



# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

เรื่อง การศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากวัสดุทิ้งเพื่อให้ได้คุณภาพดี  
( STUDY ON EXTRACTION OF CELLULOSE FROM WASTE FOR GOOD QUALITY )

โดย นายวิชัย กติยบวรธรรม  
นายวิโรจน์ ฤกษ์คานต์

ได้รับพิจารณาเห็นชอบจาก...

..... 20.03.32 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
( นางสาวรุจิรา ตาปราบ )

..... 20.03.32 กรรมการของภาควิชา  
( นางอนงค์ วรอุไร )

..... 21.3.32 กรรมการของภาควิชา  
( นางระศิพร หาเรือนกิจ )

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....  
(นางสาวเขาวัดกษณ สุรพันธ์พิษฐ์)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 2/ เดือน 2/19... พ.ศ. 32

๗๗.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้



13678

ปัญหาพิเศษ (45499)

เรื่อง

การศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากวัสดุทิ้งเพื่อให้ได้คุณภาพดี

( STUDY ON EXTRACTION OF CELLULOSE FROM WASTE FOR GOOD QUALITY )



T096788



โดย

นายวิชัย ตติยบรรณธรรม  
นายวิโรจน์ ฤดีคานต์

เสนอ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.พ. พ.ศ. 2531

๑๖๗๘๘

๒๕๓๑

สาขา.....

ลงทะเบียน.....

วันเดือนปี.....

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในการจัดทำปัญหาพิเศษเรื่องนี้ ได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์รุจิรา ตาปราบ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการแก้ปัญหาโดยตลอด ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านอาจารย์กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ , เจ้าหน้าที่บริษัท ไทยวา จำกัด และเจ้าหน้าที่ของงานเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

และขอขอบคุณในน้ำใจของเพื่อนทุกคน มา ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	(1)
สารบัญภาพ	(2)
สารบัญภาพภาคผนวก	(3)
บทคัดย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
ผลการทดลอง	25
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	37
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เงื่อนไขในขั้น Acid prehydrolysis ของ Woody stem	10
2	เงื่อนไขในขั้น Kraft cooking ของ Woody stem	11
3	เงื่อนไขในขั้น Bleaching ของ Woody stem	12
4	การจำแนกชนิดของ Gums	16
5	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระดาษชานอ้อยเริ่มต้น	25
6	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อกระดาษที่ผ่านขั้น Acid prehydrolysis ที่ช่วงเวลาต่างๆของการต้ม	25
7	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อกระดาษที่ผ่านขั้น Bleaching	26
8	ความขาวของเยื่อเซลลูโลสที่สกัดได้	26
9	ปริมาณ Yield (%) ของเยื่อเซลลูโลสหลังจากผ่านแต่ละขั้นตอน	27
10	ปริมาณเซลลูโลสของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ	27
11	ปริมาณลิกนินของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ	28
12	ปริมาณเพนโตแซนของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ	29
13	ค่า Kappa number ของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ	29

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ซึ่งใช้เวลาในการต้ม ชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 ชั่วโมง	30
2	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ซึ่งใช้เวลาในการต้ม ชั้น Acid prehydrolysis นาน 3 ชั่วโมง	31
3	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ซึ่งใช้เวลาในการต้ม ชั้น Acid prehydrolysis นาน 4 ชั่วโมง	32
4	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการต้มในชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง	33
5	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการต้มในชั้น Kraft cooking โดยมีเวลา ในการต้มชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง	34
6	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการ Bleaching โดยมีเวลาในการต้ม ชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง	35
7	ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการ Bleaching โดยมีเวลาในการต้ม ชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง เมื่อ เปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษชานอ้อยเริ่มต้น	36

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพที่		หน้า
1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส	51
2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน	52
3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า Kappa number	53
4	เครื่อง Soxhlet extractor	54



## บทคัดย่อ

## เรื่อง

การศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากวัสดุทิ้งเพื่อให้ได้คุณภาพดี

( STUDY ON EXTRACTION OF CELLULOSE FROM WASTE FOR GOOD QUALITY )

การศึกษาการสกัดเซลลูโลสให้มีคุณภาพดี จำเป็นต้องใช้สภาวะที่เหมาะสมในการทำลายองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการ และสกัดให้ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงสุด จึงทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยใช้เศษเยื่อกระดาษชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ นำมาผ่านขั้นตอนการสกัดคือ Acid prehydrolysis ที่ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.5 % เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 95-100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมินี้ นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปทำการสกัดต่อในขั้น Kraft cooking โดยใช้สารละลายที่มี Sulfidity 20 % และ Active alkali 18 % เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 105-110 องศาเซลเซียส นาน 1 3/4 ชั่วโมง และปล่อยให้ต้มที่อุณหภูมินี้ นาน 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำเยื่อที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการ Bleaching ซึ่งมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้ Chlorination , Caustic extraction , Calcium hypochlorite , caustic extraction และ Calcium hypochlorite

จากผลการศึกษาพบว่า เวลาที่ใช้ในการสกัดขั้น Acid prehydrolysis นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ได้เยื่อในขั้นสุดท้ายหลังการ Bleaching แล้วมีเซลลูโลส 87.56 % , ลิกนิน 5.71 % , เพนโตแซน 6.04 % , เถ้า 0.66 % , ความขาว 74.7 % และ Kappa number เท่ากับ 0.87 มีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งในแง่ความบริสุทธิ์ของเซลลูโลส , การทำลายองค์ประกอบอื่นที่ไม่ต้องการ , Overall yield , ความสามารถในการฟอก , ความขาวที่ได้ และค่าใช้จ่ายต่างๆ

การศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากวัสดุทิ้งเพื่อให้ได้คุณภาพดี  
( STUDY ON EXTRACTION OF CELLULOSE FROM WASTE FOR GOOD QUALITY )

คำนำ

อนุพันธ์ต่างๆที่เกิดจากการนำเซลลูโลสคุณภาพสูงไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม มีมากมาย เช่น CMC ( Sodium-carboxyl methyl cellulose ) ซึ่งใช้เป็นส่วนผสม สำคัญในผงซักฟอก , ยาสีฟัน และครีมต่างๆ หรือแม้แต่ในอุตสาหกรรมอาหาร CMC ก็ ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย คือใช้เป็นทั้งตัว Emulsifier , Stabilizer , Thickener , Suspending agent และอื่นๆในผลิตภัณฑ์อาหารมากมายหลายประเภท สำหรับอนุพันธ์ตัวอื่นๆ เช่น Cellulose acetate ก็เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมทำใยสังเคราะห์และกันกรองบุหรี่ เป็นต้น

การที่จะนำไปสู่เซลลูโลสคุณภาพสูงได้นั้น ก็จะต้องนำวัตถุดิบที่มีปริมาณ ของเซลลูโลสที่ค่อนข้างสูงมาสกัดด้วยวิธีที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ตามต้องการ ส่วนวัตถุดิบ นั้นถ้าจะมองในแง่เศรษฐศาสตร์น่าจะคำนึงถึงราคาต้นทุนในการผลิตด้วย ดังนั้นวัตถุดิบจึง ควรจะเป็นของที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ หรือเป็นของเหลือทิ้งนำมาทำให้มีคุณภาพขึ้น สำหรับประเทศไทยของเรา วัสดุทิ้งทางการเกษตรมีค่อนข้างมาก เช่น แขนพอแก้ว , แขนพอกระเจา , ต้นข้าวโพด , ต้นข้าวฟ่าง , เศษพอฝอยและปอยุ่ง , เส้นใยติดเมล็ด นุ่นและฝ้าย และเศษของเยื่อกระดาษจากชานอ้อย เป็นต้น

จากที่ผู้วิจัยได้ทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบได้ผลดังนี้

ต้นข้าวโพดประกอบด้วย เซลลูโลส 22.17 % , ลิกนิน 25.74 % , เพนโตแซน 33.32 % และเถ้า 4.04 % แขนพอกระเจาประกอบด้วย เซลลูโลส 40.19 % , ลิกนิน 25.89 % , เพนโตแซน 32.39 % และเถ้า 0.79 % ต้นข้าวฟ่างประกอบด้วย เซลลูโลส 17.88 % , ลิกนิน 21.83 % , เพนโตแซน 33.74 % และเถ้า 10.02 %

จากองค์ประกอบของวัตถุดิบข้างต้นนั้น พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบต่างๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น ลิกนิน , เพนโตแซน ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ทำให้ขั้นตอนในการสกัด เซลลูโลสจำเป็นต้องใช้เงื่อนไขต่างๆในการทดลองที่รุนแรง และยุ่งยาก ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึง ได้หันมาสนใจวัตถุดิบที่มีปริมาณเซลลูโลสค่อนข้างสูง และง่ายต่อการสกัด นั่นคือใช้วัตถุดิบ จากเศษเยื่อกระดาษชานอ้อย ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ เซลลูโลส 53.25 % , ลิกนิน 28.11 % ,

เพนโตแซน 18.50 % และเถ้า 0.80 % ซึ่งในขั้นตอนการสกัด นอกจากจะไม่ยุ่งยากและ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างสะดวก อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ก็จะสิ้นเปลืองน้อยกว่าวัตถุบัตว์อื่นที่กล่าวมา

ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงการสกัดเซลลูโลสจาก  
เศษเยื่อกระดาษชานอ้อยเพื่อให้ได้คุณภาพดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสกัดเซลลูโลสคุณภาพสูงจากวัสดุเหลือทิ้ง
2. เพื่อศึกษาถึงกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเซลลูโลสจากเศษเยื่อกระดาษ

ชานอ้อย

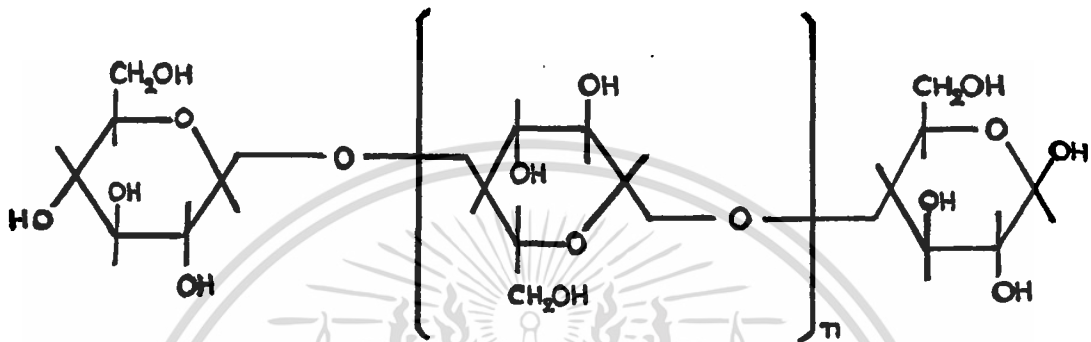
3. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเซลลูโลส
4. เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีต่างๆที่เหมาะสมของวัตถุดิบ
5. เพื่อศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆทางเคมี
6. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเซลลูโลสคุณภาพสูงไปใช้ประโยชน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตรวจเอกสาร

เซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีอยู่ทั่วไปในพืชต่างๆ สูตรโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วย Glucose หลายหน่วยต่อกันเข้าเป็น Polymer โดยมี 1,4  $\beta$ -Glycosidic bonds ดังสูตรข้างล่าง



แต่ละหน่วยย่อยของเซลลูโลส เรียกว่า Anhydroglucose ( $C_6H_{10}O_5$ ) เพราะเกิดจากการเอาน้ำออกจาก Glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) ในแต่ละ Anhydroglucose มีอนุกรม OH 3 หมู่ อนุกรม OH เหล่านี้เป็นตัวที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นให้เกิดเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามเซลลูโลสที่จะใช้ทำอนุพันธ์ได้นั้นจำเป็นจะต้องมีคุณภาพสูง และมีสิ่งเจือปนอยู่น้อย ต่างกับเซลลูโลสที่ใช้ทำเยื่อกระดาษซึ่งมีสิ่งเจือปนอยู่มากกว่า

เซลลูโลสคุณภาพสูงเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตอนุพันธ์ต่างๆ เช่น Carboxy methyl cellulose (CMC) ซึ่งเป็นส่วนผสมสำคัญใน ผงซักฟอก ยาสีฟัน ครีมต่างๆ และใช้ประโยชน์อย่างมากในวงการอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้เซลลูโลสคุณภาพสูงยังใช้ทำ Cellulose acetate, Cellulose nitrate และอนุพันธ์อื่นๆได้

จิตต์ และ ดวงใจ (2521) การผลิตเยื่อเซลลูโลสเพื่อทำเป็นอนุพันธ์จะต้องคำนึงถึงความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสเป็นหลัก ต่างกับการผลิตเยื่อเพื่อทำกระดาษซึ่งมักคำนึงถึงคุณสมบัติทางนิลสิกส์ของเยื่อ เช่น ความเหนียว และความขาว เป็นต้น ด้วยเหตุนี้กรรมวิธีต่างๆอันมากมายที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ จึงไม่อาจใช้สำหรับผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูงได้หมด กรรมวิธีผลิตเยื่อเซลลูโลสเพื่อทำเป็นอนุพันธ์มีเพียงสองกรรมวิธีเท่านั้นที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับกันมาก คือ กรรมวิธี Acid sulfite process และกรรมวิธี Acid pre-hydrolysis ก่อน แล้วจึงตามด้วยกรรมวิธี Kraft (Sulfate) หรือกรรมวิธี Soda

กรรมวิธี Acid sulfite ใช้ได้ดีสำหรับไม้ยืนต้น เช่น Spurge และ Eucalyptus

เป็นต้น อย่างไรก็ตามแต่ยังไม่เคยมีรายงานการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูงโดย Acid sulfite process

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพืชไร่หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเลย ในทางตรงกันข้าม รายงานการผลิตเซลลูโลส โดยที่ผ่าน Acid prehydrolysis process ก่อนมีอยู่มากมาย ไม่ว่าจะทำจากวัตถุดิบ ประเภทพืชไร่ หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรือไม่ยืนต้นก็ตาม เซลลูโลสที่ผลิตโดย ผ่าน Acid prehydrolysis process เป็นเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีความไวต่อ ปฏิกิริยาดี เหมาะแก่การใช้ทำอนุพันธ์ต่อไปได้ดีมาก การผลิตเซลลูโลสโดยกรรมวิธีที่ผ่าน Acid prehydrolysis ทำเป็นสองขั้น ขั้นแรกต้มด้วยน้ำ หรืออาจเติม HCl หรือ  $H_2SO_4$  ลงไปด้วยเล็กน้อยก็ได้ ในขั้นนี้เอมิเซลลูโลสจะถูกกำจัดออกไปได้มาก โดยถูก Hydrolyse ให้เป็นโมเลกุลเล็ก และละลายไปกับน้ำ หลังจากขั้น Acid prehydrolysis แล้ว จึง ต้มด้วยสารละลายตามกรรมวิธี Kraft หรือ Soda process ซึ่งใช้สารละลายที่ประกอบ ด้วย  $Na_2S$  และ NaOH เยื่อที่ผ่านการผลิตยังมีสิ่งเจือปนเหลืออยู่ และมักมีสีเข้ม เซลลูโลสที่จะใช้ทำอนุพันธ์ได้ จำเป็นจะต้องผ่านการฟอกสีเพื่อให้บริสุทธิ์ขึ้น และมีความขาว สูง การฟอกเยื่อเซลลูโลสในอุตสาหกรรมมักทำเป็นหลายขั้นตอน และใช้สารเคมีต่าง ๆ กัน เช่น ฟอกโดย Chlorine , NaOH , Sodium หรือ Calcium hypochlorite , Chlorine dioxide และ Sodium หรือ Hydrogen peroxide เป็นต้น

### ตัวแปรที่มีอิทธิพลในการผลิตเยื่อ เซลลูโลสคุณภาพสูง

#### 1. ขนาดของชิ้น ไม้ที่เป็นวัตถุดิบ

Kleinert และ Marraccini (1965) ได้สรุปไว้ดังนี้

-การถ่ายเท (Penetration) ที่รวดเร็วขึ้นกับ ขนาดของชิ้น ไม้ , ความแตกต่างทางรูปร่างและลักษณะของไม้ , ความหนาแน่นและความชื้นของไม้ สำหรับ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการการถ่ายเท คือ องค์การของการถ่ายเทอากาศ , Hydrostatic pressure , อัตราส่วนระหว่างสารละลาย (Liquor) ต่อปริมาณชิ้น ไม้ และอุณหภูมิของ สารละลายเอง

-การแพร่ผ่านอิทธิพลมาจาก อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลาย

-การดูดซับต่างของเยื่อไม้ พบว่า พวกแรกที่เกิดการดูดซับคือลิกนิน

แสดงว่าการลดขนาดของชิ้น ไม้จะมีผลในการช่วยลดเวลาในการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Penetration) เนื่องจากปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วกว่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nolan (1957) ได้ทดลองใช้ชิ้นไม้ที่หักโดยใช้มือเป็นวัตุดิบ พบว่าที่อุณหภูมิสูงสุด เมื่อใช้เวลา 25-30 นาที เยื่อที่ได้จะมีคุณภาพดีพอๆกับเยื่อที่ได้จากการใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง แสดงว่าการทำให้วัตุดิบเล็กลงจะช่วยลดเวลาในการต้มสกัก และขณะเดียวกันปริมาณ Yield จะลดลงด้วย

Reid (1962) พบว่าชิ้นไม้ที่มีขนาดเล็ก และมีความสม่ำเสมอ เป็นข้อดีของการต้มสกัก

Valeur (1952) พบว่าความชื้นของชิ้นไม้ มีผลเพียงเล็กน้อยต่อคุณภาพของเยื่อที่ได้ คือ เยื่อที่ได้จากชิ้นไม้ที่แห้ง จะให้ความแข็งแรงทนทานที่ต่ำกว่า

## 2. อุณหภูมิและเวลา

มีผู้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาหลายคนด้วยกัน ดังนี้

Vroom (1957) ได้แสดงถึงผลของอุณหภูมิและเวลา โดยใช้สมการของอาร์รีเนียส

$$\ln k = B - A/T$$

เมื่อ

k คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยา

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

B และ A คือ ค่าคงที่

Hobden (1956) ได้ทดลองเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิ และความเข้มข้นในกระบวนการต้มของ Kraft process พบว่าอุณหภูมิมีผลสำคัญต่อการย่อยสลายของลิกนิน และเพนโทแซน รวมทั้งการสูญเสียเซลลูโลส และที่อุณหภูมิคงที่ การย่อยสลายลิกนินในตอนแรกจะขึ้นกับความเข้มข้นของด่าง และอัตราส่วนของสารละลายต่อชิ้นไม้

Tischenko และ Rozenberger (1957) ได้ทดลองเพิ่มอุณหภูมิจาก 175 เป็น 275 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดเวลาในการต้มสกักจาก 3-5 ชั่วโมง เหลือเพียง 4 นาที แต่ปริมาณ Yield ก็ลดลงจาก 47 % เป็น 33 % รวมทั้งความแข็งแรงของกระดาษก็ลดลงด้วย ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการคำนวณการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงทนทานและความหนืดก็จะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Daleski (1965) ได้ทดลองต้มขึ้นไม้สนอย่างรวดเร็ว โดยใช้เปอร์เซ็นต์ Active alkali ที่คงที่ และใช้เปอร์เซ็นต์ Sulfidity ที่ 25 % ในขั้นตอน Kraft โดยทดลองเป็นชุดๆ ละ 4 ตัวอย่าง พบว่าได้ช่วงปริมาณ Yield อยู่ระหว่าง 45-65 % เมื่อใช้อุณหภูมิในช่วง 165-190 องศาเซลเซียส และในทุกกรณีอุณหภูมิที่สูงกว่า จะให้อัตราการต้มสกัดที่รวดเร็วกว่า

### 3. ความเข้มข้นของสารละลาย (Liquor)

Jayme และ คณะ (1939) ได้ทดลองใช้ Beech เป็นวัตถุดิบ โดยเปรียบเทียบกระบวนการต้มแบบ Kraft โดยการเปลี่ยนปริมาณ Total alkali ขณะที่องค์ประกอบของสารละลายคงที่ ส่วนในชุดทดลองอื่นๆ ให้ความเข้มข้นของ Total alkali คงที่ ขณะที่สัดส่วนขององค์ประกอบของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงไป พบว่าองค์ประกอบของสารละลายทั้ง NaOH,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , และ  $\text{Na}_2\text{S}$  มีผลต่อปริมาณ Yield และคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ, เคมี และเชิงกลของเยื่อที่ได้

จากการศึกษาถึงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนขององค์ประกอบในสารละลาย พบว่าปริมาณลิกนินจะเหลือน้อยที่สุด เมื่อใช้ NaOH บริสุทธิ์ เมื่อเพิ่ม  $\text{Na}_2\text{S}$  ขึ้น ลิกนินในเยื่อที่ได้จะเพิ่มจาก 1 % เมื่อใช้ NaOH บริสุทธิ์ เป็น 1.89 % เมื่อใช้ NaOH 70 % และ  $\text{Na}_2\text{S}$  30 % และเมื่อใช้  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  แทน NaOH พบว่าลิกนินที่เหลือจะมีปริมาณมากขึ้น จนถึง 3.53 % เมื่อใช้  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  35 % สำหรับปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์จะพบสูงสุดในสองอัตราส่วน คือที่ NaOH :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  :  $\text{Na}_2\text{S}$  เป็น 70 : 10 : 20 และ 70 : 25 : 5 ส่วนค่า Furfural (เพนโตแซน) พบว่าจะเหลือต่ำสุดเมื่อใช้ NaOH บริสุทธิ์ เมื่อแทนที่ NaOH ด้วย  $\text{Na}_2\text{S}$  บางส่วน จะทำให้ค่าของ Furfural เพิ่มขึ้น และจะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทน NaOH ด้วย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

### 4. อัตราส่วนของสารละลาย (Liquor) ต่อขึ้นไม้ (Wood)

อิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลายต่อขึ้นไม้ ส่วนใหญ่เป็นผลของความชื้นในขึ้นไม้ Buxton (1963) พบว่าในช่วงความชื้นปกติ (38-50 %) น้ำหนักที่แท้จริงของขึ้นไม้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ กับน้ำหนักที่คิดโดยการสมมติว่าเป็นขึ้นไม้ที่ปราศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ

อิทธิพลของสารละลาย (Liquor) ต่อองค์ประกอบของชิ้นไม้ (Wood)

Haegglund (1949) พบว่าเยื่อที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นปกติในสภาวะที่ไม่มี Sulfur อยู่เลย จะพบลิกนินเหลือ 5 % เมื่อใช้เวลานาน 10 ชั่วโมง และจะเหลือ 3 % เมื่อใช้เวลา 8 ชั่วโมง ที่ค่า Sulfidity 5.25 % และที่ค่า Sulfidity 15.6 % จะใช้เวลา 6 ชั่วโมง โดยเชื่อว่าในขั้นแรกลิกนินจะดูดซับ Sulfur โดยการแทนที่หมู่ Hydroxyl ด้วยหมู่ Mercaptan ซึ่งจะเกิดความไม่เสถียรขึ้น จึงมีการเปลี่ยนเป็น Sulfide โดยทำปฏิกิริยากับหมู่ Hydroxyl อีกหมู่หนึ่งในโมเลกุลเดียวกันหรืออีกโมเลกุลหนึ่ง ขึ้นต่อมาจะเกิดการ Hydrolytic splitting โดยต่าง เกิดหมู่ Phenolic อิสระ ซึ่งทำให้ลิกนินละลายได้ในต่าง

