีปริมาณมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นที่แท้จริงของอนุภาคลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของธนิตย์(2546) สรุปไว้ว่าเมื่อความเข้มข้นของ viscose ก่อนการผลิตขึ้นรูปเป็น Micro porous Spherical Cellulose Beads ลดลงทำให้ความหนาแน่นที่แท้จริงของอนุภาคลดลง

จากการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ปริมาณแป้งที่ใส่ลงไปในฟางข้าวและซังข้าวโพด พบว่ามีความหนาแน่นของอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างที่ปริมาณแป้ง 5% ของทั้งฟางข้าวและซังข้าวโพดมีความหนาแน่นของอนุภาค คือ 0.9468 g/cc, 0.940 g/cc และจากผลการทดลองจะเห็นว่าความหนาแน่นที่แท้จริงนั้นน้อยกว่า sepadex-G25

5. ศึกษาหาสัดส่วนของ ปริมาณโดยน้ำหนัก Viscose ต่อ ปริมาณโดยน้ำหนักของ แป้งมัน
ลำปะหลัง

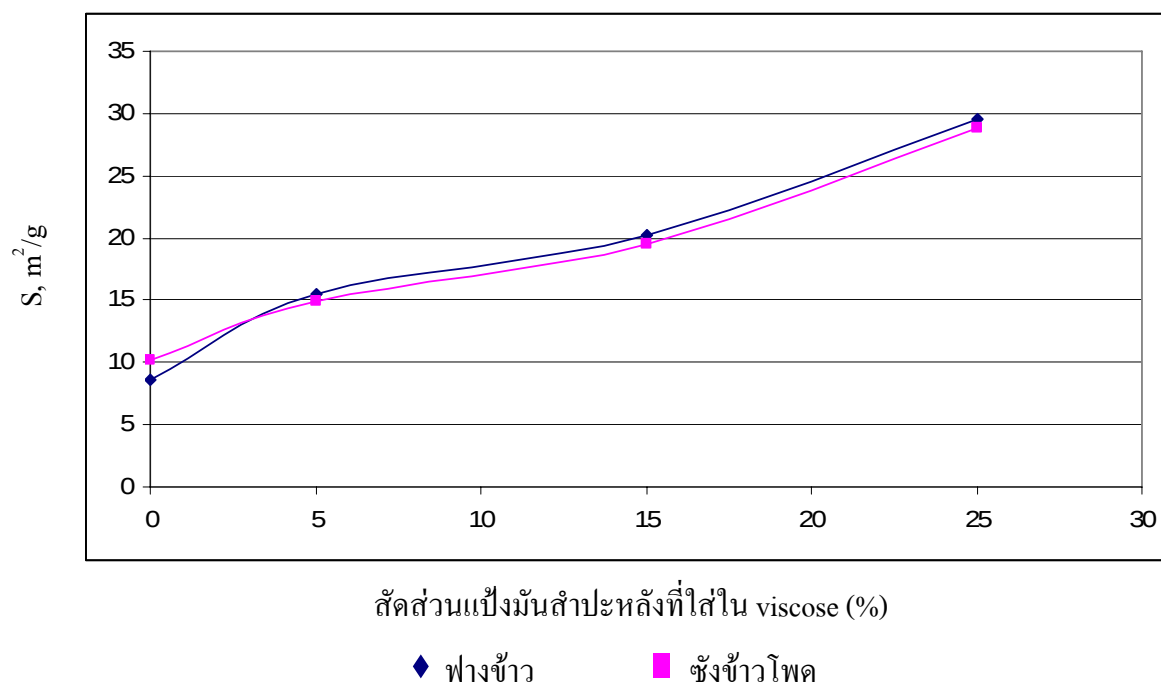
ตารางที่ 11 ผลการกระจายขนาดอนุภาค ปริมาตรรูพรุนและ พื้นที่ผิวของอนุภาค

ตัวอย่างการ ทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางของ อนุภาคโดยเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	ปริมาตรของรูพรุน (cc / g)	พื้นที่ผิวของอนุภาค (m ² / g)
1	240.04	0.0366	29.50
2	237.23	0.0548	20.23
3	238.05	0.0692	15.54
4	240.14	0.098	8.63
5	237.62	0.0378	28.87
6	243.34	0.0580	19.56
7	239.65	0.071	14.96
8	240.73	0.095	10.17
Sepadex-G25	212.09	0.0055	4.17



