

ผลของแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทนต่อการผลิตเยื่อแบบไฮโดรเจลจากฟางข้าว

นางสาวนิธิตี บุญกังวาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF ANTHRAQUINONE, METHANOL AND ACETONE ON SODA PULPING OF
RICE STRAW

Miss Nitivadee Boongungwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของแอนทราควิโนน เมทานอล และแอซีโทนต่อการผลิต
เยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว

โดย

นางสาวนิธิตี บุญกังวาน

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา หาญสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปติ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.เลอพงศ์ จารุพันธ์)

นิพนธ์ บัญญัติ : ผลของแอนทราควิโนน เมทานอล และแอซีโตนต่อการผลิตเยื่อแบบ
 โซดาจากฟางข้าว. (EFFECTS OF ANTHRAQUINONE, METHANOL AND
 ACETONE ON SODA PULPING OF RICE STRAW) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 อ.ดร.กุนที สุวรรณกิจ, 118 หน้า.

ฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตรที่สามารถหาได้
 ตลอดทั้งปีในประเทศไทย ดังนั้นฟางข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับ
 ผลิตเยื่อและกระดาษ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการผลิตเยื่อแบบโซดา และใช้การผลิตเยื่อแบบ
 โซดา ร่วมกับการใช้สารละลายอินทรีย์อื่นๆ ได้แก่ แอนทราควิโนน เมทานอล รวมถึงแอซีโตน
 ซึ่งสารแต่ละตัวช่วยเพิ่มการละลายลิกนินออกจากเส้นใยทำให้เยื่อที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้น
 งานวิจัยนี้จึงศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของแอนทราควิโนน เมทานอล และแอซีโตนที่มีต่อ
 ประสิทธิภาพการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว และต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษ ซึ่งจาก
 การทดลองพบว่าภาวะส่วนใหญ่ในการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล
 และแอซีโตนให้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น การกำจัดลิกนินเพิ่มขึ้น โดยภาวะที่มีการเติมแอนทราควิ
 โนนร่วมกับเมทานอลให้ค่าผลผลิตเยื่อสูงกว่าภาวะอื่นๆ รวมถึงสามารถกำจัดลิกนิน ออกจาก
 เยื่อได้มากจึงส่งผลให้ค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นมากกว่าภาวะอื่นๆ ด้วย เมื่อนำแผ่นทดสอบที่
 ผลิตได้มาเปรียบเทียบกันพบว่า เยื่อที่ผลิตได้จากวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล
 และแอซีโตนให้ค่าความเรียบเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นแต่ค่าดัชนีความ
 ต้านทานแรงฉีกและความทึบแสงกลับลดลง เนื่องจากสารที่เติมลงไปช่วยละลายลิกนินออก
 มาก ทำให้เส้นใยสร้างพันธะกันได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา โดยภาวะที่มี
 การเติมเมทานอล และแอซีโตนให้ค่าความเรียบสูงกว่าภาวะอื่นๆ ส่วนภาวะที่มีการเติมแอน
 ทราควิโนนให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าภาวะอื่นๆ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตเยื่อ
 แบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอซีโตนจากฟางข้าว นอกจากให้ผลผลิตเยื่อ
 ที่เพิ่มขึ้นแล้ว คุณภาพของเยื่อและกระดาษยังสูงกว่าการผลิตเยื่อแบบโซดา

สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2554..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5272378723 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEYWORDS : RICE STRAW / SODA PULPING / ANTHRAQUINONE /
METHANOL/ ACETONE

NITIVADEE BOONGUNGWAN : EFFECTS OF ANTHRAQUINONE,
METHANOL AND ACETONE ON SODA PULPING OF RICE STRAW.
ADVISOR : KUNTINEE SUVARNAKICH, Ph.D., 118 pp.

Agricultural and Industrial agriculture residue like rice straw could be found year round in Thailand. Thus, rice straw can be used as an alternative raw material to make pulp and paper. This research used soda pulping and modified soda pulping with organic solvent; such as anthraquinone (AQ) methanol (MeOH) and acetone to dissolve lignin from fiber which improve qualities of paper. Thus, the objective of this research was to study pulping of rice straw using soda process and modified soda process by adding AQ MeOH and acetone and compare pulp and handsheet properties of modified soda rice straw pulp to those of conventional soda rice straw pulp. The results showed that most of the modified soda pulping conditions, with anthraquinone, methanol and acetone, improved pulp yield and delignification. The condition which used anthraquinone and methanol together gave the highest pulp yield and the best delignification which resulted in higher brightness as compared to other conditions. The comparison of paper properties showed that modified soda pulping with anthraquinone, methanol and acetone improved smoothness and tensile index but tear index and opacity was reduced because when the chemicals dissolved lignin, fiber bonding was improved as compared to conventional soda pulping. Furthermore, the condition which used methanol and acetone gave the highest smoothness which the condition which used anthraquinone gave highest tensile index. This research indicated that not only pulp yield but quantities of pulp and paper were improved with anthraquinone, methanol and acetone modified soda compared with the traditional soda pulping.

Field of Study :Pulp and Paper Technology..... Student's Signature

Academic Year : ..2011..... Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ ผู้ทำหน้าที่เสมือนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาอีกท่านหนึ่ง ที่กรุณาเสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ สนับสนุนและให้กำลังใจ ซึ่งแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนดูแลผู้วิจัยตั้งแต่แรกเข้า การศึกษาจนจบการศึกษาเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อรัญ หาญสืบสาย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปดี และอาจารย์ ดร.เลอพงศ์ จารุพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาให้คำแนะนำและทำการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณโครงการวิทยาเพื่อพื้นที่ถิ่นตามแผนพัฒนาวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นที่ปรึกษา และให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้านเป็นอย่างดี ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.2 ข้าว.....	5
2.2.1 การจำแนกสายพันธุ์ของข้าว.....	5
2.2.1.1 ข้าวอินดิกา.....	6
2.2.1.2 ข้าวจาปอนิกา.....	6
2.2.1.3 ข้าวจาวานิกา.....	6
2.2.2 ลักษณะทั่วไปของเส้นใยและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว.....	6
2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของเยื่อจากฟาง.....	7
2.2.3.1 ข้อดีของเยื่อจากฟาง.....	7
2.2.3.2 ข้อเสียของเยื่อจากฟาง.....	8

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อ.....	8
2.3.1 เส้นใยที่ได้จากพืชที่มีเนื้อไม้.....	8
2.3.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (softwood).....	8
2.3.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hardwood).....	9
2.3.2 เส้นใยที่ได้มาจากพืชที่ไม่มีเนื้อไม้.....	10
2.3.2.1 เศษเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรมทางการเกษตร.....	10
2.3.2.2 พืชล้มลุกที่มีอยู่ตามธรรมชาติ.....	10
2.3.2.3 พืชล้มลุกที่มีการเพาะปลูกรวมถึงเส้นใยที่ได้จากใบ.....	10
2.4 โครงสร้างของเส้นใย.....	10
2.4.1 ชั้นมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella).....	11
2.4.2 ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใย (cell wall).....	11
2.4.2.1 ชั้นผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall).....	11
2.4.2.2 ชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall).....	11
2.4.3 ลูเมน (lumen).....	12
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย.....	12
2.5.1 เซลลูโลส (cellulose).....	13
2.5.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose).....	14
2.5.2.1 แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose).....	15
2.5.2.2 เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose).....	15
2.5.2.3 แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose).....	15
2.5.3 ลิกนิน (lignin).....	16
2.5.4 สารแทรก (extractives).....	17
2.6 กระบวนการผลิตเยื่อ (pulping process).....	17
2.6.1 การผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping).....	17
2.6.1.1 การผลิตเยื่อแบบหินบด (stone groundwood pulping).....	18
2.6.1.2 การผลิตเยื่อแบบจานบด (refiner mechanical pulping).....	18
2.6.1.3 การผลิตเยื่อแบบเชิงกลและความร้อน (thermomechanical pulping).....	18

2.6.2 การผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมี (semichemical pulping).....	19
2.6.3 การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping).....	19
2.6.3.1 การผลิตเยื่อเคมีแบบกรด (acidic pulping).....	19
2.6.3.2 การผลิตเยื่อเคมีแบบด่าง (alkaline pulping).....	20
2.6.3.2.1 กระบวนการโซดา (soda process).....	20
2.6.3.2.2 กระบวนการคราฟต์ (kraft process).....	20
2.7 แนวโน้มการผลิตเยื่อในอนาคต.....	21
2.7.1 กระบวนการผลิตเยื่อแบบใช้สารละลายอินทรีย์ (organosolv processes).....	21
2.7.1.1 Alcell process.....	21
2.7.1.2 Organocell process.....	21
2.7.2 กระบวนการผลิตเยื่อด้วยชีวภาพ (biopulping).....	21
2.8 ปฏิริยาขององค์ประกอบเคมีในเส้นใยในการผลิตเยื่อแบบต่าง.....	21
2.8.1 ปฏิริยาของลิกนิน.....	22
2.8.1.1 initial delignification.....	22
2.8.1.2 bulk delignification.....	22
2.8.1.3 residual delignification.....	23
2.8.2 ปฏิริยาของคาร์โบไฮเดรต.....	23
2.9 แอนทราควิโนน (anthraquinone).....	24
2.10 เมทานอล (methanol).....	24
2.11 แอซีโตน (acetone).....	25
2.12 การบดเยื่อ/การตีเยื่อ (refining/beating).....	25
2.12.1 กลไกการบดเยื่อ/ตีเยื่อ	25
2.12.2 ผลของการบดเยื่อที่มีต่อสมบัติของกระดาษ.....	26
2.12.3 ผลของการบดเยื่อที่มีต่อสมบัติด้านโครงสร้าง.....	26
2.13 สมบัติของเยื่อและกระดาษ.....	26
2.13.1 การทดสอบสมบัติของเยื่อ.....	27
2.13.1.1 การทดสอบค่าค้ำป้านัมเบอร์ (kappa number).....	27