Hanson (1941) กล่าวว่า Sulfide จะเร่งปฏิกิริยาในขั้น Kraft โดยการทำให้โมเลกุลของลิกนินเป็นกรดมากขึ้น ดังนั้นจึงละลายในต่างได้ดี

Haegglund (1949) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ  $\text{Na}_2\text{S}$  จะสกัดลิกนินออกได้มากขึ้น จนถึงระดับหนึ่งจะคงที่ ไม่ว่าจะใช้ปริมาณมากเท่าใด

Brauns และ Grimes (1939) พบว่าในขั้นแรกของการต้ม สารพวกคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญจะถูกละลายออกไปก่อน จากนั้นอัตราการละลายของลิกนินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่เพนโตแซนและเฮมิเซลลูโลสอื่นๆ ได้ถูกละลายออกไปแล้ว

จากการศึกษาของ Cann และ Roberson (1960) ได้ทำการลดเปอร์เซ็นต์ Active alkali จาก 18 % เหลือ 16 % พบว่าไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณ Yield และการยอมรับโดยทั่วไป แต่จะมีผลเล็กน้อยต่อค่า Tensile และ Bursting strength ถ้าเพิ่ม Active alkali ให้สูงกว่า 18 % พบว่าปริมาณ Yield ที่ได้จะต่ำลง และมีการไม่ยอมรับเกิดขึ้น ในขณะที่ค่า Tensile และ Bursting strength เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

Hart และ Strapp (1948) ได้ทำการทดลองได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ - เมื่อเพิ่ม Maximum temperature ถึง 160-180 องศาเซลเซียส ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ Yield จะลดลงเหลือ 48-42 % เมื่อลดอุณหภูมิจะทำให้ Bursting และ Tensile strength เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ Tear strength จะลดลง และเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำทำให้แอลฟาเซลลูโลสและเพนโตแซนไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความหนืดจะเพิ่มขึ้น

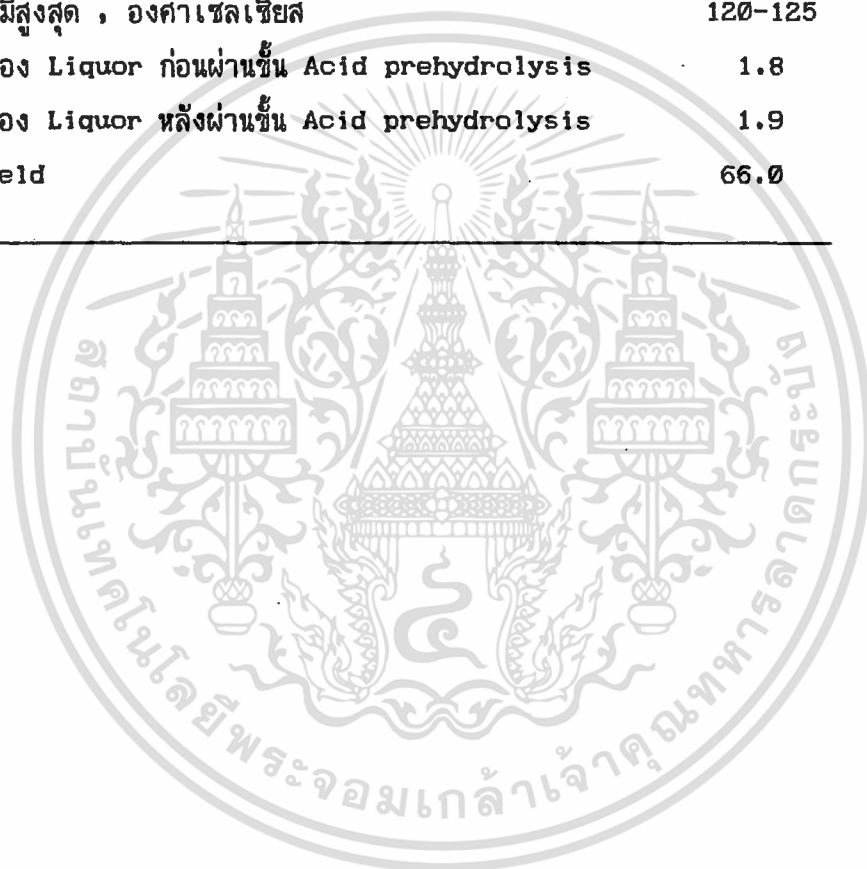
-Chemical charge เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณ Yield เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อ Tear strength แอลฟาเซลลูโลสจะสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อประจุ (Chemical charge) สูงขึ้น แต่เพนโตแซนและความหนืดจะลดลง

Ott และ คณะ (1963) กล่าวว่า สารละลายด่าง (Alkali liquor) จะซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้เร็วกว่าสารละลายกรด (Acid liquor) และสามารถใช้อุณหภูมิสูงได้โดยจะไม่ทำลายเซลลูโลส ทำให้ชั้น Kraft process ใช้เวลาสั้นกว่า สารเคมีที่ใช้ในชั้น Kraft จะใช้ในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เท่านั้น (ประมาณ 15 % ของ Active chemical (โดยน้ำหนักเยื่ออบแห้ง)) และอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในชั้น Kraft คือ 170-175 องศาเซลเซียส เยื่อที่ผ่านชั้น Kraft จะมีสีน้ำตาล , เหนียว (Tough) , Fiber แตกหักได้ยาก และสามารถนำไปฟอกสีได้

จิตต์ และ ดวงใจ (2521) ได้ศึกษาถึงการผลิตเซลลูโลสจากแกนปอแก้วโดยวิธี Acid prehydrolysis แล้วตามด้วยวิธี Kraft cooking และผ่านขั้นตอนการฟอกแบบ CEHEH ได้ เซลลูโลส 93-95 % , เถ้า 0.1-0.4 % , เพนโตแซน 1.9-2.3 % , ความขาว 82-84 % และ Yield 26-29 % โดยใช้สภาพในการสกัดเซลลูโลสในชั้น Acid prehydrolysis ดังนี้

**ตารางที่ 1** เงื่อนไขในขั้น Acid prehydrolysis ของ Woody stem

Material/Liquor ratio	1/6
% HCl	1.5
เวลาที่ใช้เพิ่มจนถึงอุณหภูมิสูงสุด , ชั่วโมง	2.0
เวลาที่ใช้ต้มที่อุณหภูมิสูงสุด , ชั่วโมง	3.0
อุณหภูมิสูงสุด , องศาเซลเซียส	120-125
pH ของ Liquor ก่อนผ่านขั้น Acid prehydrolysis	1.8
pH ของ Liquor หลังผ่านขั้น Acid prehydrolysis	1.9
% Yield	66.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในชั้น Kraft cooking นั้นได้ใช้เงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในชั้น Kraft cooking ของ Woody stem

Cooking code	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	PK6
Material/Liquor ratio	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
Sulfidity , %	0	10	15	20	25	30
Active alkali , %	18	18	18	18	18	18
Total alkali , %	20	20	20	20	20	20
เวลาที่ใช้เพิ่มจนถึง อุณหภูมิสูงสุด (ชั่วโมง)	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4
เวลาที่ใช้ต้มที่อุณหภูมิ สูงสุด (ชั่วโมง)	3	3	3	3	3	3
อุณหภูมิสูงสุด , องศาเซลเซียส	160	160	160	160	160	160
Yield , %	44	45	40	41	42	42
Kappa number	21.2	12.5	10.6	10.4	10.3	10.1
Permanganate number	15.1	8.1	5.8	5.6	5.4	5.2
% Bleach consumption as chlorine	7.6	3.8	2.7	2.5	2.5	2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในชั้น Bleaching นั้น เจือปนไขต่างๆได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เจือปนไขในชั้น Bleaching ของ Woody stem

Cooking code	PK2	PK3	PK4	PK5	PK6
ชั้นที่ 1 : Chlorination (a)					
Cl <sub>2</sub> used , %	2.1	2.1	2.0	2.0	1.8
Cl <sub>2</sub> consumed , %	2.1	2.1	2.0	2.0	1.8
ชั้นที่ 2 : Caustic extraction (b)					
NaOH , %	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ชั้นที่ 3 : Calcium hypochlorite (c)					
Avail. chlorine used , %	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
Avail. chlorine consumed , %	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5
ชั้นที่ 4 : Caustic extraction (b)					
NaOH , %	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ชั้นที่ 5 : Calcium hypochlorite (c)					
Avail. chlorine used , %	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Avail. chlorine consumed , %	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Overall yield , %	29	26	27	28	28
Brightness , %	84	84	82	84	82

- หมายเหตุ (a) หมายถึง Consistency 3 % , 45 นาที ที่อุณหภูมิห้อง  
 (b) หมายถึง Consistency 10 % , 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส  
 (c) หมายถึง Consistency 5 % , 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

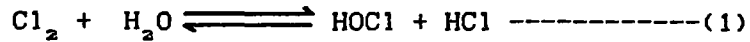
ขั้นตอนการฟอก (Bleaching) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Chlorination

Bleachability แทนการวัดปริมาณคลอรีนในรูปแบบ Oxidizing agent เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่ง Sulfide pulp ใช้ไปในสภาวะมาตรฐาน นิยมใช้กันคือวิธี TAPPI permanganate ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

test ซึ่งจะวัดปริมาณเป็นมิลลิลิตรของ 0.1 N  $\text{KMnO}_4$  ที่ใช้ไปในสารละลายกรด ต่อ 1 กรัมของกระดาษอบแห้ง ที่สภาวะความเข้มข้น , เวลา และอุณหภูมิมาตรฐาน

เมื่อคลอรีนละลายน้ำ จะเกิดสมดุลดังนี้



ปฏิกิริยานี้ขึ้นกับ pH ที่ความเป็นกรดมาก (pH < 2) สารละลายจะประกอบด้วย Undissociated chlorine ที่ละลายน้ำ Oxidation จะเกิดได้บ้าง เพราะมี Hypochlorous acid แต่สิ่งแวดล้อมจะเหนี่ยวนำให้เกิด Chlorination ดังนี้ (R คือ Organic residue)



เมื่อความเป็นกรดของระบบ Chlorine water ลดลง การเกิด Hypochlorous acid จะมีผลมาจากการลดลงของอัตราการจับตัวแบบ Oxidative



การแตกตัวที่เพิ่มขึ้นของ Hypochlorous acid ไปเป็น Hypochlorite ion จะเกิดที่ pH สูง (pH > 5) อัตรา Oxidation จะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาที่ (4) มี Oxidation potential น้อยกว่า HOCl ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นต่าง ปฏิกิริยาจะเกิดช้าแต่ก็เป็นแบบ Oxidative

แม้ว่าจะมี Oxidative ของ Aqueous chlorine กับสารที่เป็นเซลลูโลสหรือไม่เป็นเซลลูโลสก็ตามในกระบวนการ Chlorination pH ของ Slurry จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเกิด HCl อิสระและการแทนที่อินไฮโดรเจนด้วยคลอรีน (สมการ (2)) จะสังเกตได้ว่าปฏิกิริยา Chlorination จะมีความเป็นกรดสูง เพราะการเกิด HCl เมื่อลิกนินในเยื่อไม้สัมผัสด้วยคลอรีน ปฏิกิริยา Oxidation จะดำเนินไปอย่างช้าจนกระทั่งคลอรีนหมด