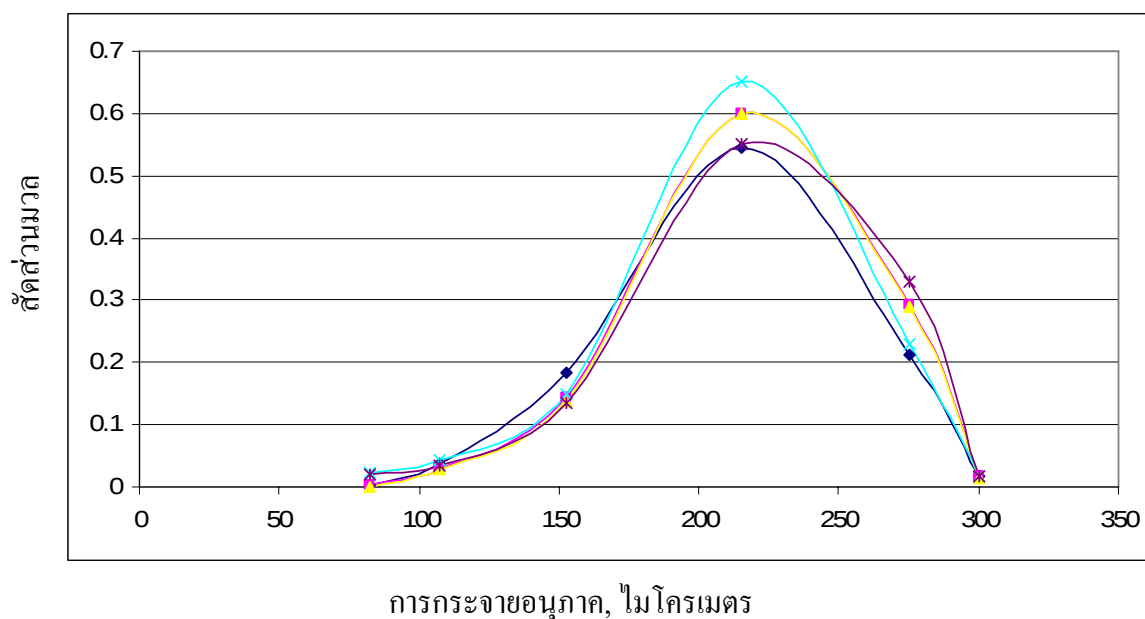
ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ของปริมาตรรูพรุนและสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่ใส่ลงใน Viscose

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาตรรูพรุนนั้นจะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 0.0366 ไปเป็น 0.098 cc/g สำหรับผลิตภัณฑ์จากฟางข้าวและสำหรับผลิตภัณฑ์จากช้างข้าวโพดจะเพิ่มจาก 0.0378 ไปเป็น 0.095 cc/g ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าที่สัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่ใส่ลงใน Viscose เท่ากัน ปริมาตรรูพรุนของทั้งฟางข้าวและช้างข้าวโพดจะมีค่าใกล้เคียงกัน และจากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ของทั้งฟางข้าวและช้างข้าวโพดมีปริมาตรรูพรุนสูงกว่า Sephadex G-25



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวของอนุภาคกับสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังที่ใส่ลงใน Viscose

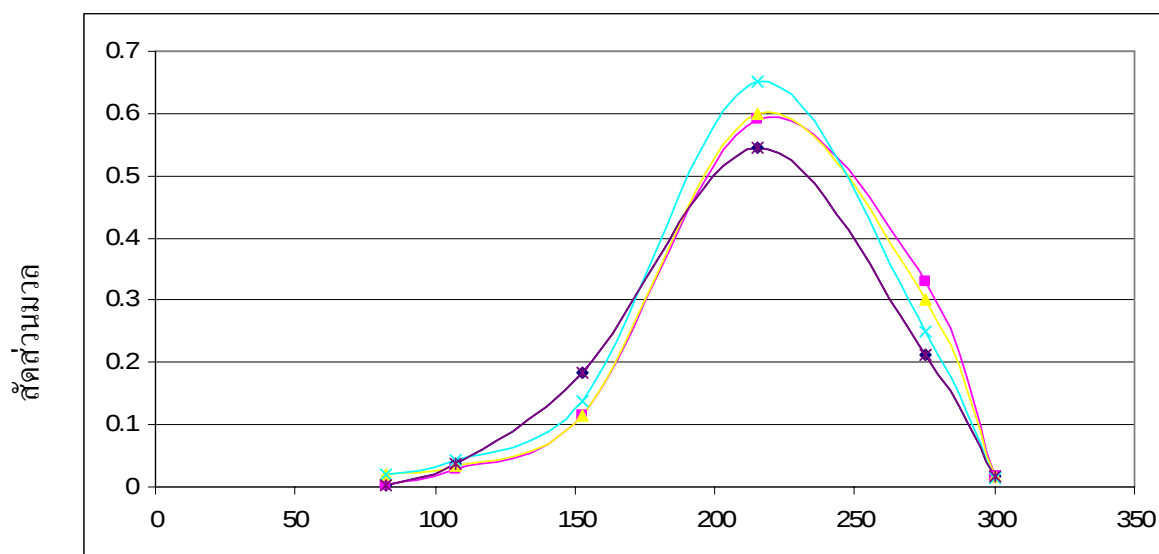
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าพื้นที่ผิวของอนุภาคนั้นลดลงกับการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังใน Viscose โดยลดลงจาก 29.5 ไปเป็น 8.63 m²/g สำหรับฟางข้าวและลดลงจาก 28.87 ไปเป็น 10.17 m²/g สำหรับชิงข้าวโพด ซึ่งจะเห็นว่าที่สัดส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ใส่ใน Viscose ที่เท่ากันพื้นที่ผิวของอนุภาคทั้งฟางข้าวและชิงข้าวโพดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าพื้นที่ผิวของอนุภาคมากกว่า Sephadex G-25