2.13.1.2 การทดสอบค่าสภาพระบายได้ (drainability).....	27
2.13.1.3 การทดสอบปริมาณด่างที่เหลือ (residual alkali).....	27
2.13.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษ.....	27
2.13.2.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight).....	28
2.13.2.2 ความหนา (thickness).....	28
2.13.2.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density).....	28
2.13.2.4 ความขาวสว่าง (brightness).....	28
2.13.2.5 ความทึบแสง (opacity).....	28
2.13.2.6 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength).....	29
2.13.2.7 ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance).....	29
2.13.2.8 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength).....	29
2.13.2.9 ความเรียบ (smoothness).....	30
2.14 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 วัสดุ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	32
3.1.1 วัสดุและสารเคมี.....	32
3.1.2 เครื่องมือ.....	32
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.2.1 การทดลองตอนที่ 1: ทำการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟางข้าวเพื่อใช้ในการทดลองควบคุม.....	34
3.2.2 การทดลองตอนที่ 2: ทำการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน ร่วมกับเมทานอล และร่วมกับแอสซีโทนตามลำดับ.....	44
3.2.3 การทดลองตอนที่ 3: ทำการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน.....	45
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
4.1 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟางข้าวเพื่อใช้ในการทดลองควบคุม.....	48

4.2 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟาง ข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน ร่วมกับ เมทานอล และร่วมกับแอสซีโทนตามลำดับ.....	58
4.3 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนตามลำดับ.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	108
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยจากแหล่งต่างๆ.....	6
2-2	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากแหล่งต่างๆ.....	7
3-1	ภาวะการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน ร่วมกับ เมทานอล และร่วมกับแอสซีโทนตามลำดับ.....	45
4-1	สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา.....	49
4-2	ค่าป่านัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังการผลิตเยื่อแบบโซดา....	50
4-3	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตจากวิธีโซดา.....	51
4-4	ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆต่อ สมบัติของเยื่อฟางข้าวและเส้นใย.....	57
4-5	ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อ สมบัติต่างๆของแผ่นทดสอบ.....	58
4-6	สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน.....	59
4-7	ค่าป่านัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน.....	60
4-8	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตจากวิธีโซดา ร่วมกับแอน ทราควิโนน.....	61
4-9	ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆต่อสมบัติ ของเยื่อฟางข้าวและเส้นใย.....	67
4-10	ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้แอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบ.....	68
4-11	สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา ร่วมกับเมทานอล.....	69
4-12	ค่าป่านัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับเมทานอล.....	69
4-13	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตจากวิธีโซดา ร่วมกับเมทา นอล.....	70
4-14	สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา ร่วมกับแอสซีโทน.....	75

ตารางที่	หน้า
4-15	คัปปานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับแอสซีโทน..... 76
4-16	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตจากวิธีโซดาร่วมกับแอสซีโทน 77
4-17	ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณแอสซีโทนที่ระดับต่างๆต่อสมบัติของเยื่อ ฟางข้าวและเส้นใย..... 83
4-18	ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้แอสซีโทนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติต่างๆของแผ่น ทดสอบ..... 84
4-19	สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดาร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน..... 86
4-20	คัปปานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือจากการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน..... 88
4-21	ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดาร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน..... 91
4-22	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตเยื่อแบบวิธีโซดาร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน..... 92
4-23	ผลการวิเคราะห์สถิติการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อสมบัติ ของเยื่อและเส้นใยโดยใช้วิธี SPSS แบบแฟคทอเรียล..... 101
4-24	ผลการวิเคราะห์สถิติการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อ องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อและเส้นใยโดยใช้วิธี SPSS แบบแฟคทอเรียล..... 102
4-25	ผลการวิเคราะห์สถิติการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อสมบัติ แผ่นทดสอบโดยใช้วิธี SPSS แบบแฟคทอเรียล..... 103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ชนิดของเซลล์ในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง.....	9
2-2	โครงสร้างของเส้นใย.....	11
2-3	ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใย.....	12
2-4	โครงสร้างของเซลลูโลส.....	13
2-5	บริเวณส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่เป็นอสัณฐานของเซลลูโลส.....	14
2-6	น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส.....	15
2-7	โครงสร้างลิกนินที่พบในเนื้อไม้ spruce.....	16
2-8	เส้นใยจากต้นสนที่ได้จากการผลิตเยื่อเชิงกลแบบหินบด.....	18
2-9	เส้นใยจากไม้เนื้อแข็งที่ได้จากการผลิตเยื่อเชิงเคมีแบบต่าง.....	20
2-10	ลักษณะการทำปฏิกิริยาของแอนทราควิโนน.....	24
3-1	เครื่องต้มเยื่อ (autoclave digester).....	35
3-2	เครื่องบดเยื่อ (valley beater).....	36
3-3	เครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ (freeness tester).....	37
3-4	เครื่องวัดสัณฐานวิทยาของเส้นใย (FQA).....	38
3-5	เครื่องขึ้นแผ่นทดสอบ.....	39
3-6	ลักษณะของการตัดแผ่นทดสอบเพื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงต่างๆ.....	40
3-7	เครื่องวัดความหนา.....	41
3-8	เครื่องวัดความเรียบ.....	41
3-9	เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของแผ่นทดสอบ (Color Touch PC).....	42
3-10	เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง.....	43
3-11	เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก.....	43
3-12	ภาวะที่ใช้ในการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร.....	46

ภาพที่	หน้า
4-1 ผลของปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	51
4-2 ผลของปริมาณปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	52
4-3 ผลของปริมาณปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	53
4-4 ผลของปริมาณปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	54
4-5 ผลของปริมาณปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	55
4-6 ผลของปริมาณปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	56
4-7 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	61
4-8 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	62
4-9 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	63
4-10 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	64
4-11 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	65
4-12 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	66
4-13 ผลของปริมาณเมทานอลต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	70

ภาพที่		หน้า
4-14	ผลของปริมาณเมทานอลต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	71
4-15	ผลของปริมาณเมทานอลต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	72
4-16	ผลของปริมาณเมทานอลต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	73
4-17	ผลของปริมาณเมทานอลต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว	74
4-18	ผลของปริมาณเมทานอลต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว...	74
4-19	ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว..	77
4-20	ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	78
4-21	ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	79
4-22	ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	80
4-23	ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว..	81
4-24	ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว....	82
4-25	ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	90
4-26	ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	93
4-27	ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	95
4-28	ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	96
4-29	ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	97
4-30	ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้กระดาษมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตกระดาษ คือ การใช้พืชไม่มีเนื้อไม้ (non woody plant) เนื่องจากมีระยะเวลาในการปลูกสั้น การใช้พืชไม่มีเนื้อไม้เป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือจากเกษตรกรรมและยังช่วยทดแทนการใช้ไม้ที่กำลังขาดแคลนอยู่ในปัจจุบัน ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกข้าวมากถึงประมาณ 61 ล้านไร่ หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ฟางซึ่งเป็นเศษเหลือที่ได้จากการปลูกข้าว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเกษตรกรมักนำฟางที่เหลือใช้เหล่านี้ไปเป็นอาหารสัตว์บ้าง นำไปเผาเพื่อเอาพลังงานบ้าง หรือสุดท้ายคือการนำไปเผาทิ้ง ซึ่งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์และยังสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย กอปรกับในปัจจุบันการใช้กระดาษเพิ่มสูงขึ้นทำให้โรงงานอุตสาหกรรมมีความต้องการวัตถุดิบในการผลิตเพิ่มขึ้นตาม โดยปัจจุบันวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษคือ ไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งพื้นที่ในการปลูกมีจำกัด แต่ความต้องการใช้ไม้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความพยายามหาแหล่งเส้นใยใหม่ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณวัตถุดิบในการผลิตเยื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ ฟางข้าวจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นเยื่อและกระดาษ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ฟางข้าวมีศักยภาพสามารถนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษได้ เพราะเยื่อจากฟางข้าวมีความใกล้เคียงกับเยื่อใยสั้น งานวิจัยนี้จึงนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรที่สามารถหาได้ตลอดทั้งปีในประเทศไทย มาทดลองผลิตเป็นกระดาษโดยใช้วิธีการผลิตเยื่อแบบโซดา ซึ่งเป็นการผลิตเยื่อที่ให้ผลดีต่อพืชไม่มีเนื้อไม้ และใช้การผลิตเยื่อแบบโซดาดัดแปร ที่มีการใช้สารละลายอินทรีย์อื่นๆ ได้แก่ เมทานอล ซึ่งช่วยทำให้การแทรกซึมของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเยื่อดีขึ้น แอซีโทน ซึ่งช่วยทำให้ผลผลิตของเยื่อสูงขึ้น รวมถึงแอนทราควิโนน ซึ่งเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยากำจัดลิกนินจากผนังเซลล์และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาฟีลลิง (peeling reaction) ของคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โดยนำผลที่ได้จากการผลิตเยื่อและขึ้น

แผ่นกระดาษในแต่ละสภาวะมาเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้ เพื่อหาภาวะที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตเยื่อฟางข้าวและเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของสารเคมีดังกล่าวที่มีต่อประสิทธิภาพของการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เปรียบเทียบผลของแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตเยื่อแบบกระดาษจากฟางข้าว และสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการผลิตเยื่อวิธีโซดา (soda pulping) จากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นการทดลองควบคุมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง อัตราส่วนระหว่างของเหลวต่อของแข็ง (liquor to wood ratio, L:W) คือ 13 ต่อ 1 ต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที นำเยื่อที่ผลิตได้มาทำการบดเยื่อ (beating) จนได้ค่าสภาพระบายได้ 300-350 มิลลิลิตร จากนั้นนำเยื่อที่ผ่านการบดเยื่อของแต่ละระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาทำการขึ้นแผ่นทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน 60 กรัมต่อตารางเมตร ทำการทดสอบสมบัติของเยื่อและแผ่นทดสอบต่างๆ แล้วเลือกภาวะที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

1.3.2 ทำการผลิตเยื่อวิธีโซดาดัดแปร (modified soda pulping) จากฟางข้าว โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลองตามข้อ 1.3.1 และเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนในปริมาณต่างๆ กัน ดังนี้ ทำการเติมแอนทราควิโนนในปริมาณร้อยละ 0, 0.1 และ 0.2 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง เติมเมทานอลในปริมาณร้อยละ 0 และ 20 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเยื่อ และเติมแอสซีโทนในปริมาณร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเยื่อ โดยในการต้มเยื่อนี้ใช้ภาวะในการต้มเยื่อคือ เวลาและอุณหภูมิ รวมถึงอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง เช่นเดียวกับการทดลองตามข้อ 1.3.1 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนที่มีต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้จากวิธีโซดาดัดแปร และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองการผลิตเยื่อจากวิธีโซดาตามข้อ 1.3.1