## 2. Alkaline Extraction

Chlorinated sulfite lignin ส่วนมากละลายในสารละลายคลอรีนที่เป็นกรด การสกัดด้วยด่างอย่างอ่อนตามหลัง Chlorination จะสามารถสกัดลิกนินหรือสิ่งมีสีอย่างน้อยจำนวนหนึ่งออกมา การล้างเยื่อที่ผ่านชั้น Alkaline ก่อนฟอกชั้น Hypochlorite จะพบว่าเยื่อมีสีสว่างขึ้น

## 3. Hypochlorite Bleaching

Chlorination กับ Alkaline extraction ของเยื่อที่ผ่านชั้น Kraft มีผลในการแยกสิ่งห่อหุ้มที่ไม่ใช่เซลลูโลส (Non-cellulosic incrustant) ซึ่งจะป้องกันเซลลูโลสจาก Oxidative degradation อย่างไรก็ตาม เยื่อที่ผ่าน Chlorination มาแล้วจะยังคงมีสี จึงต้องใช้ Oxidation บางอย่างทำลายสีที่ดูดซับที่ Fiber Oxidizing agent ที่นิยมคือ Sodium หรือ Calcium hypochlorite

การฟอกด้วย Hypochlorite จะเกิด Carbonyl และ Carboxyl group ในโมเลกุลของเซลลูโลส End product ของการฟอกอย่างสมบูรณ์ด้วยวิธี Hypochlorite จะได้  $CO_2$  และ Organic acid ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Rashback และ Yorston 1931)

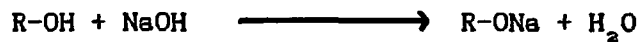
### ขั้นตอนการล้าง

เป็นการล้างภายหลังการใช้สารเคมีต่างๆ Soluble residue (ที่เหลือภายหลังขั้นตอน) ในเยื่อจะไปรบกวนขั้นตอนต่อไป ทำให้ใช้สารเคมีมากขึ้น

### ประโยชน์ของเซลลูโลสคุณภาพสูง

1. ใช้ผลิต โซเดียม คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (Sodium-carboxyl methyl cellulose ; CMC) CMC จัดเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ในทางการค้า CMC คือ Soluble cellulose ether ซึ่งเป็นเกลือโซเดียมของ CMC อาจเรียก CMC ว่า เซลลูโลสกัม (Cellulose gum) หรือ โซเดียมเซลลูโลส ไกลโคเลต (Sodium cellulose glycolate) CMC ได้จากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสบริสุทธิ์กับ NaOH จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยากับโซเดียม โมโนคลอโรอะซิเตต (Sodium monochloroacetate) ดังปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่า Degree of substitution (D.S.) และ Degree of polymerization (D.P.) จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยควบคุมคุณภาพของ CMC โดย CMC ที่มี D.S. 0.3 หรือต่ำกว่าจะสามารถละลายในต่าง แต่ไม่ละลายในน้ำ CMC ที่มี D.S. 4.5 หรือสูงกว่าจะละลายได้ดีในน้ำ สำหรับ CMC ที่นิยมใช้กันทั่วไปจะมี D.S. 0.65-0.85 ส่วน D.P. ของ CMC จะมีผลต่อความหนืดของสารละลาย CMC ถ้าค่า D.P. สูงขึ้น ความหนืดจะสูงขึ้น

Food grade CMC จะละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและในน้ำเย็น ความหนืดของสารละลาย CMC 2 % จะแตกต่างกันในช่วง 10-50,000 cP หรือสูงกว่า ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของ CMC ความหนืดของสารละลาย CMC จะคงตัวได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างกว้าง (pH 5-11) แต่จะดีที่สุดที่ pH 7-9 ถ้า pH ต่ำกว่า 5 ความหนืดจะลดลง และถ้าหากว่าต่ำกว่า 2-3 Free carboxymethylcellulose acid จะตกตะกอน

CMC จัดเป็นกัมประเภทดัดแปลงหรือกึ่งสังเคราะห์ (Modified or semi-synthetic gums) ดังแสดงในตารางการจำแนกชนิดของกัม (ตารางที่ 4 )

**ตารางที่ 4** การจำแนกชนิดของ Gums (คิวพร 2529)

Natural tree exudates and extracts :	Modified gums(Semi-synthetic) cellulose derivatives :	Completely synthetic gums vinyl polymers :
Arabic Tragacanth Karaya Larch Ghatti Seed or root : Locust bean Guar Psyllium seed Quince seed Seaweed extracts : Agar Algin Carrageenan Furcellaran Others : Pectin Gelatin Starch	Carboxy methyl cellulose Methyl cellulose Hydroxy propyl methyl cellulose Hydroxy propyl cellulose Hydroxy ethyl cellulose Ethyl hydroxy ethyl cellulose Microcrystalline cellulose Starch derivatives : Carboxy methyl starch Hydroxy ethyl starch Hydroxy propyl starch Microbial fermentation gums : Dextran Xanthan gum Others : Low methoxy pectin Propylene glycol alginate Triethanolamine alginate Carboxy methyl locust bean-gum Carboxy methyl guar gum	Polyvinylpyrrolid Polyvinyl alcohol Carboxy vinyl polymer Acrylic polymer : Polyacrylic acid Polyacrylamide Ethylene oxide polymer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gum จากเซลลูโลส และอนุพันธ์ของเซลลูโลส มีสูตรโครงสร้างที่ประกอบด้วย  
 กลูโคสต่อกันด้วย  $\beta$  1-4 Linkage

Gum ชนิดต่างๆจะมีความสามารถในการกระจายตัว การละลาย การให้ความหนืด การทำให้เกิดเจล การเป็น Emulsifier , Stabilizer และ Suspending agents ดังนั้นการใช้ประโยชน์จาก CMC ในอุตสาหกรรมอาหารจึงมีมากมาย เช่น เติม CMC ในโปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein) และเคซีน (Casein) ช่วยไม่ให้โปรตีนเหล่านี้ตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) ตลอดจนช่วยทำให้สารละลายเจลาตินมีความหนืดมากขึ้น

-ช่วยเป็นสารที่ช่วยให้เกิดความคงตัวในไอศกรีมเชอร์เบต , Ice pops หรือผลิตภัณฑ์ขนมหวานเยือกแข็งต่างๆ เพื่อช่วยป้องกันการเกิดเกล็ดน้ำแข็ง และมีผลทำให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่มฟู

-ช่วยใน Icing , Merigues , Jellies , Pie filling และ Pudding เพื่อป้องกันการเกิด Syneresis

-ใช้ในเค้ก และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณและสามารถเก็บความชื้นได้ดีขึ้น

-ใช้เติมในน้ำสลัด , น้ำผลไม้แท้ เพื่อให้อยู่ในสภาพเป็นสารแขวนลอยได้ดี ไม่แยกชั้นตกตะกอนลงมา

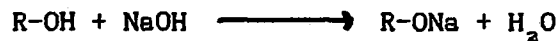
นอกจากนี้เซลลูโลสยังสามารถนำไปผลิตอนุพันธ์ของเซลลูโลสตัวอื่นๆ ที่มีประโยชน์ได้ดังนี้

2. ใช้ผลิตเซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose acetate) ซึ่งเป็นสินค้าสำคัญในอุตสาหกรรมทำใยสังเคราะห์และกันกรองบุหรี่

3. ใช้ผลิตเซลลูโลสไนเตรท ( Cellulose nitrate) ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรมทำวัตถุระเบิด สี และแลคเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้ผลิตออร์โท-เมทิลเซลลูโลส (O-Methyl cellulose) เมื่อนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับหมู่เมทิล (Methyl group) ในปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (Methylation) จะได้สารประกอบอนุพันธ์เซลลูโลสที่เรียกว่าออร์โท-เมทิลเซลลูโลส (O-Methyl cellulose) การเกิดอนุพันธ์ชนิดนี้คล้ายกับของอนุพันธ์ CMC ดังปฏิกิริยา



เมทิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ นิยมใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery products) โดยจะไปเพิ่มความหนืดให้แก่โดว์ (Dough) และสามารถสร้างเจลในขนมอบ การเกิดเจลเช่นนี้เรียกว่า เทอร์โมเจลเลชัน (Thermogelation)

5. ใช้ผลิตไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxy propyl methyl cellulose) อนุพันธ์ของเซลลูโลสตัวนี้เกิดจากปฏิกิริยาของ Alkali cellulose กับ Propylene oxide ดังปฏิกิริยา



ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสไม่มีคุณสมบัติเป็นไอออนิก (Non-ionic) ดังนั้น pH และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะไม่มีผลต่อการละลาย และความหนืดของสารชนิดนี้ นิยมใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพราะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเมทิลเซลลูโลส

6. ใช้ผลิตไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Hydroxy propyl cellulose) หรือเรียกว่า คลูเซล (Klucel) มีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำเย็น จะตกตะกอนที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส นิยมใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสเป็นสารสร้างความเสถียร (Stabilizer) ในวิปิ้งครีม (Whipping cream)

7. ใช้ผลิตเมทิลเอทิลเซลลูโลส (Methyl ethyl cellulose) มีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำเย็น ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมทิลเอทิลเซลลูโลสสามารถนำมาตีขึ้นฟูเป็นโฟม (Foam) ที่มีความคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### อุปกรณ์และสารเคมี

#### 1. อุปกรณ์และสารเคมีในการสกัดเซลลูโลส

##### 1.1 ขั้น Acid prehydrolysis

- 1.1.1 Soxhlet extractor
- 1.1.2 สารเคมี Hydrochloric acid
- 1.1.3 น้ำกลั่น
- 1.1.4 เทอร์โมมิเตอร์ (๑-2๐๐ องศาเซลเซียส)
- 1.1.5 กระดาษวัด pH

##### 1.2 ขั้น Kraft cooking

- 1.2.1 Soxhlet extractor
- 1.2.2 สารเคมี Sodium hydroxide , Sodium sulfide
- 1.2.3 น้ำกลั่น
- 1.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ (๑-2๐๐ องศาเซลเซียส)
- 1.2.5 กระดาษวัด pH

##### 1.3 ขั้น Bleaching

- 1.3.1 ชาดสีน้ำตาล
- 1.3.2 สารเคมี คลอรีนผง , Sodium hydroxide , calcium hypochlorite
- 1.3.3 ชุดกรอง (Filtration unit)
- 1.3.4 Iodine paper
- 1.3.5 ถุง Polypropylene
- 1.3.6 ตูบ (ปรับที่อุณหภูมิ 7๐ องศาเซลเซียส)
- 1.3.7 กระดาษวัด pH

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1.3.8 น้ำกลั่น การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ

### 2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส

- 2.1.1 สารเคมี Sodium hydroxide และ Acetic acid.
- 2.1.2 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 ml.
- 2.1.3 ปิเปต (Pipette)
- 2.1.4 แท่งคน (Stirrer)
- 2.1.5 กระจกนาฬิกา (Watch glass)
- 2.1.6 น้ำกลั่น
- 2.1.7 ชุดกรอง (Filtration unit)
- 2.1.8 กระดาษวัด pH
- 2.1.9 กระบอกลูกทวง (Cylinder)

### 2.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน (Lignin)

- 2.2.1 สารเคมี Benzene , Ethyl alcohol และ Sulfuric acid
- 2.2.2 ชุดกรอง (Filtration unit)
- 2.2.3 Soxhlet extractor
- 2.2.4 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 ml.
- 2.2.5 ปิเปต (Pipette)
- 2.2.6 กระจกนาฬิกา (Watch glass)
- 2.2.7 เทอร์โมมิเตอร์ (0-100 องศาเซลเซียส)
- 2.2.8 แท่งคน (Stirrer)
- 2.2.9 Hot plate
- 2.2.10 ขวดก้นแบน (Flat bottom flask) ขนาด 2000 ml.
- 2.2.11 กระบอกลูกทวง (Cylinder)