◆ Sephadex G-25 ■ การทดลองที่ 1 ▲ การทดลองที่ 2 ★ การทดลองที่ 3 ✱ การทดลองที่ 4

ภาพที่ 43 การกระจายอนุภาคสำหรับการทดลองที่ 1 – 4 และ Sephadex G-25

จากกราฟจะแสดงได้ว่า ลักษณะของเส้นโค้งของการทดลอง 4 การทดลองของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากฟางข้าวนี้มีลักษณะการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเป็นเส้นโค้งปกติ มีจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่อนุภาคประมาณ 215 ไมโครเมตรในทุกการทดลอง แสดงว่าอนุภาคมีลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางและรูปร่างที่สม่ำเสมอ และสามารถคำนวณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ยโดยน้ำหนักจะได้ 240.04 ไมโครเมตร, 237.23 ไมโครเมตร, 238.05 ไมโครเมตร และ 240.14 ไมโครเมตร ตามลำดับการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของอนุภาคนั้นมีขนาดใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงประมาณ 237 – 240 ไมโครเมตร และมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า Sephadex G-25

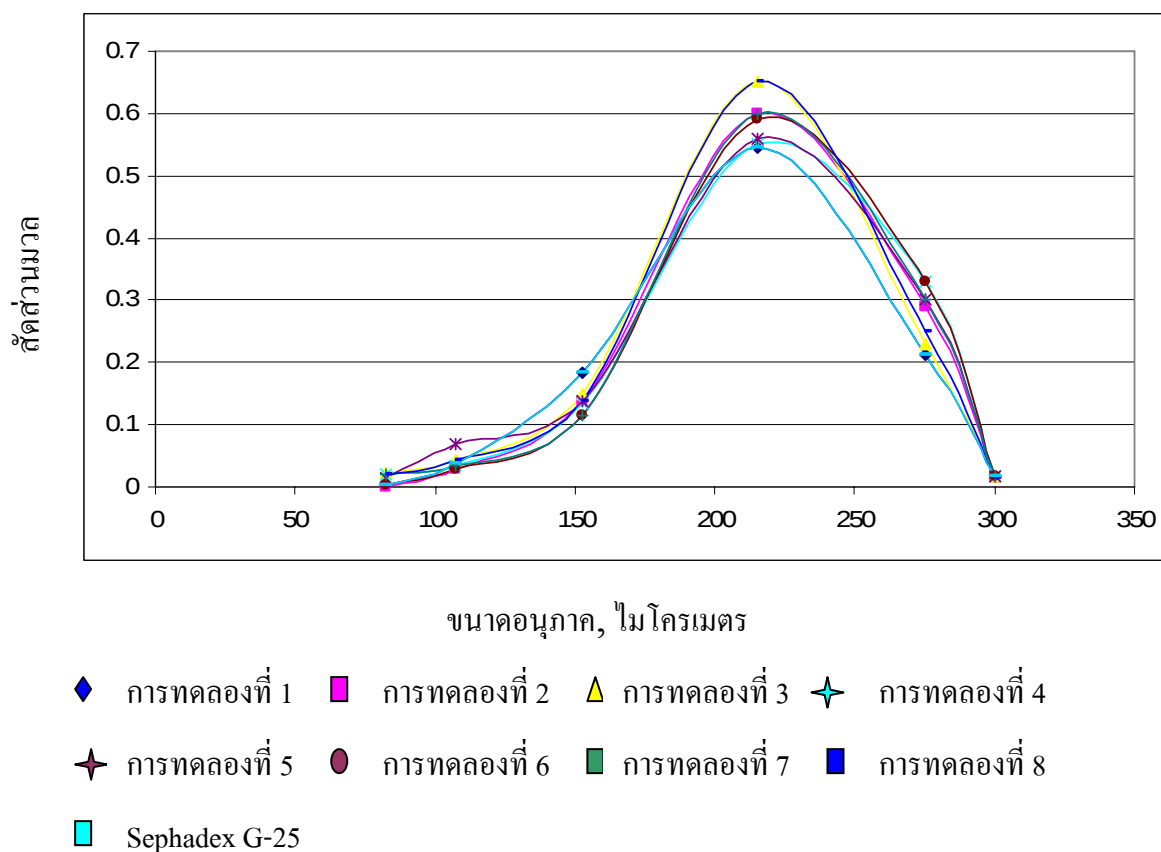


การกระจายอนุภาค, ไมโครเมตร

◆ การทดลองที่ 1 ■ การทดลองที่ 2 ▲ การทดลองที่ 3 ✦ การทดลองที่ 4 ✦ Sephadex G-25

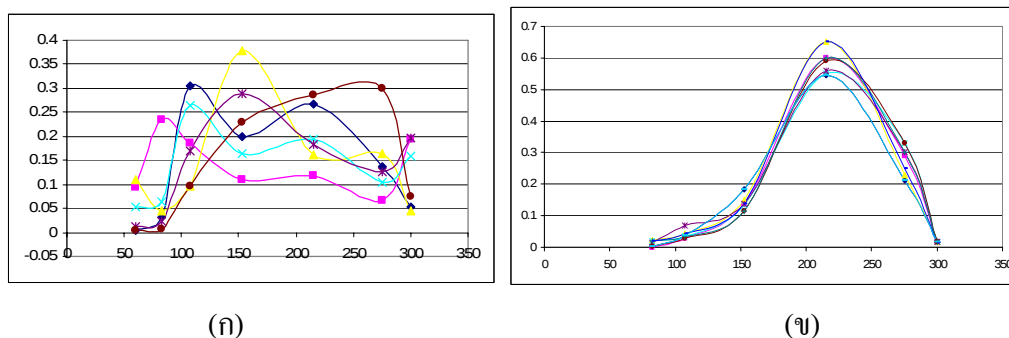
ภาพที่ 44 การกระจายอนุภาคสำหรับการทดลองที่ 5 – 8 และ Sephadex G-25

จากกราฟจะแสดงได้ว่า ลักษณะของเส้นโค้งของการทดลอง 4 การทดลองของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากซังข้าวโพดนั้นมีลักษณะการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเป็นเส้นโค้งปกติ มีจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่อนุภาคประมาณ 215 ไมโครเมตรในทุกการทดลอง แสดงว่าอนุภาคมีลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางและรูปร่างที่สม่ำเสมอ และสามารถคำนวณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ยโดยน้ำหนักจะได้ 237.62 ไมโครเมตร, 243.34 ไมโครเมตร, 239.65 ไมโครเมตร และ 240.72 ไมโครเมตร ตามลำดับการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของอนุภาคนั้นมีขนาดใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงประมาณ 237 – 241 ไมโครเมตร และมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า Sephadex G-25