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวแบบวิธีโซดาและแบบวิธีโซดาตัดแปรรวมถึงหาปริมาณการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดาและหาปริมาณการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทนที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร่วมกันเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อและแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากวิธีโซดาและแบบวิธีโซดาตัดแปรร่วมกัน

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

กระบวนการผลิตเยื่อ (pulp) เป็นกระบวนการที่พยายามแยกเส้นใยออกจากชิ้นไม้ให้เป็นเส้นใยเดี่ยวๆ (individual fiber) ให้เหมาะสมต่อการผลิตกระดาษ อาจทำได้ 2 วิธี คือ การละลายลิกนินออกจากเนื้อไม้โดยใช้สารเคมี ซึ่งเรียกกระบวนการผลิตเยื่อแบบนี้ว่า การผลิตเยื่อแบบเคมี (chemical pulping) หรือ การใช้แรงกลทำให้ลิกนินอ่อนตัวแล้วแยกเส้นใยออกเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ซึ่งเรียกการผลิตเยื่อแบบนี้ว่า การผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping)

กระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดา (soda pulping) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมีแบบดั้งเดิม โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อ ส่วนมากนิยมใช้ในการผลิตเยื่อจากพืชที่ไม่ให้เนื้อไม้และไม้เนื้อแข็งบางชนิด

กระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร่วมกัน (modified soda pulping) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีหลักในการต้มเยื่อ แต่จะมีการเติมสารเคมีชนิดอื่นลงไปเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการผลิตเยื่อให้ดีขึ้น ตัวอย่างสารเคมีที่เติม เช่น แอนทราควิโนน เมทานอล แอสีโทน เป็นต้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเพิ่มผลผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว และปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้จากการใช้แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1.7.1 ค้นหาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.7.2 ศึกษาวิธีการและเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี

- 1.7.3 ผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว เพื่อเป็นการทดลองควบคุม
- 1.7.4 ผลิตเยื่อแบบโซดาร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน
- 1.7.5 ทดสอบสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้
- 1.7.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง
- 1.7.7 เรียบเรียงเนื้อหา เขียนวิทยานิพนธ์และส่งผลงานเผยแพร่

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ในอดีตการทำกระดาษจะใช้พืชไม่มีเนื้อไม้ (non woody plant) เช่น ลิ้นจี่ หนุ่ย ต้นกก เป็นต้น เป็นวัตถุดิบในการผลิต ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตเยื่อทั้งแบบเคมีและเชิงกลมากขึ้น ทำให้เริ่มเปลี่ยนจากการใช้พืชแบบไม่มีเนื้อไม้เป็นวัตถุดิบ มาเป็นใช้พืชมีเนื้อไม้ (woody plant) เพิ่มมากขึ้นจนเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ทั่วโลก ทำให้ปริมาณการผลิตเยื่อและกระดาษเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้พืชมีเนื้อไม้มีจำนวนลดลงและมีใช้อย่างจำกัดในบางประเทศ พืชไม่มีเนื้อไม้จึงกลับมาเป็นที่สนใจอีกครั้ง เพราะนอกจากสามารถเข้ามาแก้ปัญหาในเรื่องการขาดแคลนไม้และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้แล้ว พืชไม่มีเนื้อไม้ยังเป็นพืชที่ให้เส้นใยเซลลูโลสที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเยื่อและกระดาษอีกด้วย โดยฟางข้าวเป็นหนึ่งในพืชไม่มีเนื้อไม้ที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเยื่อและกระดาษ เนื่องจากเยื่อที่ได้จากฟางข้าวมีลักษณะใกล้เคียงกับเยื่อใยสั้น และการนำฟางข้าวมาผลิตเป็นเยื่อและกระดาษยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือทางการเกษตรได้ด้วย

2.2 ข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของโลก ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวอันดับต้นๆ และมีการส่งออกข้าวมากที่สุดในโลกอย่างต่อเนื่องยาวนาน ด้วยสัดส่วนการส่งออกคิดเป็นร้อยละ 36 ของโลก [1] โดยข้าวซึ่งเป็นธัญญาหารหลักของโลก จัดเป็นพืชสายพันธุ์เดียวกับหนุ่ย โดยข้าวนับเป็นหนุ่ยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก มีความหลากหลายทางชีวภาพ สามารถปลูกขึ้นได้ง่าย มีความทนทานต่อทุกสภาพภูมิประเทศ ในประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกข้าวประมาณ 61 ล้านไร่ จึงทำให้มีฟางข้าวรวมทั้งส่วนที่เป็นตอซังไม่น้อยกว่า 40 ล้านตัน โดยนาในแต่ละไร่จะให้ฟางข้าวมากมายต่างกันไปขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และลักษณะประจำพันธุ์ของพันธุ์ข้าว แต่โดยทั่วไปจากการสำรวจนาหนึ่งไร่จะมีฟางประมาณ 0.32-1.60 ตันต่อหนึ่งฤดูปลูก [2]

2.2.1 การจำแนกสายพันธุ์ของข้าว

สายพันธุ์ของพืชตระกูลข้าวที่เป็นที่รู้จักและสามารถนำมาปลูกได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) แพร่กระจายอยู่เฉพาะบริเวณเขตร้อนของ

แอฟริกา และข้าวเอเชีย ซึ่งเป็นข้าวลูกผสมเกิดจาก *Oryza Savita* L. กับข้าวป่า มีถิ่นกำเนิดบริเวณประเทศอินเดีย บังคลาเทศ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชีย ข้าวจากทวีปเอเชียแบ่งเป็น 3 สายพันธุ์ [3, 4] ตามลักษณะและพื้นที่เพาะปลูกได้ดังนี้

2.2.1.1 ข้าวอินดิกา (Indica) หรือข้าวเจ้า เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว รี ลำต้นสูง ตั้งชื่อมาจากแหล่งที่ค้นพบครั้งแรกในประเทศอินเดีย เป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกในเขตร้อนตั้งแต่ จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย ไปจนถึงอินเดียและศรีลังกา เฉพาะในเมืองไทย ข้าวอินดิกา นิยมเพาะปลูกในบริเวณที่ราบลุ่มตอนใต้ของแม่น้ำเจ้าพระยา

2.2.1.2 ข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวเหนียวเมล็ดป้อมกลมรี มีแหล่งกำเนิดจากภาคเหนือ แล้วผ่านมาทางลุ่มแม่น้ำโขง หลังจากนั้นเริ่มแพร่หลายในเขตอบอุ่นที่ญี่ปุ่น เกาหลี รัสเซีย ยุโรป และอเมริกา

2.2.1.3 ข้าวจาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวลักษณะเมล็ดป้อมใหญ่ สันนิษฐานว่าเป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวอินดิกาและจาปอนิกา นิยมเพาะปลูกในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน หมู่เกาะริวกิว และญี่ปุ่น แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมนักเพราะให้ผลผลิตต่ำ

2.2.2 ลักษณะทั่วไปของเส้นใยและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ฟางข้าวมีโครงสร้างลักษณะยืดหยุ่น และเป็นท่อ โดยเส้นใยจากฟางข้าวมีขนาดความยาวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.5-1.5 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเป็นเส้นใยขนาดสั้น มีความกว้างของเส้นใยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8-11 ไมโครเมตร [5] ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยจากแหล่งต่างๆ [5]

แหล่งที่มาของเส้นใย	ความยาวเฉลี่ยของเส้นใย	
	(มิลลิเมตร)	(ไมโครเมตร)
ฟางข้าว (rice straw)	0.5-1.5	8-11
ไม้เนื้อแข็งเขตร้อน (tropical hardwood)	0.7-2.5	20-30
ยูคาลิปตัส (eucalyptus)	0.9-1.8	20-30
สน (pine)	2.7-4.6	30-45

ในส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว นั้น พบว่าฟางข้าวมีปริมาณ เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 41.2 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 21.9 และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 19.5 ดังแสดงในตารางที่ 2-2 ซึ่งในเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาล จำพวกไซโลส และพบว่าฟางข้าวมีปริมาณซิลิกาสูงเมื่อเทียบกับเส้นใยจากพืชชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากแหล่งต่างๆ [6, 7]

แหล่งที่มาของเส้นใย	ปริมาณเซลลูโลส (%)	ปริมาณลิกนิน (%)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (%)
ไม้เนื้ออ่อน (softwood)	41-46	26-31	25-32
ไม้เนื้อแข็ง (hardwood)	42-49	20-26	23-34
ฟางข้าว (rice straw)	41.2	21.9	19.5

2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของเยื่อจากฟาง

คำว่าฟางในที่นี้ใช้เพื่ออธิบายพืชไม่มีเนื้อไม้ ซึ่งมีลำต้นหรือก้านที่ได้มาจาก ธัญพืช (grain crops) หลังการเก็บเกี่ยว ที่สามารถนำไปผลิตเป็นเยื่อได้ ได้แก่ ข้าว (rice) ข้าวสาลี (wheat) ข้าวไร้ (rye) และข้าวบาร์เลย์ (barley) ซึ่งเมื่อนำมาผลิตเป็นเยื่อจะให้ผลผลิตเยื่อ ค่อนข้างสูง ปริมาณลิกนินค่อนข้างต่ำ และมีอัตราการระบายน้ำต่ำ (drainage rates) [8]

2.2.3.1 ข้อดีของเยื่อจากฟาง (straw pulp) : ฟางเป็นเศษเหลือทางการเกษตรซึ่ง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายและมีราคาถูกกว่าพืชมีเนื้อไม้ มีการเพาะปลูกหลายครั้ง ในรอบปี ปลูกเป็นบริเวณกว้างและใช้ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสั้น เพราะฉะนั้นทำให้ได้วัตถุดิบ เป็นปริมาณมาก คือ ประมาณ 1- 10 ตันต่อเอเคอร์ต่อปี ฟางส่วนใหญ่พร้อมจะนำมาผลิตเป็นเยื่อ และฟอกได้ง่ายเนื่องจากมีลิกนินอยู่น้อย จึงใช้เวลาในกระบวนการผลิตสั้น นอกจากนี้เยื่อที่ผลิตได้ ยังต้องการการบดเยื่อ (refining) เพียงเล็กน้อยก่อนทำกระดาษ เยื่อจากฟางเหมาะกับการผลิต กระดาษที่ไม่ต้องการความแข็งแรงที่สูงมากนัก โดยเยื่อฟางฟอกแล้ว (bleached straw pulp) ให้ ค่าความเรียบ (smoothness) การฟอร์มตัวของแผ่นกระดาษ (formation) และการเขียน (writing) หรือการพิมพ์ (printing) ที่ดี เยื่อฟางข้าวแบบเชิงกลกึ่งเคมี (semichemical straw pulp) เหมาะ กับการนำไปผลิตลอนลูกฟูกที่ให้คุณภาพสูง