### 2.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ Kappa number

- 2.3.1 สารเคมี Potassium permanganate , Sodium thiosulfate , Potassium iodide , Sulfuric acid และ Starch

- 2.3.2 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1000 ml.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.3.3 กระจกบอกรวง (Cylinder)

2.3.4 บีเปต (Pipette)

2.3.5 น้ำกลั่น

2.3.6 แท่งคน (Stirrer)

2.3.7 บีวเรต (Burette)

2.3.8 หลอดหยด (Dropper)

2.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเพนโตแซน (Pentosan)

2.4.1 สารเคมี Hydrochloric acid , Potassium iodide , Potassium bromate-bromide , Sodium thiosulfate และ Starch

2.4.2 ชุดกลั่น (Distillation unit)

2.4.3 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

2.4.4 บีวเรต (Burette)

2.4.5 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

2.4.6 กระจกบอกรวง (Cylinder)

2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash)

2.5.1 เตาเผา (Muffle furnace)

2.5.2 ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

2.5.3 โถดูดความชื้น (Desiccator)

2.5.4 ตะเกียงเบนเสน (Bunsen burner)

2.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture)

2.6.1 ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminium can)

2.6.2 ตู้อบ (Oven)

2.6.3 โถดูดความชื้น (Desiccator)

2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขาว (Brightness)

2.7.1 เครื่องวัดความขาวของแข็ง (Hunter reflectometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

## วิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมตัวอย่างกระดาษชานอ้อย

นำกระดาษชานอ้อยมาฉีกให้มีขนาดเล็ก  $0.5 \text{ cm.} * 0.5 \text{ cm.}$  โดยประมาณ และมีความบางมากขึ้น

### 2. การสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์

#### 2.1 ขั้น Acid Prehydrolysis

2.1.1 บรรจุตัวอย่างกระดาษชานอ้อย หนัก 100 กรัม

2.1.2 เติมสารละลาย Hydrochloric acid 600 ml. สารละลายที่ใช้มีเนื้อสาร Hydrochloric acid อยู่ 1.5 % ของน้ำหนักระดาษ

2.1.3 ต้ม โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 95-100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้ต้มที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 ,3 และ 4 ชั่วโมง

2.1.4 นำมารอง และล้างเยื่อกระดาษจนหมดกรดด้วยน้ำกลั่น โดยใช้กระดาษวัด pH ทดสอบ

2.1.5 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่

2.1.6 นำเยื่อที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส , ลิกนิน , เพนโตแซน Kappa number , และเถ้า

#### 2.2 ขั้น Kraft cooking

การต้มทำโดยวิธีการเดียวกับ Acid prehydrolysis โดยใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 105-110 องศาเซลเซียส นาน  $1 \frac{3}{4}$  ชั่วโมง และต้มที่อุณหภูมินี้ นาน 3 ชั่วโมง และใช้สารละลายที่มี Sulfidity 20 % และ Active alkali 18 % ตัวอย่างที่ใช้นำมาจากเยื่อที่ผ่านขั้น Acid prehydrolysis หนัก 60 กรัม โดยน้ำหนักอบแห้ง และใช้สารละลายจำนวน 360 ml.

## 2.3 ขั้น Bleaching โดยทำตามลำดับดังนี้

### 2.3.1 Chlorination

ใส่เยื่อที่ผ่านขั้น Kraft cooking จำนวน 20 กรัม โดยน้ำหนัก อบแห้ง ลงในขวดสีน้ำตาล เติมสารละลายคลอรีน 666 ml. เพื่อให้ได้ Consistency ของเยื่อ 3 % สารละลายคลอรีนที่ใช้มีเนื้อคลอรีน 0.84 กรัม เขย่าขวดนาน 45 นาที กรอง และล้างเยื่อจนหมดคลอรีนด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ Iodine paper ทดสอบ

### 2.3.2 Caustic extraction

ใส่เยื่อลงในถุง Polypropylene เติมสารละลาย Sodium hydroxide 200 ml. เพื่อให้ได้ Consistency ของเยื่อ 10 % สารละลายที่ใช้มีเนื้อ Sodium hydroxide 0.4 กรัม นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ในระหว่างอบต้องคอยบิบถุงเพื่อให้เยื่อกระจายให้ทั่วอยู่เสมอ กรอง และล้างเยื่อจนหมดด้วยน้ำร้อน โดยใช้กระดาษวัด pH ทดสอบ

### 2.3.3 Calcium hypochlorite

ใส่เยื่อลงในขวดสีน้ำตาล เติมสารละลาย Calcium hypochlorite ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) 400 ml. เพื่อให้ได้ Consistency ของเยื่อ 5 % สารละลาย Calcium hypochlorite ที่ใช้มีเนื้อคลอรีน 0.4 กรัม เขย่าขวดนาน 1 ชั่วโมง กรอง และล้างเยื่อจนหมดคลอรีนด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ Iodine paper ทดสอบ

### 2.3.4 Caustic extraction

วิธีการเหมือนขั้น 2.3.2 ทุกประการ

### 2.3.5 Calcium hypochlorite

วิธีการเหมือนขั้น 2.3.2 ทุกประการ

เอกสารนี้เป็น **น้ำเยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส, ลิกนิน, เพนโตแซน** ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kappa number และ เถົา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระดาศชานอ้อยเริ่มต้น

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
เซลลูโลส	53.25
ลิกนิน	28.11
เพนโตแซน	18.50
เถ้า	0.80

หมายเหตุ ปริมาณ (%) คัดโดยน้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อกระดาศที่ผ่านขั้น Acid pre-hydrolysis ที่ช่วงเวลาต่างๆของการต้ม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เซลลูโลส	67.60	60.65	51.60
ลิกนิน	14.02	13.48	9.08
เพนโตแซน	13.40	11.40	11.00
เถ้า	0.03	0.13	0.30

หมายเหตุ ปริมาณ (%) คัดโดยน้ำหนักของตัวอย่างอบแห้งที่ผ่านขั้น Acid prehydrolysis

**ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อกระดาษที่ผ่านขั้น Bleaching**

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เซลลูโลส	87.56	87.16	85.75
ลิกนิน	5.71	5.59	0.58
เพนโทแซน	6.04	6.00	5.80
เถ้า	0.66	0.55	0.73

**หมายเหตุ** ปริมาณ (%) คัดโดยน้ำหนักของตัวอย่างอบแห้งของเยื่อหลังจากผ่านขั้น Bleaching

**ตารางที่ 8 ความขาวของเยื่อเซลลูโลสที่สกัดได้**

เยื่อเซลลูโลส	ความขาว (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis	62.4	63.3	43.4
เมื่อผ่านขั้น Kraft cooking	60.3	58.0	54.4
เมื่อผ่านขั้น Bleaching	74.7	74.5	76.5

**หมายเหตุ** เยื่อกระดาษขานอ้อยเริ่มต้น มีความขาว 55.3 %

**ตารางที่ 9** ปริมาณ Yield (%) ของเยื่อเซลลูโลสหลังจากผ่านแต่ละขั้นตอน

เยื่อเซลลูโลส	ปริมาณ Yield (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis	95.5	94.0	93.5
เมื่อผ่านขั้น Kraft cooking	54.3	50.5	40.5
Overall yield	51.9	47.5	37.9

**ตารางที่ 10** ปริมาณเซลลูโลสของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ

เยื่อ	เซลลูโลส (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis	67.60	60.65	51.60
เมื่อผ่านขั้น Bleaching	87.56	87.16	85.75

**หมายเหตุ** -ปริมาณเซลลูโลส (%) คิดโดยน้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง

-ปริมาณเซลลูโลสเมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis เทียบกับน้ำหนักอบแห้งของเยื่อภายหลังผ่านขั้น Acid prehydrolysis แล้ว

-ปริมาณเซลลูโลสเมื่อผ่านขั้น Bleaching เทียบกับน้ำหนักอบแห้งของเยื่อภายหลังผ่านขั้น Bleaching แล้ว

ตารางที่ 11 ปริมาณลิกนินของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ

เยื่อ	ปริมาณลิกนิน (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis	14.02	13.48	9.08
เมื่อผ่านขั้น Bleaching	5.71	5.59	0.58

หมายเหตุ -ปริมาณลิกนิน (%) คัดโดยน้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง  
 -ปริมาณลิกนินเมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis เทียบจากน้ำหนักของเยื่อภายหลังจากผ่านขั้น Acid prehydrolysis แล้ว  
 -ปริมาณลิกนินเมื่อผ่านขั้น Bleaching เทียบจากน้ำหนักของเยื่อภายหลังจากผ่านขั้น Bleaching แล้ว

ตารางที่ 12 ปริมาณเพนโตแซนของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ

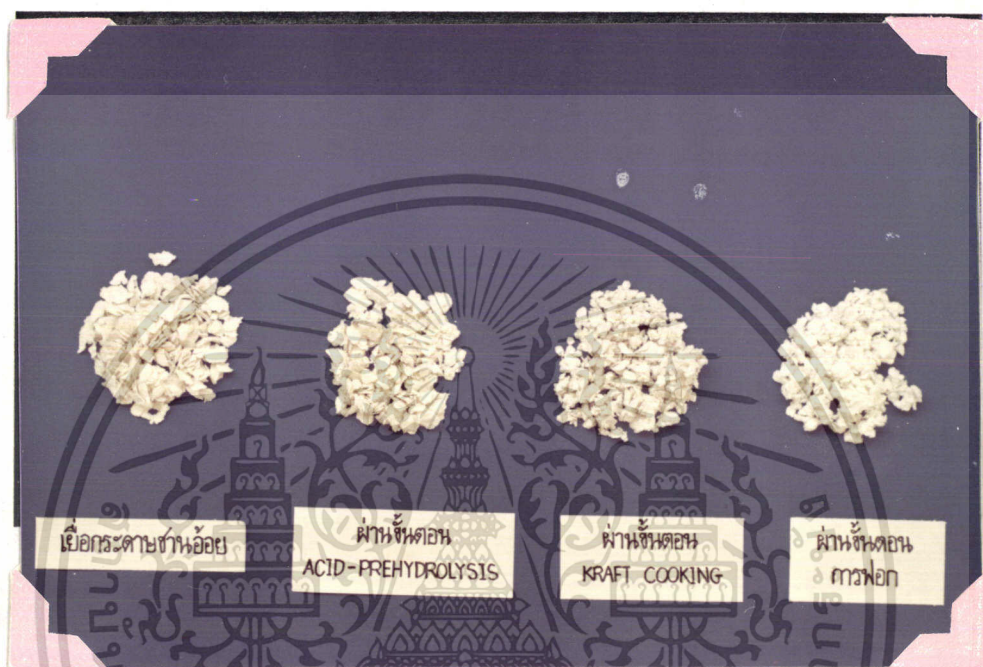
เยื่อ	ปริมาณเพนโตแซน (%) ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis	13.40	11.40	11.00
เมื่อผ่านขั้น Bleaching	6.04	6.00	5.80

หมายเหตุ -ปริมาณเพนโตแซน (%) คัดโดยน้ำหนักเยื่อกระดาษขอบแห้ง  
 -ปริมาณเพนโตแซนเมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis เทียบจากน้ำหนัก  
 ของเยื่อกระดาษขอบแห้งของเยื่อภายหลังผ่านขั้น Acid prehydrolysis แล้ว  
 -ปริมาณเพนโตแซนเมื่อผ่านขั้น Bleaching เทียบจากน้ำหนักของเยื่อกระดาษ  
 ขอบแห้งภายหลังผ่านขั้น Bleaching แล้ว

ตารางที่ 13 ค่า Kappa number ของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ

เยื่อ	ค่า Kappa number ที่ผ่านการต้มที่ช่วงเวลาต่างๆ (ชั่วโมง)		
	2	3	4
เมื่อผ่านขั้น Acid prehydrolysis	8.11	8.13	8.10
เมื่อผ่านขั้น Kraft cooking	1.61	1.60	1.59
เมื่อผ่านขั้น Bleaching	0.87	0.88	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ซึ่งใช้เวลาในการต้มขั้น Acid prehydrolysis นาน 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ซึ่งใช้เวลาในการต้มขั้น Acid prehydrolysis นาน 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



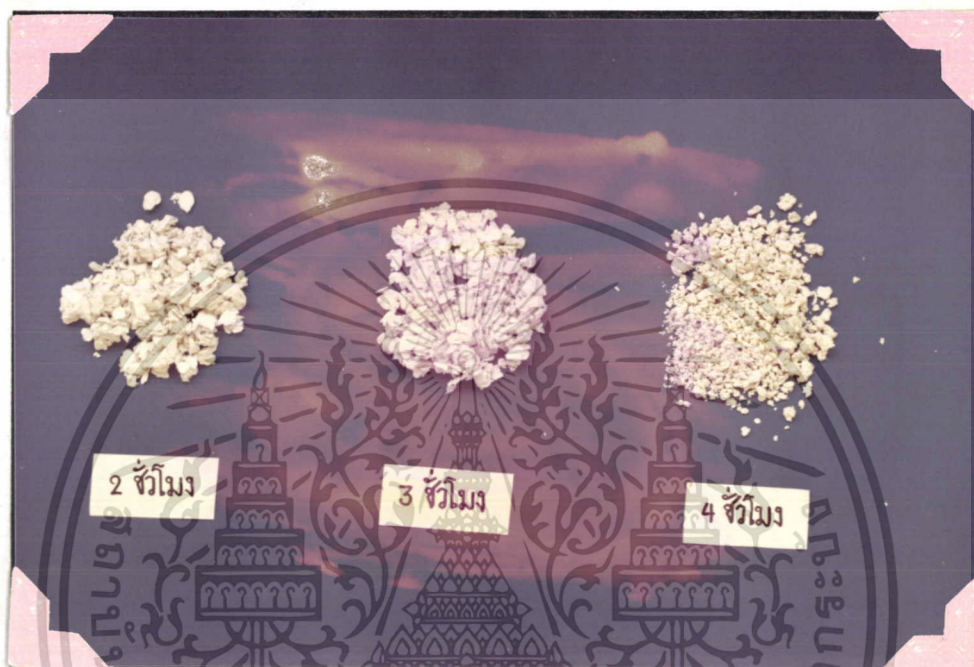
ภาพที่ 3 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ซึ่งใช้เวลาในการต้มขั้น Acid prehydrolysis นาน 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการต้มในชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



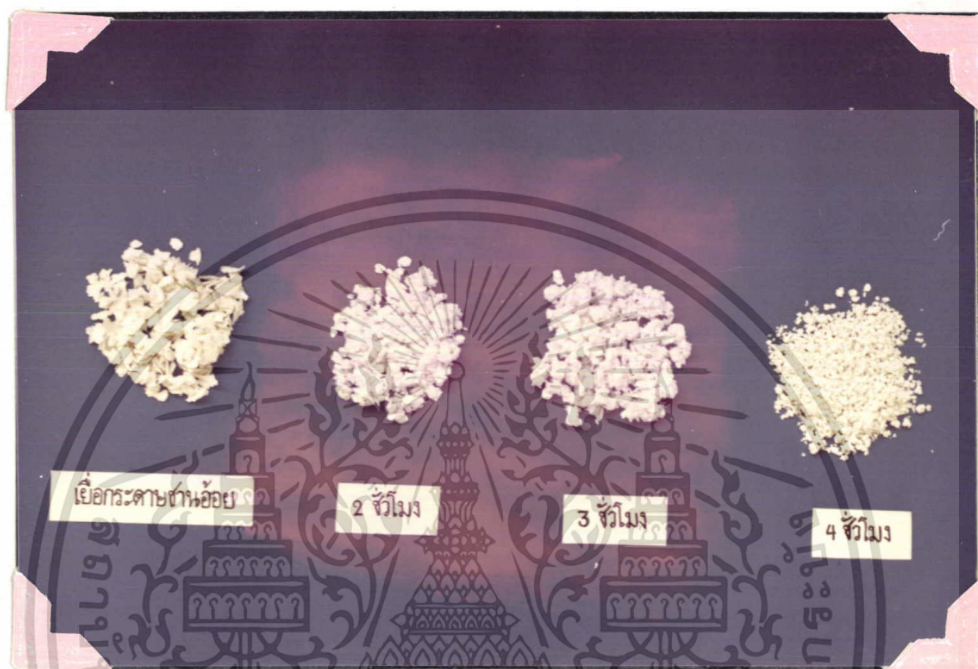
ภาพที่ 5 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการต้มในชั้น Kraft cooking โดยมีเวลาในการต้มชั้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการ Bleaching โดยมีเวลาในการต้มขึ้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ลักษณะของเยื่อเมื่อผ่านการ Bleaching โดยมีเวลาในการต้มขึ้น Acid prehydrolysis นาน 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อกระดาษชานอ้อยเริ่มต้น

## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์คุณภาพสูง โดยเริ่มต้นจากเศษเยื่อกระดาษชานอ้อยที่มีเซลลูโลส 53.25 % และเพนโตแซน 18.50 % เวลาที่ใช้ในการทดลองต้มขึ้น Acid prehydrolysis คือ 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง เยื่อกระดาษที่ได้จากการผ่านการต้มขึ้น Acid prehydrolysis จะมีเปอร์เซ็นต์ของเซลลูโลสที่ค่อนข้างแตกต่างกันมากตามสภาวะที่ใช้ และเปอร์เซ็นต์ของเพนโตแซนจะลดลง แต่ยังไม่ต่ำจนถึงระดับที่น่าพอใจ เมื่อนำเยื่อกระดาษที่ผ่านขึ้น Acid prehydrolysis ที่เวลาต่าง ๆ มาผ่านการต้มขึ้น Kraft cooking นาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส พบว่าเยื่อที่ใช้เวลา 2 ชั่วโมงในขั้น Acid prehydrolysis แล้วนำมาผ่านขึ้น Kraft cooking จะมีเปอร์เซ็นต์ของเซลลูโลสสูงสุด เนื่องจากสภาวะที่ใช้ไม่รุนแรงมากจนทำลายโครงสร้างของเซลลูโลส

สำหรับในขั้น Kraft cooking ได้เลือกใช้สารละลายที่มี Sulfidity 20 % และ Active alkali 18 % ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่มีผู้อื่นได้ทำการศึกษามาแล้วว่าเป็นสภาวะที่จะให้เยื่อที่สามารถนำไปฟอกได้ง่าย และใช้สารเคมีในขั้นตอนการ Bleaching น้อย และจากการทดลองก็พบว่าค่า Kappa number ซึ่งถือว่าเป็นดัชนีบอกถึงความสิ้นเปลืองในการใช้สารเคมีในขั้นตอนการ Bleaching มีค่าต่ำ คือเท่ากับ 1.61 , 1.60 และ 1.59 สำหรับเยื่อที่ได้ผ่านขึ้น Acid prehydrolysis เป็นเวลา 2 , 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ เป็นการยืนยันว่าใช้สารเคมีในขั้นตอนการ Bleaching น้อยจริง ในขณะที่แกนปอกระเจา , ต้นข้าวฟ่าง , และต้นข้าวโพด มีค่า Kappa Number เท่ากับ 12.89 , 24.16 และ 25.87 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูง จึงต้องใช้สารเคมีในขั้นตอนการ Bleaching มาก

ลักษณะของเยื่อที่ผ่านขึ้น Acid prehydrolysis เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีลักษณะยุ่ย และมีบางส่วนไหม้ เมื่อนำมาผ่านการต้มขึ้น Kraft cooking เยื่อที่ได้จะมีลักษณะเหนียวขึ้น ซึ่งยากต่อการนำมากรอง แต่เมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการ Bleaching แล้วพบว่าจะมีเปอร์เซ็นต์ความขาวสูงสุด แต่ก็ไม่แตกต่างจากตัวอย่างอื่นมากนัก

ค่า Overall yield ของเยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ที่ได้ผ่านการต้มขึ้น Acid prehydrolysis 2 ชั่วโมง จะมีเปอร์เซ็นต์สูงสุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ไม่มากเกินไปนัก

ดังนั้น จากผลการทดลองจะพบว่า สภาวะที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสให้มีความบริสุทธิ์และคุณภาพสูง ควรใช้เวลาในการต้มขึ้น Acid prehydrolysis นาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเพิ่มจนถึงอุณหภูมินี้ เป็น 2 ชั่วโมง ในการต้มขึ้น Kraft cooking ใช้สารละลายที่มี Sulfidity 20 % และ Active alkali 18 % เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิสูงสุด (105-110 องศาเซลเซียส) 1 3/4 ชั่วโมง และใช้เวลาต้มที่อุณหภูมิสูงสุดนี้นาน 3 ชั่วโมง ใช้การ Bleaching ที่ประกอบด้วย Chlorination 1 ครั้ง , Caustic extraction 2 ครั้ง และ Calcium hypochlorite 2 ครั้ง เมื่อพิจารณาจากทั้งปริมาณ เซลลูโลส , Overall yield , ความสามารถในการฟอก , ลักษณะความขาว รวมทั้งในแง่การประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

การสกัดเยื่อเซลลูโลสปริสุทธิ์ ควรจะมีการศึกษาต่อไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยการใช้สภาวะอื่นในการทดลอง หรืออาจศึกษาหาวัสดุทั้งทางการเกษตรชนิดอื่นที่มีความเหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง



## เอกสารอ้างอิง

- จิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และ ดวงใจ วิบูลย์ธนภัทร์. 2521. การศึกษาวิจัยการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง. สรุปผลการวิจัยประจำปี 2521 กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม.
- วรรณภา ลีวเกษมคานต์. 2530. เอกสารประกอบการสอนวิชาชีวเคมีอาหาร เรื่อง คาร์โบไฮเดรต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 97 น.
- ศิวาวร ศิวเวชช. 2529. วัตถุดิบอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. น. 128-156.
- Brauns, F. E. and W. S. Grimes. 1939. A fundamental study of the removal of the constituents of wood in the alkaline cooking process. Tech. Assn Papers, Series 22, : 574.
- Buxton, W. H. 1963. A practical procedure for increased uniformity in kraft pulping. Tappi, 46 (12) : 183.
- Cann, E. D. and W. B. Roberson. 1960. The effects of the active alkali charge upon unbleached pulp yields and quality in kraft cooking of southern pinewood. TAPPI, 43 (2) : 97.
- Daleski, E. J. 1965. The effect of elevated temperatures on the alkaline pulping process. TAPPI, 48 (6) : 325.
- Haegglund, E. 1949. Sulphidity in the sulphate process. TAPPI, 32 (6) : 241.
- Hanson, F. S. 1941. Paper Trade J., 112, : 32.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hart, J. S. and R. K. Strapp. 1948. Pulp & Paper Mag. Can., 49 (3) : 151.
- Hobden, J. F. 1956. Mechanism in alkaline pulping. APPITA Proc., 10, : 99.
- Jayme, G., H. Wagenbach and W. Deloft. 1939. Alkaline Pulping of beech wood. Papierfabrikant, pp. 37, 229, 240, 353, 361.
- Kleinert, T. N. and L. M. Marraccini. 1965. Distribution of chemicals in commercial wood chips. TAPPI, 48 (3) : 165.
- Nolan, W. J. 1957. Studies on continuous pulping. V: The effect of chip size and pre-impregnation on quality and yield. TAPPI, 40 (3) : 170.
- Ott, E., H. M. Spurlin and M. W. Grafflin. 1963. Cellulose and cellulose derivatives. Part II, Interscience Publishers, Inc., New York.
- Rashback, H. and F. H. Yorston. 1931. Quart. Rev., Forest products laboratory of Canada. 7, : 12.
- Reid, H. A. 1962. Some factors affecting the Kraft pulping of pinewoods. APPITA j., 15 (5) : 102.
- TAPPI. 1954. Acid insoluble lignin in wood pulp. The Technical Association for The Pulp and Paper Industry Standard. T 222 m-54., 2 p.
- TAPPI. 1960. Kappa number of pulp. The Technical Association for The Pulp and Paper Industry Standard. T 236 m-60., 3 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TAPPI. 1961. Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp. The Technical Association for The Pulp and Paper Industry Standard. T 203 os-61., 3 p.
- TAPPI. 1963. Pentosan in pulp. The Technical Association for The Pulp and Paper Industry Standard. T 223 ts-63., 3 p.
- TAPPI. 1985. Ash in wood and pulp. The Technical Association for The Pulp and Paper Industry Standard. T 211 om-85., 2 p.
- Tischenko, D. V. and E. N. Rozenberger. 1957. High temperature kraft pulping. *Bumashn. Promishl.*, 32 (6) : 7.
- Valeur, Ch. 1952. The influence of wood moisture on quality and yield of kraft pulp. *Sv. Papp. Tidn.*, 55, : 776.
- Vroom, K. E. 1957. The H factor : a means of expressing cooking times and temperature as single variables. *Pulp Paper Mag. Can.*, 58 (3) : 223.
- Wenzl, H. F. S. 1967. *kraft pulping theory and practice.* Lockwood Publishing Co., Inc. New York.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ

### 1. การวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส (TAPPI T203 os-61)

#### 1.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.1.1 เตรียมสารละลาย Sodium hydroxide 17.5 % : ละลาย  $17.5 \pm 0.1$  กรัมของ Sodium hydroxide (NaOH) ใน 100 ml. ของน้ำกลั่น ตรวจสอบความเข้มข้นสุดท้ายโดยการไตเตรตกับสารละลายกรดมาตรฐาน

1.1.2 เตรียมสารละลาย Sodium hydroxide 8.3 % : ละลาย 8.3 กรัมของ Sodium hydroxide (NaOH) ใน 100 ml. ของน้ำกลั่น ตรวจสอบความเข้มข้นสุดท้ายโดยการไตเตรตกับสารละลายกรดมาตรฐาน

1.1.3 เตรียมสารละลาย 2 N Acetic acid : นำ Acetic acid 100 % ปริมาตร 114.4 ml. ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

#### 1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างหนัก 1.5 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml.

1.2.2 เติม 7.5 ml. ของ Sodium hydroxide 17.5 % คนนาน 1 นาที จากนั้นเติมอีก 5 ml. คนนาน 45 วินาที และเติมอีก 5 ml. คนนาน 15 วินาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที

1.2.3 เติม 5 ml. ของ Sodium hydroxide 17.5 % คนนาน 10 นาที ในระหว่างการคน 10 นาทีนี้ ให้เติม 5 ml. ของ Sodium hydroxide 17.5 % ทุกๆ 2.5 นาที

1.2.4 ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ปลดปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 50 ml. คนให้ทั่ว และปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที

1.2.5 กรอง และล้างบีกเกอร์ด้วย 12.5 ml. ของ Sodium hydroxide 8.3 % จากนั้นล้างเยื่อด้วย 25 ml. ของน้ำกลั่น 5 ครั้ง

1.2.6 กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น 400 ml.

1.2.7 แช่วเยื่อที่กรองได้ด้วย 2 N Acetic acid นาน 5 นาที

1.2.8 กรองและใช้น้ำกลั่นล้างเยื่อจนหมดกรด ทดสอบด้วยกระดาษวัด pH

1.2.9 นำเยื่อที่ได้อบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

1.2.10 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักอบแห้งที่ได้จะเป็นเปอร์เซนต์ของเซลลูโลส ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิกนิน และเถ่า

### การคำนวณ

$$\% \text{ เซลลูโลส , ลิกนิน และเถ่า } = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง} * 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

$$\% \text{ เซลลูโลส } = \% \text{ เซลลูโลส , ลิกนิน และเถ่า } - \% \text{ ลิกนิน } - \% \text{ เถ่า }$$

## 2. การวิเคราะห์ Kappa number (TAPPI T236 m-60)

### 2.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1.1 เตรียมสารละลาย Potassium permanganate  $0.1 \pm 0.0005$  N : ละลาย 16.25 กรัมของ  $\text{KMnO}_4$  ปริมาตรเป็น 500 ml. ปรับความเข้มข้นโดยการไทเตรตกับ Standardized sodium thiosulfate หรือ Sodium oxalate solution

2.1.2 เตรียมสารละลาย Sodium thiosulfate  $0.2 \pm 0.0005$  N : ละลาย 50 กรัมของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเข้มข้นโดยการไทเตรตกับ Standardized potassium dichromate solution

2.1.3 เตรียมสารละลาย Potassium iodide 1.0 N : ละลาย 116 กรัมของ KI ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.1.4 เตรียมสารละลาย Sulfuric 4 N : น้ำ 112 ml. ของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น (94.5–96.5 %) ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

### 2.2 วิธีการวิเคราะห์

2.2.1 นำตัวอย่าง 3 กรัม (Oven dried weight) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ Total volume 795 ml.

2.2.2 น้ำ 100 ml. ของ  $\text{KMnO}_4$  0.1 N และ 100 ml. ของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 N มารวมกัน ใส่ลงในสารละลายตัวอย่างอย่างรวดเร็ว และล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ml.

2.2.3 คนนาน 10 นาที ให้เกิด Vortex ลึก 2.5 cm. แต่ไม่เร็วจนทำให้อากาศปนลงไป

2.2.4 รีบเติม 20 ml. ของ Potassium iodide 1.0 N คนให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 รีบไตเตรตกับ Sodium thiosulfate 0.2 N โดยใช้ Starch indicator 2-3 หยด

2.2.6 ทำ Blank titration โดยใช้น้ำกลั่น 800 ml. แทนน้ำ และตัวอย่าง

### การคำนวณ

$$P = N \cdot (V_2 - V_1)$$

$$f = 0.894 + (0.00214 \cdot P)$$

$$\text{Kappa Number} = P \cdot f / W$$

เมื่อ

N คือ ความเข้มข้นเป็น Normality ของ Sodium thiosulfate

$V_1$  คือ ปริมาตรของ Sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายเยื่อ, ml.

$V_2$  คือ ปริมาตรของ Sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไตเตรต Blank, ml.

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง, กรัม

P คือ ปริมาตรของ  $\text{KMnO}_4$  0.1 N ที่เยื่อกินเข้าไป, ml.

f คือ Correction factor

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน (TAPPI T222 m-54)

#### 3.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1.1 เตรียมสารละลายแอลกอฮอล์-เบนซีน : ผสมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ประมาณ 33 ml. กับเบนซีนประมาณ 67 ml. นำมาเขย่า

3.1.2 เตรียมสารละลาย Sulfuric acid 72 % : ค่อยๆเท Sulfuric acid เข้มข้นประมาณ 665 ml. ลงในน้ำกลั่น 300 ml. ปล่อยให้เย็น ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

### 3.2 วิธีการวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (Oven dried weight) ใส่ลงใน Thimble นำไป Extract ด้วยสารละลายแอลกอฮอล์-เบนซีนใน Soxhlet extractor นาน 5-6 ชั่วโมง

3.2.2 ผึ่งตัวอย่างใน Thimble จนแห้ง

3.2.3 ถ่ายตัวอย่างใส่บีกเกอร์ เติม Sulfuric acid 72 % ที่มีอนุกรม 12-15 องศาเซลเซียส ปริมาณ 40 ml. อย่างช้าๆ จนให้ตัวอย่างกระจายให้ทั่ว

3.2.4 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ระหว่างนั้นคนตัวอย่างไปด้วย

3.2.5 ถ่ายใส่ Flat bottom flask ขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 1,500 ml. นำไปต้มนาน 4 ชั่วโมง ระหว่างการต้มให้เติมน้ำร้อนลงไปตลอดเวลา เพื่อรักษาระดับน้ำใน Flask ให้คงที่

3.2.6 ปลอ่ยให้เย็นและตกตะกอน กรองและล้างจนหมดกรดด้วยน้ำร้อน 500 ml. โดยใช้กระดาษวัด pH ทดสอบ

3.2.7 นำตะกอนที่ได้อบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนัก น้ำหนักตะกอนที่ได้คือน้ำหนักลิกัน

#### การคำนวณ

$$\% \text{ ลิกัน} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนอบแห้ง} * 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง}}$$

### 4. การวิเคราะห์ปริมาณเพนโตแซน (TAPPI T223 ts-63)

#### 4.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

4.1.1 เตรียมสารละลาย Hydrochloric acid 12 % : โดยค่อยๆ เเท Hydrochloric acid เข้มข้น ปริมาณ 307 ml. ลงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตร เป็น 1 ลิตร

4.1.2 เตรียมสารละลาย Potassium iodide 10 % : ชั่ง KI 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 ml.

4.1.3 เตรียมสารละลาย Potassium bromate-bromide 0.2 N :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยละลาย Potassium bromate 5.57 กรัม และ Potassium bromide 50 กรัม  
ในน้ำกลั่น เติม Sodium carbonate 1 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4.1.4 เตรียมสารละลาย Sodium thiosulfate 0.1 N : โดย  
ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ประมาณ 25 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร  
ไตเตรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ Standardized potassium dichromate solution

4.1.5 เตรียมสารละลาย Starch indicator 1 % : ละลาย  
Starch 1 กรัม ในน้ำ 100 ml.

## 4.2 วิธีการวิเคราะห์

4.2.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (Oven dried weight) ใส่ขวดกลั่น  
เติม Hydrochloric acid 12 % ปริมาณ 100 ml. นำไปกลั่น

4.2.2 หลังกลั่นได้ทุกๆ 30 ml. เติม Hydrochloric acid 12 %  
ปริมาณ 30 ml. ลงในขวดกลั่นทุกครั้ง

4.2.3 ปลอ่ยให้กลั่นจนได้ 150 ml.

4.2.4 นำส่วนที่กลั่นได้ไปแช่จนได้อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า

4.2.5 ตูดส่วนที่กลั่นได้มา 100 ml. ใส่ Flask เติมสารละลาย Bromide  
0.2 N ปริมาณ 20 ml. ปิดจุก เขย่านาน 5 นาที

4.2.6 นำไปแช่จนได้อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า เติม  
Potassium iodide 10 % ปริมาณ 10 ml. ปิดจุก Flask เขย่าจนกระทั่งไอของ  
 $\text{Br}_2$  หหมด

4.2.7 ทำการไตเตรตกับสารละลาย Sodium thiosulfate 0.1 N  
โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์

4.2.8 ทำ Blank โดยใช้สารละลาย Hydrochloric acid 12 %  
ปริมาณ 100 ml. แทนส่วนที่กลั่นได้

## การคำนวณ

$$\begin{aligned} \% \text{ เพนโตแซน} &= \frac{1.375}{0.88} * 0.048 * \frac{N*(V_2 - V_1)}{W} * \frac{150*100}{100} - 1 \\ &= \frac{11.25*N*(V_2 - V_1)}{W} - 1 \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 1.375 & \text{ คือ Mole ratio ของ Anhydropentase ต่อ Furfural} \\
 & = (\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}) / \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2 \\
 & = 132/96
 \end{aligned}$$

0.88 คือ Yield ในการเปลี่ยน Pentosan ให้เป็น Furfural โดย Hydrochloric acid

0.048 คือ มวลโมเลกุลของ Furfural ใน Bromination

N คือ ความเข้มข้นเป็น Normality ของ Sodium thiosulfate

$V_1$  คือ ปริมาณของ Sodium Thiosulfate ที่ใช้ไทเทรตกับส่วนที่  
กลั่นได้ , ml.