ภาพที่ 45 การกระจายอนุภาคสำหรับการทดลองที่ 1 – 8 และ Sephadex G-25

จากกราฟจะแสดงได้ว่า ลักษณะของเส้นโค้งของการทดลอง 8 การทดลองของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากฟางข้าวและซังข้าวโพดนั้นมีลักษณะการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเป็นเส้นโค้งปกติ มีจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่อนุภาคประมาณ 215 ไมโครเมตรในทุกการทดลอง แสดงว่าอนุภาคมีลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางและรูปร่างที่สม่ำเสมอ และจะเห็นได้ว่าทั้งผลิตภัณฑ์จากฟางข้าวและซังข้าวโพดนั้นมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันและมีขนาดใหญ่กว่า Sephadex G-25



ภาพที่ 46 เปรียบเทียบการกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีแบบเก่าและแบบใหม่

(ก) การกระจายขนาดอนุภาคโดยวิธีการขึ้นรูปแบบเก่า

(ข) การกระจายขนาดอนุภาคโดยวิธีการขึ้นรูปแบบใหม่

จากภาพที่ 46 เป็นการเปรียบเทียบถึงการกระจายขนาดของอนุภาคระหว่างวิธีเก่าดังในภาพ ก.และวิธีใหม่ดังในภาพ ข. ซึ่งจะสังเกตได้ว่าวิธีใหม่นี้มีการกระจายขนาดของอนุภาคที่สม่ำเสมอกว่าวิธีการผลิตแบบเก่า โดยการผลิตที่มีการพัฒนาขึ้นนี้ใช้วิธี Water in oil โดยใช้พดกวนสาร Viscose ที่ผสมแป้งแล้วนำไปกวนในน้ำมันและให้ความร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส จึงทำให้ขนาดของอนุภาคนั้นคงตัวไม่กระจายจึงทำให้ในแต่ละการทดลองของวิธีใหม่นี้มีขนาดของอนุภาคที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 237 – 240 ไมโครเมตร

6. หาโลหะหนักใน Micro Porous Cellulose Beads (ซิลิคอน เหล็ก) โดยใช้เครื่อง Atomic

Adsorption (AA)

ตารางที่ 12 ผลการทดลองหาค่าซิลิคอนและเหล็กในผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างการทดลอง	ซิลิคอน	เหล็ก
1	5.50	0.08
2	5.49	0.07
3	5.51	0.07
4	5.50	0.07
5	5.49	0.07
6	5.51	0.07
7	5.53	0.07
8	5.50	0.07
Sephadex-25	6.32	0.08

จากการหาปริมาณของซิลิคอนและเหล็กในผลิตภัณฑ์จากการวัด และ Sephadex G-25 พบว่า ปริมาณของซิลิคอนในผลิตภัณฑ์จากการวิจัยต่ำกว่าใน Sephadex G-25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์จากการวิจัยมีความปลอดภัยเพียงพอที่จะใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหาร และยา เช่นเดียวกับ Sephadex G-25