2.2.3.2 ข้อเสียของเยื่อจากฟาง : ฟางมีความฟาม ทำให้การขนส่งและการเก็บมีปัญหา โดยทั่วไปการขนส่งฟางจะมีราคาสูงกว่าการขนส่งไม้ พื้นที่ในการเก็บฟางเป็นอีกหนึ่งปัญหา เนื่องจากฟางถ้าได้รับความชื้นจะมีความไวต่อเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ทำให้ฟางจำเป็นต้องเก็บไว้ในที่ร่ม เพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับความชื้นจากดินฟ้าอากาศ จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เส้นใยจากฟางจะสั้นกว่าเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน และมีแนวโน้มว่าเยื่อจากฟางมีการระบายน้ำช้า ซึ่งจะไปลดอัตราความเร็วของเครื่องจักรในกระบวนการล้าง (washing) และเอาน้ำออก (dewatering) ของการผลิตและการฟอกเยื่อในโรงงานอุตสาหกรรม ฟางส่วนใหญ่จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง เมื่อทำการผลิตเยื่อโดยวิธีแบบต่าง เช่น การผลิตแบบโซดาหรือคราฟต์ จะทำให้ซิลิกาละลายออกมาในน้ำต้มเยื่อ (pulping liquor) และเกิดการสะสมเป็นตะกอนในเครื่องมือการนำน้ำจากการต้มเยื่อกลับมาใช้ใหม่ได้

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษส่วนใหญ่ได้มาจากเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช ทั้งที่เป็นไม้ยืนต้นและไม้ล้มลุก โดยแหล่งเส้นใยที่ได้ส่วนใหญ่มาจากเนื้อไม้ แต่บางส่วนอาจไม่ได้มาจากเนื้อไม้ เช่น จากส่วนของใบ ผล หรือจากลำต้นของพืชที่ไม่มีเนื้อไม้ได้เช่นกัน ดังนั้นอาจแบ่งเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษออกเป็น 2 ประเภทคือ เส้นใยที่ได้มาจากเนื้อไม้และเส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ ดังนี้

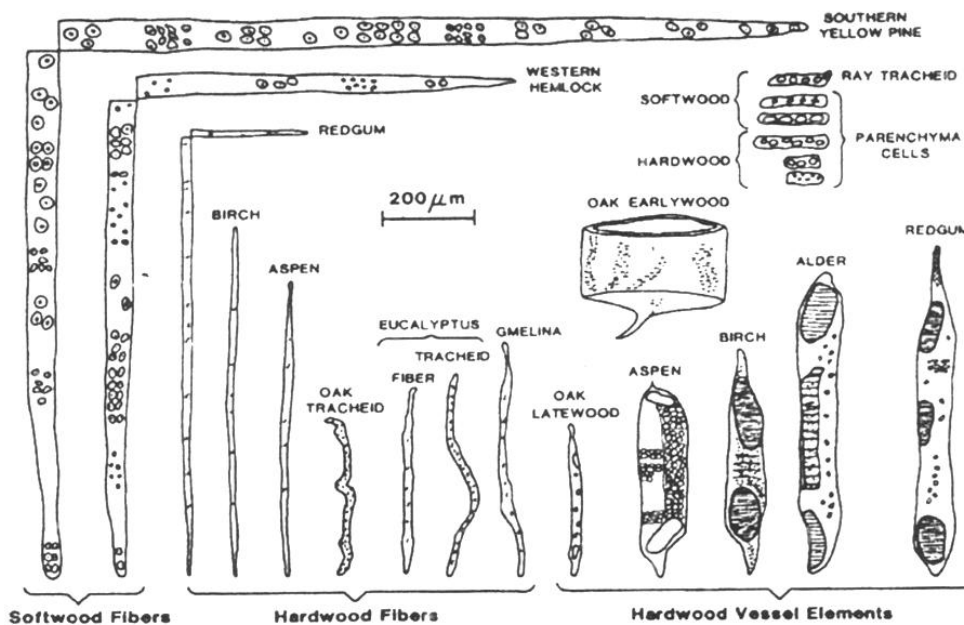
2.3.1 เส้นใยที่ได้จากพืชที่มีเนื้อไม้

เป็นเส้นใยที่ได้มาจากเนื้อไม้ (wood) ของพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ในกลุ่มของพวกไม้สน (conifers) และเนื้อไม้ของพืชดอก (angiosperms) ในกลุ่มของพวกพืชใบเลี้ยงคู่ (dicotyledons) โดยที่เนื้อไม้ คือ ส่วนของเนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำ (xylem tissue) ซึ่งเกิดจากแคมเบียม (cambium) ที่พืชมีเนื้อไม้ (woody plant) สร้างขึ้นมาเป็นจำนวนมาก [8-10] ในทางอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแบ่งประเภทเนื้อไม้ออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (softwood) เป็นไม้ในกลุ่มของพืชเมล็ดเปลือยในกลุ่มของพวกไม้สน เป็นต้นไม้ที่ลักษณะใบเหมือนรูปเข็ม เป็นไม้ที่ไม่มีการผลัดใบ มีมากในแถบประเทศเขตร้อน มีการเจริญเติบโตช้า เช่น สนสองใบ สนสามใบ ต้มเฮมล็อค (hemlock) เซลล์ที่พบในเนื้อไม้ในกลุ่มของไม้เนื้ออ่อนซึ่งเป็นพวกสนนั้น คือ เทรคีด (tracheid) เซลล์พาเรนไคมา (parenchyma cell) และ เรซินเซลล์ (resin cell) ดังแสดงในภาพที่ 2-1 โดยทั่วไปเตรคีดจะมีอยู่

ประมาณร้อยละ 90-95 ของปริมาตรเนื้อไม้ มีหน้าที่ลำเลียงน้ำและให้ความแข็งแรงแก่ต้นไม้อีก ลักษณะของเทรคีดมีลักษณะเซลล์ค่อนข้างผอม ยาว หัวท้ายเซลล์ไม่มีรูท่จะดู มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 2.5-7.0 มิลลิเมตร มีความกว้างประมาณ 25-60 ไมโครเมตร ส่วนเซลล์พาเรนไคมา และเรซินเซลล์จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 5-10 และร้อยละ 0.5-1.0 ของปริมาตรเนื้อไม้ ตามลำดับ เติบโตที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนจะมีลักษณะของโครงสร้างที่สม่ำเสมอ เซลล์ในเนื้อไม้โดยภาพรวมส่วนใหญ่จะมีลักษณะของเซลล์ยาว ตรง ความแข็งแรงสูง ทำให้ขึ้นตอนหรือกระบวนการจัดการต่างๆ เกี่ยวกับเนื้อไม้ทำได้ง่าย จึงนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

2.3.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เป็นเนื้อไม้ของพืชดอกในกลุ่มของพวกพืชใบเลี้ยงคู่ ตัวอย่างของไม้เนื้อแข็ง เช่น ต้นยูคาลิปตัส ต้นกระถินเทพา ต้นกระถินณรงค์ เป็นต้น ต้นไม้พวกนี้จะมีลักษณะใบกว้างและมีการผลัดใบในฤดูใบไม้ร่วง มีการเจริญเติบโตค่อนข้างรวดเร็ว ในกลุ่มของไม้เนื้อแข็งจะพบเซลล์หลายชนิดมากกว่าในไม้เนื้ออ่อน ดังแสดงในภาพที่ 2-1 ได้แก่ เซลล์เวสเซล (vessel element) ไฟเบอร์เทรคีด (fiber tracheid) ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ (libriform fiber) เรย์เซลล์ (ray cell) และพาเรนไคมาเซลล์ (parenchyma cell)



ภาพที่ 2-1 ชนิดของเซลล์ในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง [11]

ในไม้เนื้อแข็งพวกเซลล์เส้นใยจะมีหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ลำต้น ส่วนการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจะเป็นหน้าที่ของเวสเซล ไม้เนื้อแข็งจะมีเส้นใยอยู่ประมาณร้อยละ 36-70 มีเวสเซลอยู่ร้อยละ 20-55 มีเรย์เซลล์อยู่ร้อยละ 6-20 และมีพาเรนไคมาอยู่ร้อยละ 2 ของปริมาตรเนื้อไม้ เส้นใยของไม้เนื้อแข็งจะมีความยาวประมาณ 0.9-1.5 มิลลิเมตร ส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้จากไม้เนื้อแข็งมีความแข็งแรงต่ำกว่าไม้เนื้ออ่อน แต่จะมีความเรียบเนียนมากกว่ากระดาษที่ผลิตได้จากเส้นใยของไม้เนื้ออ่อน

2.3.2 เส้นใยที่ได้มาจากพืชที่ไม่มีเนื้อไม้

ประมาณ 10% ของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษในแต่ละปีมาจากเส้นใยจากพืชที่ไม่มีเนื้อไม้ ได้แก่ ฝ้าย (cotton) ฟาง (straw) หญ้า (grasses) และ ปอ (hemp) ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายประเทศที่ปริมาณการผลิตเยื่อไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน เพราะไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งซึ่งเป็นแหล่งเส้นใยหลักในการผลิตเยื่อและกระดาษลดลง พืชที่ไม่มีเนื้อไม้ที่ใช้ในการผลิตกระดาษสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ [8, 11] ดังนี้

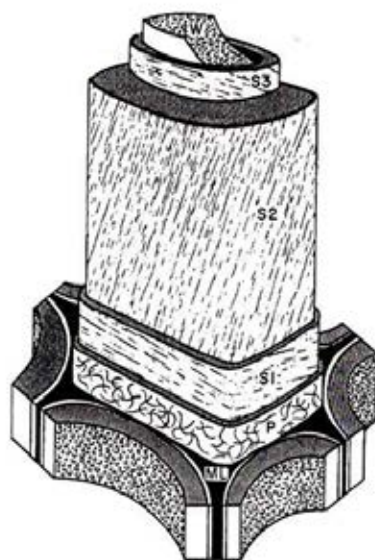
2.3.2.1 เศษเหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรมทางการเกษตร (agricultural and agro-industrial waste) ได้แก่ ฟางข้าว ฟางของธัญพืช กากอ้อย

2.3.2.2 พืชล้มลุกที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ ต้นไผ่ หญ้าต่างๆ ต้นกก ต้นอ้อ