$V_2$  คือ ปริมาณของ Sodium thiosulfate ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank , ml.

W คือ น้ำหนักอบแห้งของตัวอย่าง , กรัม

#### 5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (TAPPI T211 om-85)

5.1 เตา Crucible เปลาที่  $575 \pm 25$  องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งน้ำหนักของ Crucible

5.2 ซึ่งตัวอย่าง 1 กรัม (Oven dried weight) ใส่ Crucible เตาจน  
หมดควัน

5.3 นำเข้าเตาเผา (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ  $575 \pm 25$  องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว หรือใช้เวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งน้ำหนักเถ้าที่ได้

#### การคำนวณ

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} * 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง}}$$

#### 6. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

6.1 อบถ้วยอลูมิเนียม (Aluminium can) ที่  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งน้ำหนัก

6.2 ซึ่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบที่  $105 \pm 3$  องศา-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ซึ่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปคือ น้ำหนักความชื้น

### การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างอบแห้งที่ลดลง} * 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง}}$$

### 7. การวิเคราะห์ความขาว

- 7.1 บดตัวอย่างจนละเอียดเป็นผง
- 7.2 นำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วไปแผ่ลงในช่องวงกลมของแผ่นกระจก
- 7.3 นำแผ่นกระจกนั้นไปวัดความขาว โดยเครื่อง Hunter reflectometer

### 8. การคำนวณ % Sulfidity และ % Active alkali

$$\text{Active alkali (\%)} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} = 18 \text{ ---- (1)}$$

$$\text{Sulfidity (\%)} = \frac{\text{Na}_2\text{S} * 100}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}} = 20 \text{ ---- (2)}$$

$$100 * \text{Na}_2\text{S} = 20 * \text{NaOH} + 20 * \text{Na}_2\text{S}$$

$$\begin{aligned} \text{NaOH} &= \frac{80 * \text{Na}_2\text{S}}{20} \\ &= 4 * \text{Na}_2\text{S} \end{aligned}$$

แทนค่า NaOH ด้วย  $4 * \text{Na}_2\text{S}$  ใน (1)

$$4 * \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{S} = 18$$

$$\text{Na}_2\text{S} = 18/5 = 3.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

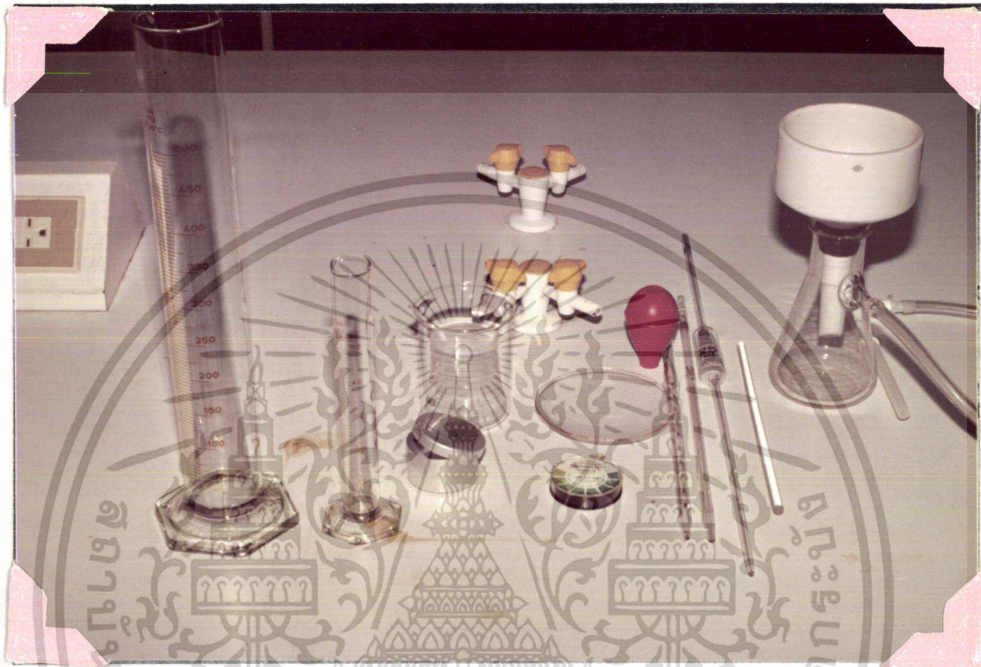
แทน  $\text{Na}_2\text{S}$  ด้วย 3.6 กรัม ใน (1)

$$\text{NaOH} = 18 - 3.6 = 14.4 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น ใช้ NaOH 14.4 กรัม และ  $\text{Na}_2\text{S}$  3.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 ml.

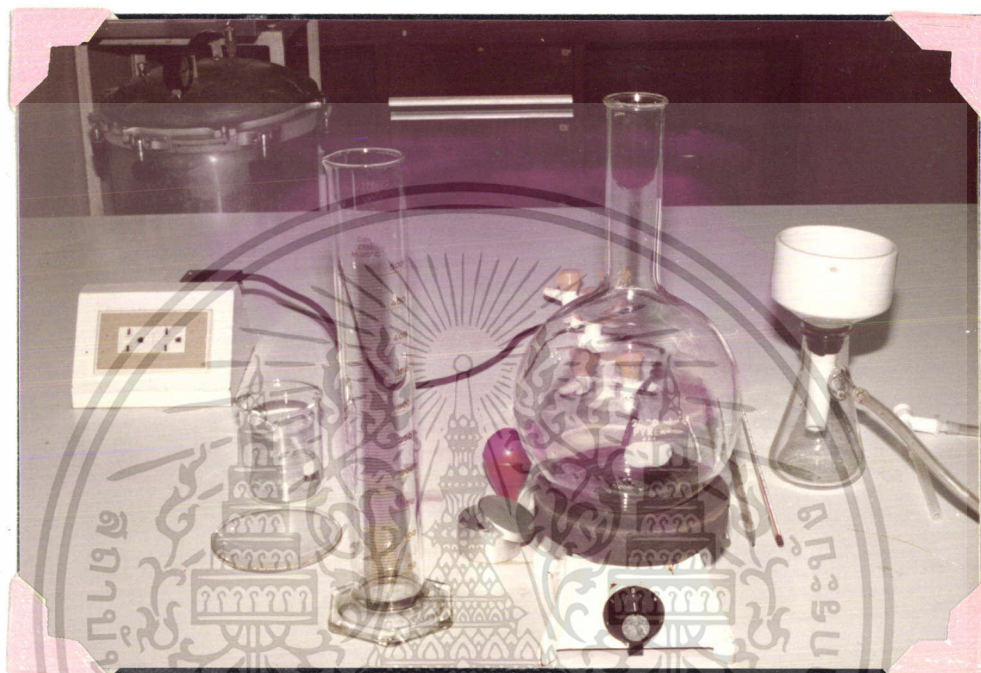


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



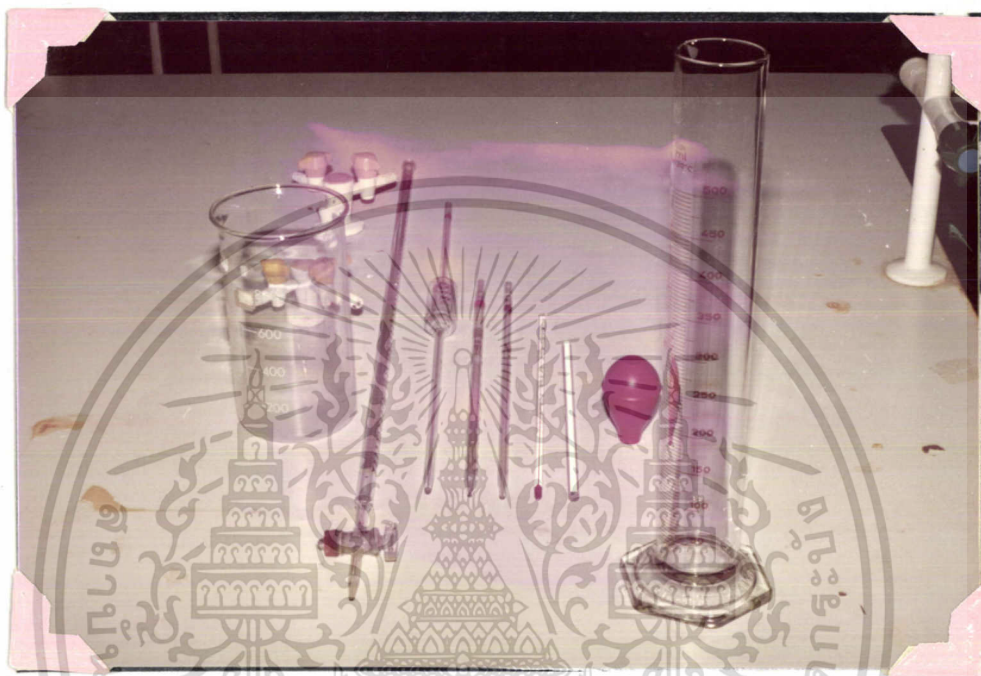
ภาพที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



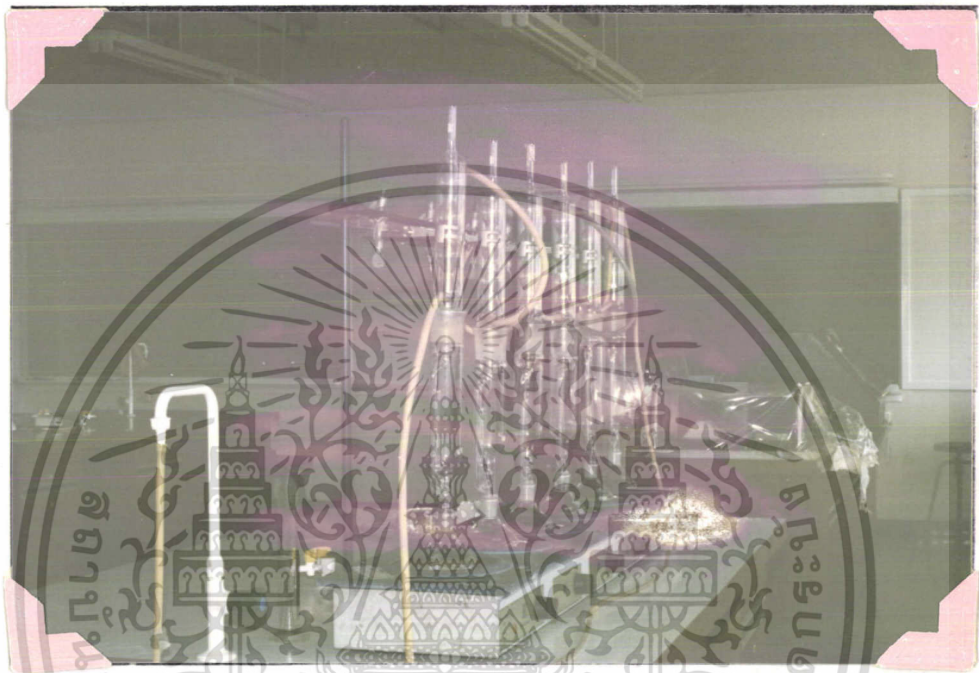
ภาพที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณลิเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า Kappa number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 เครื่อง Soxhlet extractor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้