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สามารถนำฟางข้าวและซังข้าวโพดมาใช้ในการผลิตเป็น Microporous Spherical Cellulose Beads ได้
2. จากการวิจัยได้ทำการสกัดสารแทรกต่างๆทำให้ได้เยื่อแอลฟาที่ได้บริสุทธิ์ขึ้นทำให้ไม่มีสารแทรกที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของ Microporous Spherical Cellulose Beads
3. จากการใช้วิธี Water in oil ในการขึ้นรูปรวมถึงการให้ความร้อนจะมีผลทำให้ได้การกระจายขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ
4. จากการวิจัยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Microporous Spherical Cellulose Beads นั้นมีขนาดใหญ่กว่า Sephadex G-25 โดย ขนาดของ Microporous Spherical Cellulose Beads อยู่ในช่วง 237 – 240 ไมโครเมตร และ Sephadex G-25 มีขนาด 212.09 ไมโครเมตร
5. เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 0% ถึง 25% ลงใน Viscose เป็นผลทำให้เพิ่มปริมาตรรูพรุน จาก 0.0366 ไปเป็น 0.098 cc/g สำหรับ Microporous Spherical Cellulose Beads จากฟางข้าวและสำหรับ Microporous Spherical Cellulose Beads จากซังข้าวโพดจะเพิ่มจาก 0.0378 ไปเป็น 0.095 cc/g และ Sephadex G-25 มีปริมาตรรูพรุน 0.0055 cc/g
6. เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 0% ถึง 25% ลงใน Viscose เป็นผลทำให้พื้นที่ผิวของอนุภาคลดลงจาก 29.5 ไปเป็น 8.63 m²/g สำหรับ Microporous Spherical Cellulose Beads ฟางข้าวและลดจาก 28.87 ไปเป็น 10.17 m²/g สำหรับ Microporous Spherical Cellulose Beads ซังข้าวโพด และ Sephadex G-25 มีพื้นที่ผิวของอนุภาค 4.17 m²/g
7. เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 0% ถึง 25% ลงใน Viscose เป็นผลทำให้ความหนาแน่นที่แท้จริงของอนุภาคลดลงจาก 0.9468 เป็น 0.8688 g/cc สำหรับ Microporous Spherical Cellulose Beads ฟางข้าวและลดจาก 0.940 เป็น 0.870 g/cc สำหรับ Microporous Spherical Cellulose Beads ซังข้าวโพด
8. จากการหาปริมาณของซิลิกอนและเหล็กใน Microporous Spherical Cellulose Beads และ Sephadex G-25 พบว่า ปริมาณของซิลิกอนในผลิตภัณฑ์จากการวิจัยต่ำกว่าใน Sephadex G-25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์จากการวิจัยมีความปลอดภัยเพียงพอที่จะใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารและยา เช่นเดียวกับ Sephadex G-25

ข้อเสนอแนะ

1. ขยายขนาดของชุดเครื่องมือและอุปกรณ์การทำวิจัยเพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นเพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรม
2. พัฒนาระบบชุดเครื่องมือในด้านความเร็วรอบของใบกวนเพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้ขนาดของอนุภาคเล็กขึ้น
3. ศึกษาถึงความแตกต่างของน้ำมันที่ใช้ที่มีผลต่อแรงตึงผิวที่มีผลต่อการขึ้นรูปเป็นทรงกลม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Candau, F. 1990. Polymerization in Inverse Emulsion and Micro-emulsions. **An Introduction to Polymer Colloid**. Kluwer Academic Publisher, London.
- Croucher, M.D. and M.A. Winnik. 1990. Preparation of Polymer Particles by Dispersion Polymerization. **An Introduction to Polymer Colloid**. Kluwer Academic Publisher, London.
- Daniel, J.R. 1986. Encyclopedia of Polymer Science & Engineering. **Purdue University**. 1(3): 90-117.
- Davidson, R., H. Nyqvist and G. Ragnarsson. 1995. Porous Cellulose Matrices-A Novel Excipient in Pharmaceutical Formulation. **Cellulose and Cellulose Derivatives: Physico-chemical Aspects and Industrial Applications**. 445-452.
- Kahle, C.F. 2001. Micro-Porous Organic Thin Film by the solvent precipitation Method. **Ind. Eng. Chem.** 40: 33-36.
- Laszkiewicz, B., P. Wcislo and B. Domasik. 1990. Preparation of Viscose Fibres from Concentrated Solution of Sodium Cellulose Xanthate. **Cellulose Source and Exploitation**. Ellis Horwood Limited, West Sussex.
- Lönnberg, B., S. Rosenberg and K. Lönnqvist. 1995. Rheology of Cellulose Viscose. **Cellulose and Cellulose Derivatives: Physico-chemical Aspects and Industrial Applications**. 475-482.
- Nissan, A.H. and G.K Hunger. 1986. West Verginia Pulp & Paper Company. **Encyclopedia of Polymer Science & Technology**. 1(3): 131-226.