2.3.2.3 พืชล้มลุกที่มีการเพาะปลูกรวมถึงเส้นใยที่ได้จากใบ ได้แก่ ปอสา ลินิน ป่าน ฝ้าย

2.4 โครงสร้างของเส้นใย

เส้นใยของพืชมีลักษณะเรียวยาวหัวท้ายปิด ลักษณะของเส้นใยแปรผันตามอัตราการเจริญเติบโตและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ภูมิประเทศ และลักษณะของดิน เป็นต้น โครงสร้างของเส้นใยมีการแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้นหลักๆ คือ ชั้นมิดเดิลลามেলা (middle lamella) ชั้นผนังเซลล์ (cell wall) และ ลูเมน (lumen) [6] ดังแสดงในภาพที่ 2-2 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของเส้นใย [12]

2.4.1 ชั้นมิดเดิลลามেলা (middle lamella, ML)

เป็นชั้นบริเวณนอกสุดของเส้นใย ประกอบด้วยลิกนิน (lignin) เป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่ในการเชื่อมเส้นใยเข้าด้วยกัน เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นใยและไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ [6]

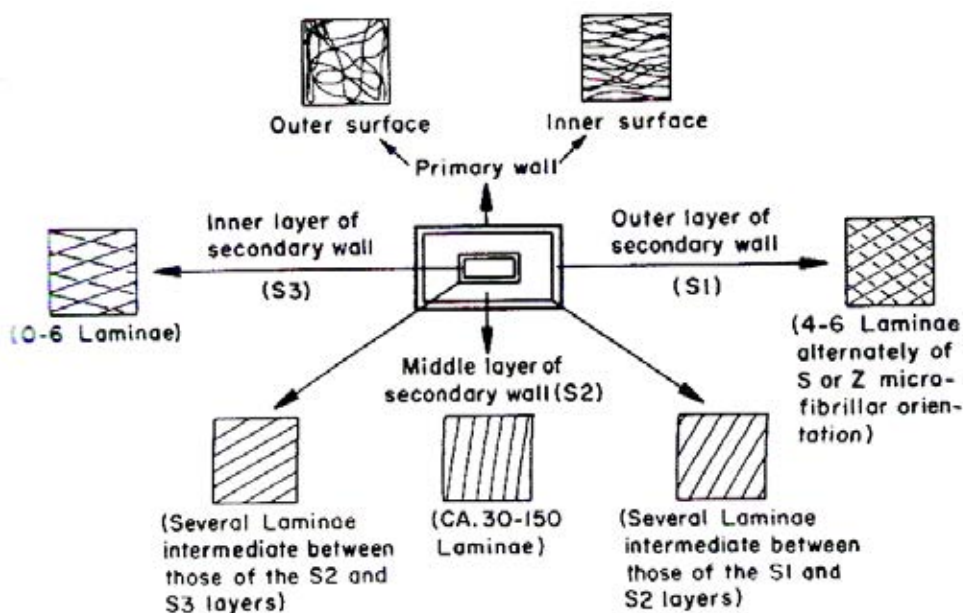
2.4.2 ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใย (cell wall)

เป็นส่วนของผนังเซลล์ที่แท้จริงแบ่งได้เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall, P) และชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall, S)

2.4.2.1 ชั้นผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall, P) เป็นชั้นที่มีผนังบาง ประกอบด้วยเส้นใยขนาดย่อย (microfibrils) ซึ่งเป็นมัดโมเลกุลของเซลลูโลส มีการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous) [6]

2.4.2.2 ชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall, S) เป็นชั้นที่ประกอบไปด้วยเส้นใยขนาดย่อย (microfibril) เป็นหลัก เมื่อพิจารณาเส้นใยแล้วจะพบว่าชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิเป็นชั้นที่หนาที่สุด และยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้น S_1 , ชั้น S_2 และ ชั้น S_3 ตามการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อย โดยชั้น S_1 และ S_3 มีขนาดบางและการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยจะเรียงตัวตามแนวอนเมื่อเทียบกับแกนของเซลล์ ส่วนชั้น S_2 เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด เป็นพื้นที่

ประมาณ 80-90% ของผนังเซลล์ของเส้นใย ดังนั้นสมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยจึงขึ้นกับโครงสร้างในชั้น S₂ ส่วนการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยจะเอียงทำมุมกับแกนของเซลล์ [6, 12] ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ชั้นผนังเซลล์ของเส้นใย [12]

2.4.3 ลูเมน (lumen)

มีลักษณะเป็นท่ออยู่ใจกลางของเส้นใย โดยอยู่ถัดจากผนังเซลล์เส้นใยชั้นที่ 2 หรือ 3 เข้าไป ลูเมนจะเป็นบริเวณที่ให้สารเคมีในกระบวนการต้มเยื่อซึมเข้ามาทำปฏิกิริยากับเส้นใย

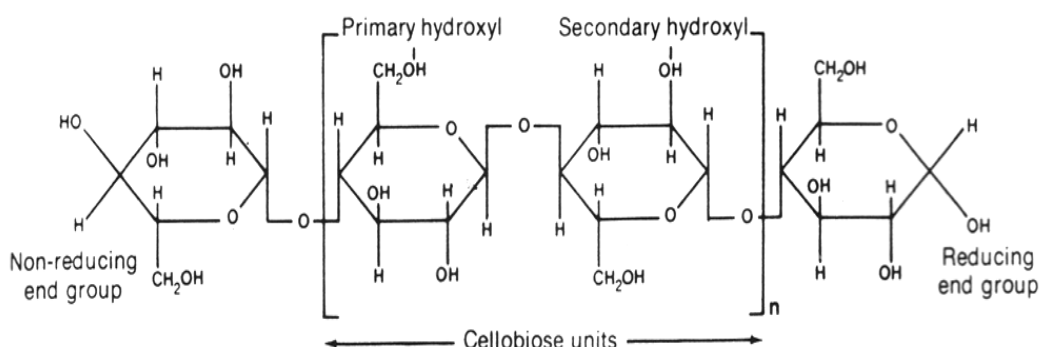
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

องค์ประกอบหลักทางเคมีของเนื้อไม้ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.1 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน และยังเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ชนิดหนึ่งด้วย เนื่องจากประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก สูตรทางเคมีของเซลลูโลส คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดย n เป็นจำนวนของหน่วยน้ำตาลที่ซ้ำกันหรือความยาวของสายโซ่เซลลูโลส (degree of polymerization, DP) โดยค่าของ n จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันของเซลลูโลส ในการทำกระดาษส่วนใหญ่เส้นใยจะมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยของความยาวของสายโซ่เซลลูโลสที่ 600-1500

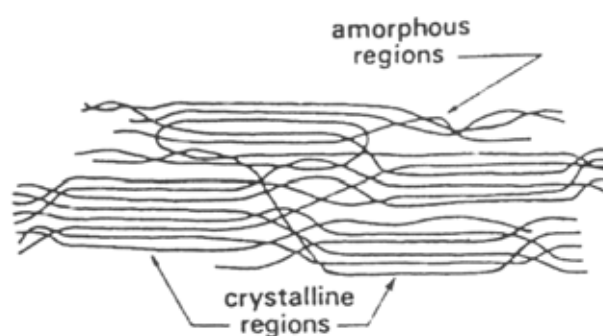
หน่วยน้ำตาลกลูโคสในเซลลูโลสจะมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า-(1-4) ไกลโคซิดิก (β -1,4 glycosidic bond) มีสายโซ่เป็นเส้นตรง (linear chain) โมเลกุลของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสโมเลกุลถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 2-4 สำหรับหน่วยย่อยพื้นฐานของเซลลูโลสจะเรียกว่า เซลโลไบโอส (cellobiose) ประกอบไปด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกัน เซลลูโลสบริสุทธิ์จะแตกออกเป็นกลูโคสได้ง่ายภายใต้สภาวะความเป็นกรด [8-10, 12] สมบัติของเซลลูโลสขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่เซลลูโลส การทำให้ความยาวของสายโซ่สั้นลงจะส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง ฉะนั้นในระหว่างการผลิตและฟอกเยื่อควรระวังให้ปฏิกิริยาฟีดลิง (peeling reaction) และปฏิกิริยาการแตกของสายโซ่ (chain cleavage reaction) เกิดน้อยที่สุด



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของเซลลูโลส [12]

โมเลกุลของเซลลูโลสจะมีการเรียงตัวรวมกลุ่มกันเป็นเส้นใยขนาดย่อย (microfibril) โดยบางส่วนจะมีการเรียงตัวแบบเป็นผลึก (crystalline region) คือ โมเลกุลจะมีการจัดเรียงกันอย่างหนาแน่น เป็นระเบียบ ทำให้สารเคมีหรือตัวทำละลายเข้าทำปฏิกิริยาหรือซึมผ่าน

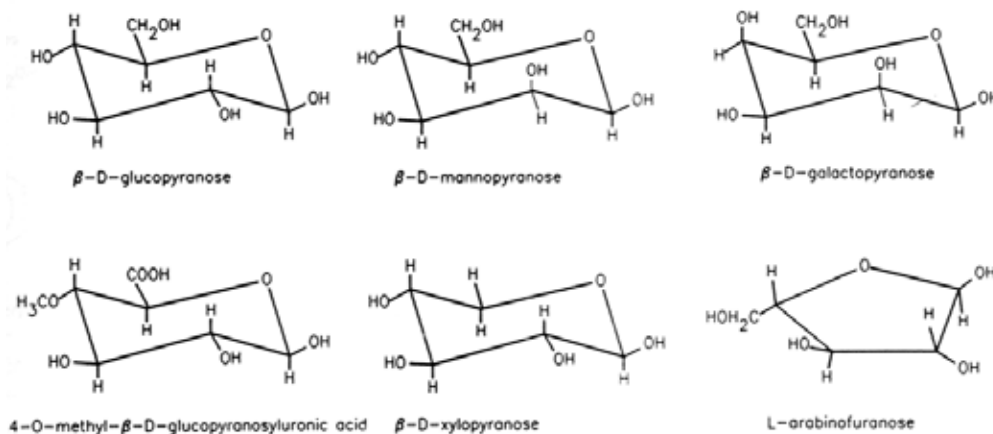
ได้ยาก และบางส่วนของโมเลกุลมีการเรียงตัวแบบอสัณฐาน (amorphous region) คือ มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ ส่งผลให้เกิดการแทรกซึมของตัวทำละลายหรือสารเคมีได้ง่าย [12] ดังแสดงในภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 บริเวณส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานของเซลลูโลส [12]