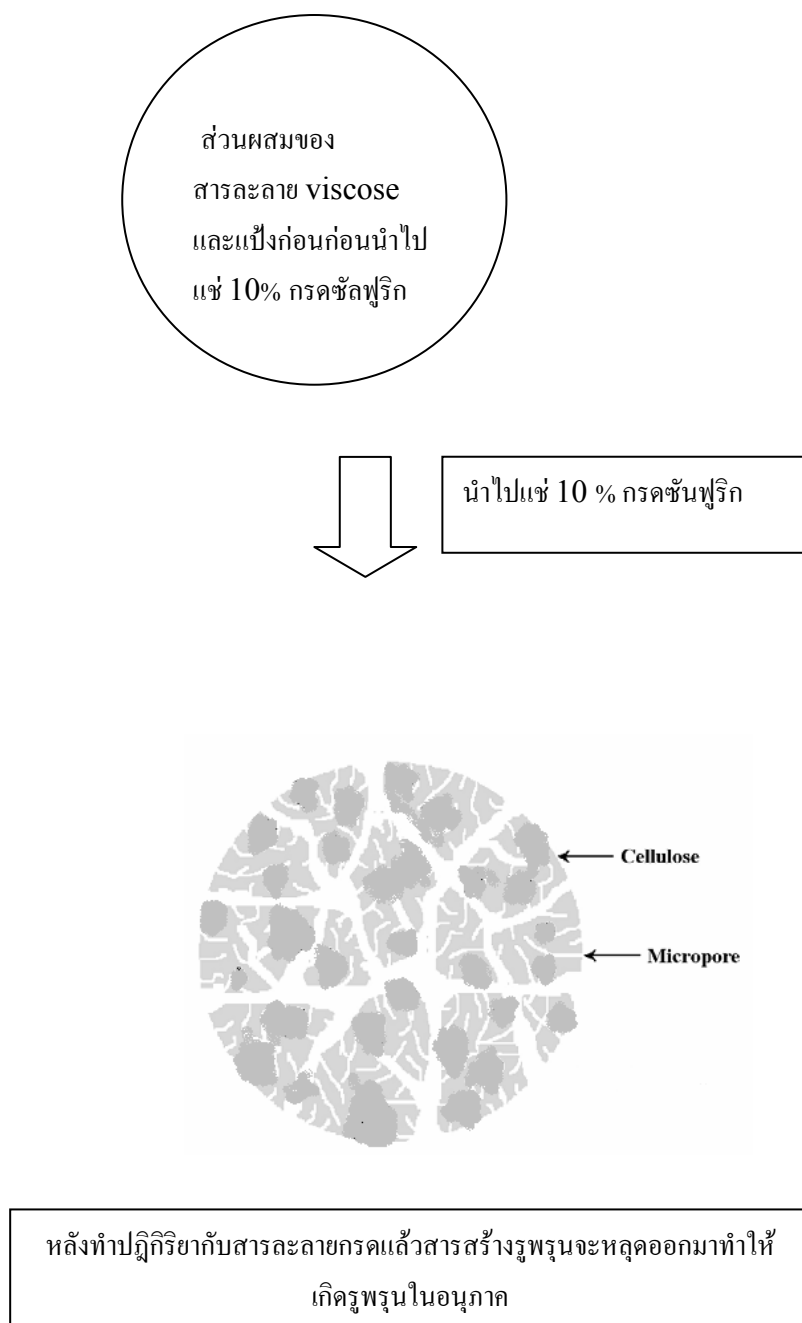
Preston, R.D. 1986. Natural Cellulose. **Cellulose Structure Modification and Hydrolysis**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

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**. 24 (3): 143-148.

Seyama, M., I. Sugimoto and T. Miyaki. 2001. Detection and Discrimination of Odors Generated from Essential Oils with an Array of Quartz Crystal Resonators Coated with Plasma-Deposited Polymers. **Analytical Science** 2001. 17: i257-i260.

ภาคผนวก

แบบจำลองการเกิดรูพรุนของอนุภาคที่เป็นผลิตภัณฑ์



ภาพผนวกที่ ก1 แบบจำลองการเกิดรูพรุนในอนุภาคของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไม้และเยื่อ

การหาปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เอทานอล-เบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T204 om-88 และมาตรฐาน TAPPI T204 cm-97

วิธีนี้สำหรับหาปริมาณสารแทรกที่ไม่ระเหยในไม้และเยื่อ และเปรี๊สสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยทั่วไปนิยมใช้ส่วนผสมของตัวทำละลายอินทรีย์ระหว่างเอทานอลกับเบนซีน เพื่อสกัดสารแทรกจำพวก ขี้ผึ้ง(waxes) ไขมัน (fats) ชัน(resin) คาร์โบไฮเดรตที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เกลือ และสารที่ละลายน้ำได้

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ถ้วยกรอง (Extraction Thimble)
2. เครื่องมือสกัดสารแทรก (Soxhlet Extraction Apparatus)
3. ขวดชั่ง
4. ตู้ดูดควัน
5. สารผสมเอทานอล-เบนซีน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเอทานอลร้อยละ 95กับเบนซีนเท่ากับ 1:2
6. ผงตัวอย่างที่ใช้ทดลอง จำนวน 20 กรัม