2.5.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

ในทางตรงข้ามกับเซลลูโลส ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเพียงอย่างเดียว เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 5 ชนิด ได้แก่ กลูโคส (glucose) กาแลกโตส (galactose) แมนโนส (mannose) ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีคาร์บอน 6 อะตอม และไซโลส (xylose) กับอะราบิโนส (arabinose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และอาจมีกรดยูโรนิก (uronic acid) เป็นองค์ประกอบได้เช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-6 เฮมิเซลลูโลสในเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อนจะมีหน่วยแมนโนสและกาแลกโตสเป็นองค์ประกอบมากกว่าหน่วยไซโลส และมีหมู่อะซิไทเลตไฮดรอกซิล (acetylated hydroxyl groups) มากกว่าเส้นใยจากไม้เนื้อแข็ง เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งก้านไม่เหมือนกับเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง มีการเรียงตัวเป็นแบบผลึกน้อย ส่วนมากจะมีการเรียงตัวเป็นแบบอสัณฐาน ส่งผลให้สารเคมีในการต้มเยื่อแทรกซึมเข้าไปได้ง่าย ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงถูกทำลาย (degradation) ได้ง่ายกว่าเซลลูโลส ส่วนความยาวสายโซ่โมเลกุล (DP) ของเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในช่วง 100-200 ต่อเฮมิเซลลูโลส 1 โมเลกุลซึ่งสั้นกว่าเซลลูโลส [8, 12]



ภาพที่ 2-6 น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส [9]

โดยทั่วไปส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย คือ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จะถูกเรียกรวมกันว่าโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) ซึ่งโฮโลเซลลูโลสสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ดังนี้

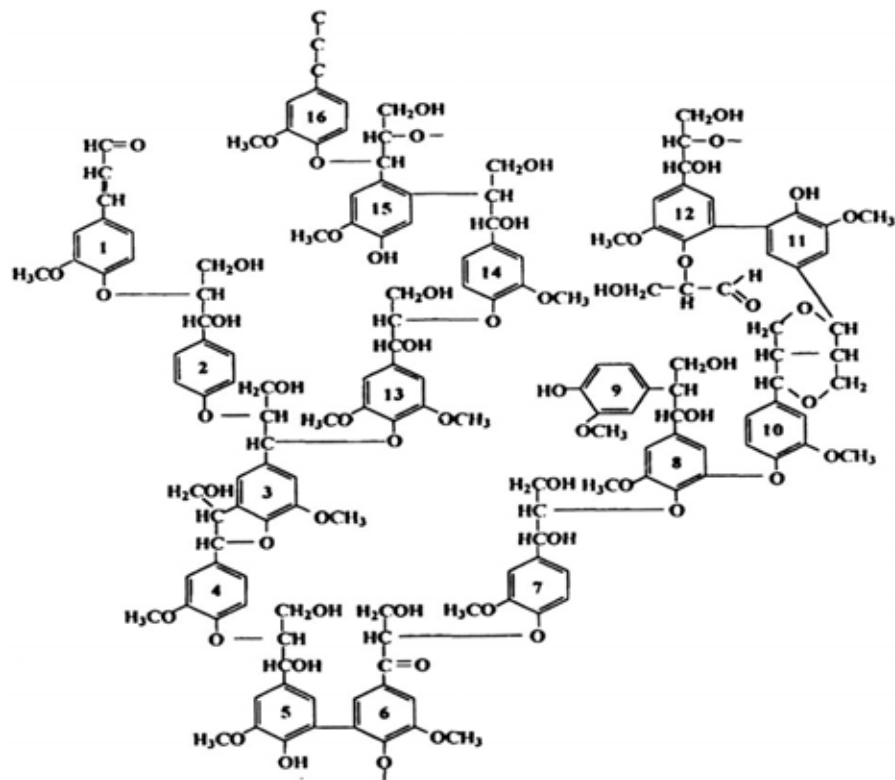
2.5.2.1 แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นส่วนที่เรียกว่าเซลลูโลสที่แท้จริง โดยไม่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้องได้ ในการผลิตเยื่อไม่สามารถแยกแอลฟาเซลลูโลสออกมาได้อย่างบริสุทธิ์ และมักจะมีน้ำตาลแมนแนน (mannan) และกลูโคแมนแนน (glucomannan) ปนด้วยเสมอ เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองตัวนี้ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 เช่นกัน แอลฟาเซลลูโลสจะมีโมเลกุลของกลูโคสหรือ DP ตั้งแต่ 200 หน่วยขึ้นไป

2.5.2.2 เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง และจะตกตะกอนในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด เบต้าเซลลูโลสจึงแยกได้จากส่วนที่ตกตะกอนในต่าง ค่า DP ของเบต้าเซลลูโลสจะอยู่ระหว่าง 100-200 หน่วย

2.5.2.3 แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นเซลลูโลสซึ่งละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 ที่อุณหภูมิห้อง และละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์ ดังนั้นแกมมาเซลลูโลสจึงแยกได้จากส่วนที่เป็นของเหลวในสารละลายต่าง ค่า DP ของแกมมาเซลลูโลสจะต่ำกว่า 10 หน่วย

2.5.3 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินทำหน้าที่เป็นกาวหรือตัวยึดทำให้เส้นใยแต่ละเส้นเชื่อมติดกันและช่วยต้านทานการทำลายของพวกจุลินทรีย์ ลิกนินมีการเรียงตัวแบบอสัญฐานและเป็นสายพอลิเมอร์ที่ซับซ้อนโดยมีกลุ่มไฮดรอกซีฟีนิลโพรเพน (hydroxyl phenylpropane group) เป็นกลุ่มพื้นฐานซึ่งเชื่อมต่อกันแบบสามมิติ ดังแสดงในภาพที่ 2-7 ด้านที่มีพันธะเชื่อมกันระหว่างโพรเพนและวงแหวนเบนซีนจะแตกออกระหว่างการผลิตเยื่อเชิงเคมี ลิกนินเป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ โดยมีประมาณร้อยละ 17-33 ของน้ำหนักเนื้อไม้แห้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ด้วย ลิกนินจะพบอยู่มากที่สุดในบริเวณชั้นมิเดิลลามেলা [6, 12]



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างลิกนินที่พบในเนื้อไม้ spruce [10]

สำหรับการผลิตเยื่อแบบเคมีนั้น ลิกนินเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและจะมีการกำจัดลิกนิน (delignification) ออกจากไม้ เพราะลิกนินเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่ไปขัดขวางการสร้างพันธะของเส้นใยในกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงต่ำ และหากมีปริมาณสูงจะส่งผลให้กระดาษมีสีเหลือง [11]

2.5.4 สารแทรก (extractives)

สารแทรกเป็นสารที่มีความหลากหลาย แทรกอยู่เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ โดยสารแทรกสามารถสกัดได้ทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์ที่เป็นกลาง เช่น ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) แอซีโตน (acetone) เอทานอล (ethanol) เมทานอล (methanol) เป็นต้น ดังนั้น สารตั้งต้นของสารแทรกจึงมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ละลายในสารอินทรีย์ (lipophilic) สารแทรกเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดสี กลิ่น รส ในเนื้อไม้ และบางครั้งยังเป็นแหล่งพลังงาน เช่น ไขมันและขี้ผึ้งของเซลล์ไม้ สารแทรก เช่น เรซิน ยังทำหน้าที่ป้องกันการทำลายไม้ จากจุลินทรีย์หรือแมลง องค์ประกอบของสารแทรกที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของไม้หรือพืช ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารมวลโมเลกุลต่ำและอยู่ภายนอกเซลล์

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ สารแทรกอาจส่งผลเสียต่อกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษได้ เช่น ทำให้ลื่นเปลี่ยนสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อหรือฟอกเยื่อมากขึ้น อาจทำให้เกิดตะกอนตามท่อหรืออุปกรณ์ในระบบการผลิต เกิดฟองมากขึ้นในระหว่างการผลิตเยื่อทำให้เยื่อล้าสอาดยากขึ้น และอาจทำให้เกิดพวกยางเหนียว (stickies) ทำให้กระดาษขาด รบกวนการเดินกระดาษของเครื่องผลิตกระดาษและทำให้กระดาษเสียหายได้

2.6 กระบวนการผลิตเยื่อ (pulping process)

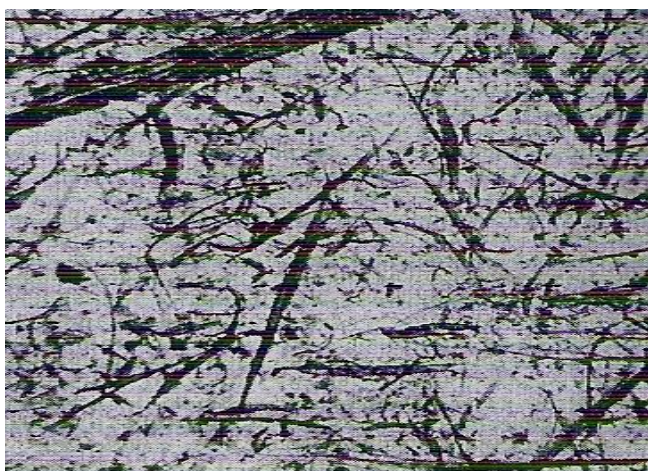
การผลิตเยื่อ คือ กระบวนการที่แยกเส้นใยจากชิ้นไม้ให้กลายเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ (individual fiber) การที่จะทำให้เส้นใยแยกเป็นเส้นเดี่ยวๆ ได้ต้องอาศัยแรงกล ความร้อน และสารเคมี หรือการใช้ร่วมกันทั้งสามอย่าง โดยการแยกเส้นใยนั้นอาจมีการเอาลิกนินออกหรือไม่เอาลิกนินออกจากชิ้นไม้ก็ได้ ทั้งนี้เพื่อนำเส้นใยที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ [12] ปัจจุบัน กระบวนการผลิตเยื่อทางการค้าแบ่งได้เป็น 3 กระบวนการใหญ่ๆ ดังนี้

2.6.1 การผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping)

เป็นการที่ใช้แรงกลในการแยกเส้นใยออกเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ โดยอาจมีการใช้ความร้อน ความดันและอาจสารเคมีร่วมในกระบวนการด้วย การผลิตเยื่อเชิงกลให้ผลผลิตเยื่อ (pulp yield) สูงประมาณ 90-95% เนื่องจากไม่มีการกำจัดลิกนินออก กระดาษที่ได้จากเยื่อเชิงกลจะทึบแสงและให้สมบัติทางการพิมพ์ที่ดี แต่กระดาษที่ได้จะมีความอ่อนแอ และกลับมาเป็นสีเหลืองได้

ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับแสง ความร้อน และความชื้น [12,13] เยื่อเชิงกลสามารถแบ่งย่อยตามลักษณะการผลิตได้อีกดังนี้ [13]

2.6.1.1 การผลิตเยื่อแบบหินบด (stone groundwood pulping, SGW) เป็นการบดท่อนไม้โดยอาศัยการหมุนของหินบดเพื่อแยกเส้นใยเดี่ยวๆ ออกมาจากเนื้อไม้ โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างท่อนไม้กับหินบด เส้นใยที่ได้จะมีลักษณะดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 เส้นใยจากต้นสนที่ได้จากการผลิตเยื่อเชิงกลแบบหินบด [12]

2.6.1.2 การผลิตเยื่อแบบจานบด (refiner mechanical pulping, RMP) เป็นการแยกเส้นใยจากชิ้นไม้โดยอาศัยการหมุนของจานบดจากเครื่องบดแบบจาน (disk refiner) ทำให้เกิดแรงเสียดทาน โดยมีทั้งแบบด้านหนึ่งอยู่กับที่อีกด้านหมุน หรือแบบหมุนทั้งสองจานโดยหมุนในทิศตรงข้ามกัน เส้นใยที่ได้จะยาวและแข็งแรงกว่าแบบ SGW

2.6.1.3 การผลิตเยื่อแบบเชิงกลและความร้อน (thermomechanical pulping, TMP) เป็นการพัฒนามาจากการผลิตเยื่อแบบ RMP โดยมีการให้ไอร้อนไปยังชิ้นไม้ภายใต้แรงดันในระยะเวลาสั้นๆ ก่อนเข้าเครื่องบด การให้ไอร้อนจะทำให้ชิ้นไม้อ่อนตัว สามารถบดได้ง่าย เส้นใยที่ผลิตได้จึงมีความยาวมากกว่าการผลิตแบบ RMP และ SGW

2.6.2 การผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมี (semichemical pulping)

เป็นการใช้วิธีการผลิตเยื่อเคมีร่วมกับการผลิตเยื่อเชิงกล โดยใช้สารเคมีเพื่อให้ขึ้นไม้มีการอ่อนตัวหรือละลายลิกนินบางส่วนออก ขึ้นไม้ส่วนที่เหลือจะทำการแยกเส้นใยโดยใช้แรงกล ส่วนมากจะใช้เครื่องบดแบบจานบด จึงทำให้ผลผลิตเยื่อและคุณสมบัติของเยื่อที่ได้อยู่ระหว่างเยื่อแบบเคมีและแบบเชิงกล โดยผลผลิตเยื่อเชิงกลกึ่งเคมีมีค่าประมาณร้อยละ 55-85 ของน้ำหนักขึ้นไม้แห้ง เส้นใยไม่มีความยืดหยุ่น (flexible) เท่ากับเยื่อเคมี แต่มีความยืดหยุ่นมากกว่าเยื่อเชิงกล ส่งผลให้เส้นใยมีการสร้างพันธะได้ดีกว่าจึงทำให้กระดาษที่ผลิตได้มีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อเชิงกล เยื่อเชิงกลกึ่งเคมีจะมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่ค่อนข้างมากและมักจะไม่นิยมนำมาฟอกเยื่อให้มีความขาวสว่างมากนัก เนื่องจากทำให้ขาวได้ยากและสิ้นเปลืองสารเคมี [6, 12]

2.6.3 การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping)

เป็นการใช้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินภายในเนื้อไม้เพื่อละลายลิกนิน ทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน โดยจุดประสงค์ของการผลิตเยื่อเคมี คือ การละลายลิกนินออกแต่ยังคงเหลือเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสไว้ในเส้นใย อย่างไรก็ตามสารเคมีที่ใช้การผลิตเยื่อแม้จะสามารถละลายลิกนินออกได้มากแต่ก็ยังละลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนออกมาด้วย ส่งผลให้ผลผลิตเยื่อที่ได้จากวิธีนี้มีค่าประมาณ 40-50% เยื่อเคมีที่ผลิตได้ให้กระดาษมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากเส้นใยจากเยื่อเคมีจะยาวและสมบูรณ์กว่าเส้นใยจากเยื่อเชิงกล สามารถนำไปทำการฟอกเยื่อต่อได้ง่าย เนื่องจากปริมาณลิกนินเหลืออยู่น้อย เยื่อที่ผลิตได้มีโอกาสกลับมาเป็นสีเหลือง (yellowing and brightness reversion) ต่ำกว่าเยื่อที่ผลิตจากเยื่อเชิงกล โดยทั่วไปแล้วการผลิตเยื่อเคมียังสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.6.3.1 การผลิตเยื่อเคมีแบบกรด (acidic pulping)

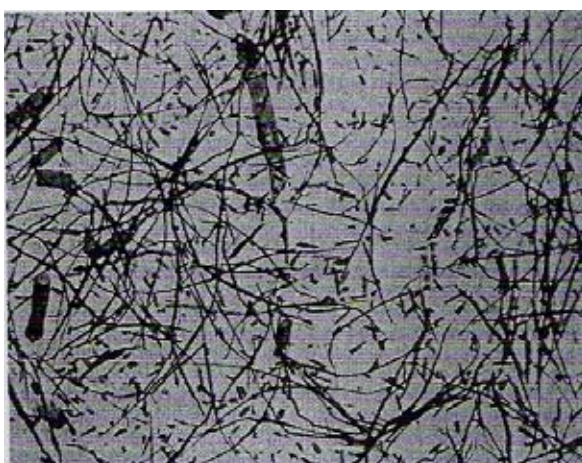
การผลิตเยื่อเคมีแบบกรดหรือเรียกว่ากระบวนการผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์ (sulfite pulping) เป็นการผลิตเยื่อโดยใช้กรดซัลฟิวรัส (sulfurous acid, H_2SO_3) และไอออนไบซัลไฟต์ (bisulfate ion, HSO_3^-) เป็นสารต้มเยื่อในการทำลายและละลายลิกนิน โดยซัลไฟต์เมื่อจับตัวกับลิกนินจะรวมตัวเป็นเกลือของกรดลิกโนซัลโฟนิกที่สามารถละลายในน้ำยาต้มเยื่อ (cooking liquor) ได้ ข้อดีของการผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์ คือ เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูง ง่ายต่อการนำไปฟอกเยื่อ แต่กระดาษมีความอ่อนแอกว่ากระดาษที่ผลิตจากการผลิตเยื่อแบบคราฟต์ [6, 12]

2.6.3.2 การผลิตเยื่อเคมีแบบต่าง (alkaline pulping)

เป็นการใช้ต่างในการต้มเยื่อ ตัวอย่างของการผลิตเยื่อแบบนี้ได้แก่ การผลิตเยื่อแบบโซดา (soda pulping) และการผลิตเยื่อแบบคราฟต์ (kraft pulping) โดยการผลิตเยื่อทั้งสองจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อ แต่ในการผลิตเยื่อแบบคราฟต์จะมีการเติมสารโซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide, Na_2S) ร่วมด้วย การผลิตเยื่อเคมีแบบต่างแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

2.6.3.2.1 กระบวนการโซดา (soda process): เป็นกระบวนการผลิตเยื่อแบบดั้งเดิม โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารต้มเยื่อ เพื่อเข้าไปละลายลิกนินออกจากชิ้นไม้ กระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดามีข้อจำกัดหลายอย่าง จึงเหมาะกับการผลิตเยื่อจากฟางและไม้เนื้อแข็งบางชนิดเท่านั้น โดยอาจมีการเติมสารแอนทราควิโนน (anthraquinone, AQ) ลงไปเพื่อลดการทำลายคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate degradation) [8]

2.6.3.2.2 กระบวนการคราฟต์ (kraft process): การผลิตเยื่อแบบคราฟต์ได้รับการพัฒนามาจากการผลิตเยื่อแบบโซดา โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ในการต้มเยื่อ โดยต่างเหล่านี้จะเข้าไปทำให้โมเลกุลของลิกนินแตกตัวมีขนาดเล็กลง ทำให้ได้เส้นใยเดี่ยวๆ ออกมา ใช้เวลาในการต้มเยื่อน้อย ลดการทำลายคาร์โบไฮเดรต เยื่อที่ได้จากการกระบวนการคราฟต์จะแข็งแรง แต่สีค่อนข้างจะคล้ำเมื่อเทียบกับเยื่อจากกระบวนการผลิตแบบกรด เส้นใยที่ได้จะมีลักษณะดังภาพที่ 2-9 [8, 12]



ภาพที่ 2-9 เส้นใยจากไม้เนื้อแข็งที่ได้จากการผลิตเยื่อเชิงเคมีแบบต่าง [12]

2.7 แนวโน้มการผลิตเยื่อในอนาคต

โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตเยื่อเคมีมีจุดประสงค์เดียวกัน คือ ลดกลิ่นเหม็นซึ่งเกิดจากสารซัลเฟอร์ (sulfur) ในกระบวนการผลิตเยื่อ เนื่องจากก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการดัดแปรการผลิตเยื่อทางเคมีให้มีการลดการใช้สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น แต่ยังคงกำจัดลิกนินและรักษาความแข็งแรงของกระดาษให้คงอยู่หรือดีขึ้น ทำให้มีการคิดค้นการผลิตเยื่อโดยไม่ใช้สารซัลเฟอร์ในกระบวนการผลิต แต่เปลี่ยนเป็นการใช้สารละลายอินทรีย์แทน (solvent based) เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการผลิตเยื่อแบบใช้สารละลายอินทรีย์ (organosolv pulping) และยังมีนักวิจัยได้คิดค้นการผลิตเยื่อด้วยวิธีชีวภาพ (biopulping) ร่วมกับการผลิตเยื่อเชิงกลและเคมีอีกด้วย [12]

2.7.1 กระบวนการผลิตเยื่อแบบใช้สารละลายอินทรีย์ (organosolv process)

2.7.1.1 Alcell process จะใช้เอทานอลและน้ำเป็นสารต้มเยื่อ โดยจะต้มขึ้นไม้ที่อุณหภูมิสูงๆ เพื่อให้หมู่แอซิติล (acetyl group) แตกและรวมตัวกับกรดแอซิติค ซึ่งจะเข้าไปละลายลิกนินในขึ้นไม้ได้ เยื่อที่ได้หากเทียบกับการผลิตเยื่อแบบคราฟต์แล้วพบว่าได้ผลผลิตเยื่อที่สูงกว่า และมีความขาวสว่างมากกว่า [12]