วิธีการ

1. ชั่งผงตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักอบแห้งหนัก 10 กรัม สำหรับเยื่อพร้อมกรอบตะแกรงละเอียด
2. รวบรวมพร้อมใส่ลงไปในถ้วยกรอง บรรจุใส่ในเครื่องมือสกัดสารแทรก
3. ติดตั้งเครื่องสกัดสารแทรก สกัดด้วยสารผสมเอทานอล-เบนซีนจำนวน 150 มิลลิลิตร โดยการควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย ซึ่งใช้เวลาในการสกัดสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล-เบนซีน เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ระเหยไล่ตัวทำละลายออกจากถ้วยแก้วสกัดสารแทรก
4. นำถ้วยแก้วสกัดสารแทรกไปอบที่อุณหภูมิ 105 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
5. ทำ Blank โดยการนำตัวทำละลายเอทานอล-เบนซีน 150 มิลลิลิตร ไประเหยไล่ตัวทำละลายออกจากถ้วยแก้วสกัดสารแทรก และทำในทำนองเช่นเดียวกันกับข้อ 3
6. คำนวณหาปริมาณน้ำหนักสารที่สกัดได้จาก

$$\% \text{ ปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน} = 100(W_e - W_b) / W_p$$

เมื่อ

W_e = น้ำหนักปริมาณสารที่สกัดได้อบแห้ง (กรัม)

W_b = น้ำหนัก Blank อบแห้ง (กรัม)

W_p = น้ำหนักผงตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)

การหาปริมาณลิกนินวิเคราะห์ตาม TAPPI T222 om-88 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักแห้งที่ปราศจากสารแทรกของไม้หนัก 1 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็งแล้วค่อยๆเติม 72% H_2SO_4 ที่แช่เย็นไว้ในตู้เย็นลงไป 15 มิลลิลิตร พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที เพื่อให้ผสมกันดีขึ้น
3. ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วนำออกจากอ่างน้ำแข็งมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงไปในขวดก้นกลม พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนถึงระดับ 575 มิลลิลิตร ที่ขีดไว้ข้างขวดก้นกลม
5. ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ 1 คืน
6. กรองผ่าน Sinter glass clusible เบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนแล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทำให้เย็นลงใน Desicater หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักรวมของ glass clusible และลิกนิน
7. คำนวณหา % ลิกนินจาก

$$\% \text{ ลิกนิน} = A \ 100 / W$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของลิกนินเป็นกรัม

W = น้ำหนักแห้งเป็นกรัมของไม้ตัวอย่าง

การหาปริมาณเถ้าวิเคราะห์ตาม TAPPI T222 om-88 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตา Crucible เป่า พร้อมฝาเปิดในเตาที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส นาน 15 นาทีแล้วนำ Crucible ออกจากเตา ทำให้เย็นใน Dessicator แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างไม้ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงไปใน Crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว แล้วนำเข้าเตาเผา พร้อมปิดฝา โดยเผาที่อุณหภูมิของเตาเผาต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสแล้วค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึง 575 องศาเซลเซียส
3. เเผาที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงหรือมากกว่า แล้วทำให้เย็นลงใน Dessicator แล้วชั่งน้ำหนักรวมของ Crucible กับเถ้า
4. คำนวณหา % เถ้าจาก

$$\% \text{ เถ้า} = (A - 100) / B$$

เมื่อ

A = น้ำหนักเป็นกรัมของเถ้า

B = น้ำหนักเป็นกรัมที่แห้งของสารตัวอย่าง

การหาปริมาณไฮโดรคลอไรต์โดยวิธี Acid Chlorite ด้วยวิธีของ Browing ใน Metho Of Chemistry มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรกประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรต์ 1.5 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดก้นกลมและทำการทดลองในตู้ควั่น
3. นำขวดก้นกลมไปตั้งใน Water Bath ที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ
4. หลังจากครบ 1 ชั่วโมงเติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตรตามด้วยโซเดียมคลอไรต์ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด
5. หลังจากครบ 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง ให้ปฏิบัติตามข้อ 4 เมื่อครบชั่วโมง
6. นำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมากรองผ่าน Sinter glass clusible เบอร์ 3 ล้างด้วยน้ำเย็น

และอะซิโตนหลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งในเตาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หลังจากอบแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป

7. คำนวณหา % โฮโลเซลลูโลสจาก

$$\% \text{ โฮโลเซลลูโลส} = (\text{น้ำหนักแห้งของโฮโลเซลลูโลสหลังการอบ} \times 100) / \text{น้ำหนักแห้งของไม้}$$

การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส วิเคราะห์ตาม TAPPI T203 om-88 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างจากการวิเคราะห์ % โฮโลเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ปริมาตร 75 มิลลิลิตรลงไป ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส
2. คนสารละลายด้วยแท่งแก้วเป็นเวลานาน 30 นาที
3. เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้อีก 30 นาที
4. กรองสารละลายโดยใช้ Sinter glass crucible เบอร์ 3
5. ล้างเยื่อที่เหลือด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลางและ 10 % กรดอะซิติก ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ในเตาอบ
6. คำนวณหา % แอลฟาเซลลูโลสจาก

$$\% \text{ แอลฟาเซลลูโลส} = (\text{น้ำหนักแอลฟาเซลลูโลส} \times 100) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

หลักการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธีการของ BET

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยค่าพื้นที่ผิวทั้งหมด (Total Surface Area) และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) จะถูกคำนวณให้โดยอัตโนมัติ เมื่อทราบค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งใช้หลักการวัดพื้นที่ผิวที่นิยมใช้มากกันมากคือ วิธีการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET method) ซึ่งได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและน้ำหนักสารที่ถูกดูดซับไว้ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W((P/P_0) - 1)} = \frac{1}{W_M C} + \frac{C-1}{W_M C} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

เมื่อ

W = น้ำหนักของก๊าซที่ถูกดูดซับ ณ ความสัมพันธ์ P/P_0

W_m = น้ำหนักของก๊าซที่ถูกดูดซับจนปกคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมดเพียงชั้นเดียว (monolayer)

C = ค่าคงที่ของ BET ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับแบบชั้นเดียวบวก

ถึงแรงกระทำระหว่างตัวดูดซับ (Adsorbent) และตัวดูดซับ (Adsorbate) ก๊าซที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวคือ ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะจำกัดค่าความดันในช่วง 0.05-0.35 ส่วนค่าคงที่ C สำหรับไนโตรเจนจะมีค่าเท่ากับ 50 – 250 เมื่อทำการพล็อตกราฟระหว่าง $1/W((P/P_0)-1)$ กับ P/P_0 ตามสมการของ BET จะพบว่าความชันของกราฟและจุดตัดแกน Y หาได้จากการสมการต่อไปนี้

ความชัน $S = (C-1) / W_M C$

จุดตัดแกน Y $i = 1 / W_M C$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่า W_M ได้จากความชันและจุดตัดแกน Y ของกราฟดังนี้

$$W_M = 1 / (S + i)$$

และจะสามารถคำนวณพื้นที่ผิวทั้งหมดได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{พื้นที่ผิวทั้งหมดตัวอย่าง} = W_M N A_{CS} / M$$

เมื่อ

N = เลขอะโวกาโด เท่ากับ 6.23×10^{23} โมเลกุลต่อโมล

M = น้ำหนักโมลของตัวถูกดูดซับ

A_{CS} = พื้นที่หน้าตัดของตัวถูกดูดซับ สำหรับออกซิเจนที่ 77 K มีค่าเท่ากับ $16.2 \text{ \AA}^2$
ซึ่งพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{พื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ } S = S_t / W$$

เมื่อ

S = พื้นที่ผิวจำเพาะ

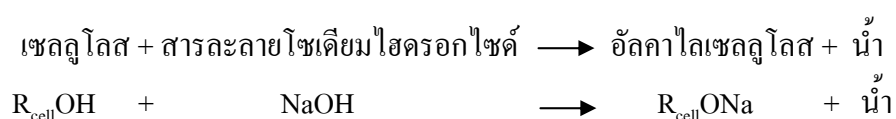
W = น้ำหนักของตัวดูดซับ (น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวัดพื้นที่ผิว)

A_{CS} = พื้นที่ผิวหน้าตัดของตัวถูกดูดซับ สำหรับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 K มีค่าเท่ากับ $16.2 \text{ \AA}^2$

ขั้นตอนการทำของผสมหนืด (Viscose)

โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

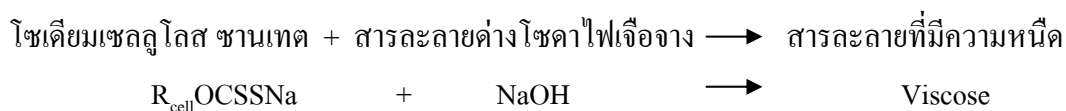
1. นำเยื่อจากฟางข้าว ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรในปริมาณที่มากเกินไป (Excess) จากนั้นนำไปบีบเอาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนเกินออก แล้วบ่มจะได้ อัลคาไลเซลลูโลส (Alkali Cellulose) ดังสมการ



2. เมื่อได้อัลคาไลเซลลูโลส แล้วนำมาคนอย่างช้าๆ แล้วเติมสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตราส่วนน้ำหนักของเซลลูโลสหลังการบ่มต่อน้ำหนักของคาร์บอนไดซัลไฟด์ คือ 6:1 โดยกวนผสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็น โซเดียมเซลลูโลส ซานเทต (Sodium Cellulose Xanthate) ดังสมการ



3. จากนั้นนำเซลลูโลส ซานเทตผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง (Viscose)



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาว พชรลักษณ์ พรหมถาวร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 กุมภาพันธ์ 2526
สถานที่เกิด	นครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ.(วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนการศึกษาประเภท 2 จากโครงการพัฒนานักศึกษาและวิจัยด้านวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ADB)