2.7.1.2 Organocell process หรือกระบวนการเมทานอล-แอนทราควิโนน (methanol-AQ process) เหมาะกับทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง สมบัติของเยื่อแข็งแรงเทียบเท่ากับการผลิตเยื่อแบบคราฟต์ [12]

2.7.2 กระบวนการผลิตเยื่อด้วยชีวภาพ (Biopulping)

เป็นการนำขึ้นไม้มาหมักกับเชื้อราภายใต้สภาวะควบคุม แล้วจึงนำไปผลิตเยื่อต่อทั้งแบบเชิงกลและแบบเคมี ซึ่งการผลิตเยื่อด้วยชีวภาพจะช่วยลดพลังงานในการผลิตเยื่อ โดยจากการทดลองพบว่าการนำขึ้นไม้ไปหมักกับเชื้อราเป็นเวลาสองสัปดาห์พบว่าสามารถลดพลังงานในการผลิตได้ถึง 30% ในขณะที่สมบัติด้านอื่นๆ ของเยื่อไม่เปลี่ยนแปลง [12]

2.8 ปฏิกริยาขององค์ประกอบเคมีในเส้นใยในการผลิตเยื่อแบบต่าง

เนื่องจากลิกนินกับคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใย ดังนั้นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นกับลิกนินและคาร์โบไฮเดรตในระหว่างการผลิตเยื่อเคมีแบบต่างเป็นดังนี้

2.8.1 ปฏิกริยาของลิกนิน

ปฏิกริยาของลิกนินในระหว่างการต้มเยื่อนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการกระจายตัวของลิกนินในชั้นผนังเซลล์และชั้นมิดเดิลลาเมลลา ในชั้นของมิดเดิลลาเมลลาประกอบด้วยลิกนินร้อยละ 70-80 แต่เนื่องจากความหนาของชั้นมิดเดิลลาเมลลาแคบกว่าชั้นทุติยภูมิของผนังเซลล์เส้นใย จึงทำให้มีปริมาณลิกนินอยู่ประมาณร้อยละ 20 ของลิกนินที่มีอยู่ทั้งหมดในเนื้อไม้ ส่วนในชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิมีความหนาของชั้นที่มากกว่า จึงทำให้มีปริมาณลิกนินอยู่ประมาณร้อยละ 70-80 ของลิกนินในเนื้อไม้ทั้งหมด ฉะนั้นการทำปฏิกริยาของลิกนินจึงแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณของลิกนินและตำแหน่งที่อยู่ของลิกนิน [6]

โดยทั่วไปแล้วชิ้นไม้ต้องถูกแช่ (impregnation) ด้วยน้ำยาต้มเยื่อก่อนที่จะมีปฏิกริยาดึงเอาลิกนินออก (delignification) จากเนื้อไม้ โดยทฤษฎีแล้วน้ำยาต้มเยื่อจะแทรกซึมไปตามรู (pore) ของผนังเซลล์เส้นใย ดังนั้นน้ำยาต้มเยื่อจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นมิดเดิลลาเมลลาผ่านทางเซลล์ลูเมนและรูของผนังเส้นใย ทำให้ลิกนินที่อยู่ในชั้นของผนังเซลล์ทุติยภูมิถูกละลายก่อนลิกนินที่อยู่ในชั้นมิดเดิลลาเมลลา

การดึงเอาลิกนินออกจากเนื้อไม้ของการผลิตเยื่อแบบkraft แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วง initial delignification, bulk delignification และ residual delignification [6] ดังนี้

2.8.1.1 initial delignification เป็นช่วงของการที่ชิ้นไม้ถูกแช่ด้วยน้ำยาต้มเยื่อก่อนที่จะถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อ ช่วงนี้ลิกนินจะถูกละลายออกมาประมาณร้อยละ 20-25 ของลิกนินทั้งหมด และเป็นช่วงที่ไฮโดรซัลไฟด์ไอออน (hydrosulfide, SH⁻) จากน้ำยาต้มเยื่อถูกดูดซึม ซึ่งไฮโดรซัลไฟด์ไอออนทำหน้าที่สำคัญอยู่ 2 อย่าง คือ ช่วยทำให้การแทรกซึมของสารเคมีดีขึ้นก่อนที่จะเข้าสู่ช่วง bulk delignification และยังช่วยป้องกันการสลายตัวของเซลลูโลสและป้องกันลิกนินเกิดการรวมตัว (condensation) อีกด้วย

2.8.1.2 bulk delignification เป็นช่วงที่มีอัตราการละลายลิกนินออกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงมากกว่า 140 องศาเซลเซียส ทำให้มีลิกนินละลายออกมาได้

ประมาณร้อยละ 70-80 ของลิกนินทั้งหมด การละลายจะเริ่มในชั้นผนังเซลล์ทุติยภูมิ (S_2) ไปยังลิกนินในชั้นมิดเดิลลาเมลลา การละลายลิกนินออกในช่วงนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ไฮดรอกซัลไฟด์ไอออน (SH^-) และอนุหภูมิ อัตราการละลายลิกนินจะสูงขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของไอออนทั้งสองสูง แต่อัตราการละลายลิกนินต่ำลงเมื่อมีความเข้มข้นของการละลายลิกนินเพิ่มขึ้น โดยรวมแล้วอัตราการละลายลิกนินออกจากชั้นไม้จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นไม้คือ ชั้นไม้ที่มีความหนามากกว่าจะส่งผลให้การละลายลิกนินออกจากชั้นไม้ได้ยากกว่าชั้นไม้ที่มีความหนาน้อยกว่า

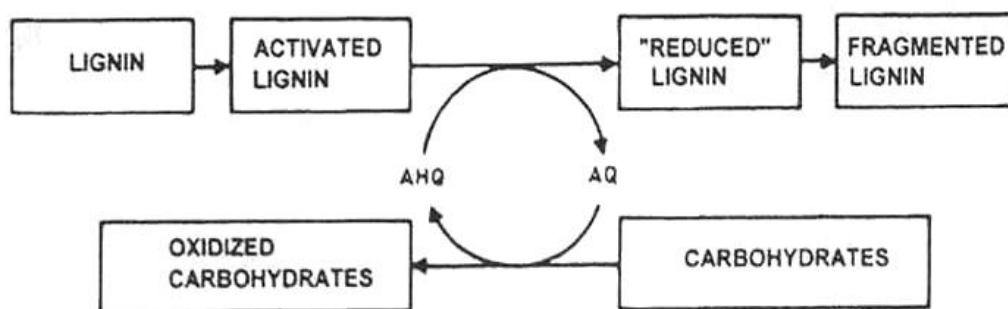
2.8.1.3 residual delignification เป็นช่วงหลังจาก bulk delignification ซึ่งมีการละลายลิกนินออกจากชั้นไม้ไปแล้วร้อยละ 90 ของลิกนินทั้งหมด ทำให้ช่วง residual delignification นี้มีอัตราการละลายลิกนินออกจากชั้นไม้ช้าลง การใช้ปริมาณต่างจนหมดหลังจากการต้มเยื่อจะก่อให้เกิดลิกนินรวมตัวกันอีกครั้ง (lignin condensation) ส่งผลให้ปฏิกิริยาหยุดลง ฉะนั้นควรมีปริมาณต่างบางส่วนเหลือ (residual alkali) หลังปฏิกิริยาการกำจัดลิกนินสมบูรณ์แล้วโดยปกติควรเหลือประมาณ 5-15 กรัมต่อลิตร

2.8.2 ปฏิกิริยาของคาร์โบไฮเดรต

ในกระบวนการผลิตแบบต่างที่มีการใช้อุณหภูมิสูง องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในชั้นไม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง บางส่วนถูกละลายในระหว่างการต้มเยื่อ โดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลส และบางส่วนเกิดปฏิกิริยาฟีดลิงทำให้ความยาวของสายเซลลูโลสสั้นลง การทำลายคาร์โบไฮเดรตมักเกิดในช่วง initial delignification แต่จะมีอัตราลดลงในช่วง bulk delignification และมีอัตราการทำลายเพิ่มอีกครั้งในช่วง residual delignification อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเยื่อแบบต่างที่สำคัญที่สุดคือการเกิดปฏิกิริยาฟีดลิง โดยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตัวสุดท้ายของสายไซโซเซลลูโลสมักถูกละลายออกซึ่งเกิดจากการที่พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) แตกจากกัน ทำให้สายเซลลูโลสสั้นลง โดยทั้งเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสต่างมีความไวต่อปฏิกิริยาดังกล่าวจึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้อลดลง [6, 10]

2.9 แอนทราควิโนน (anthraquinone)

แอนทราควิโนนทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาในการกำจัดสารลิกนินออกจากผนังเซลล์ของเนื้อไม้ได้ดี นอกจากนี้แอนทราควิโนนยังทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาฟิลลิง (peeling reaction) ของคาร์โบไฮเดรตในระหว่างการผลิตเยื่อ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น ในการผลิตเยื่อแบบโซดาและคราฟต์ การทำปฏิกิริยาของแอนทราควิโนนเริ่มจากแอนทราควิโนน ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับคาร์โบไฮเดรตให้เสถียรมากขึ้น โดยแอนทราควิโนน เปลี่ยนเป็นแอนทราไฮโดรควิโนน (anthrahydroquinone, AHQ) ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) กับลิกนิน ทำให้ลิกนินแตกออกเป็นโมเลกุลย่อย แล้วแอนทราไฮโดรควิโนนจะ เปลี่ยนตัวเองกลับมาเป็นแอนทราควิโนนอีกครั้งหนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถลดการใช้แอนทราควิโนนได้ เนื่องจากแอนทราควิโนนมีการทำปฏิกิริยาหมุนเวียนกลับมาใหม่ในขณะที่ต้มเยื่อได้หลายครั้ง [6] ดังแสดงในภาพที่ 2-10 [7] ซึ่งพบว่าการใช้แอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักชิ้นไม้ สามารถทำให้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-3 [8]



ภาพที่ 2-10 ลักษณะการทำปฏิกิริยาของแอนทราควิโนน [6]

2.10 เมทานอล (methanol)

เมทานอลเป็นสารตัวทำละลายอินทรีย์ มักใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อแบบใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ โดยใช้เมทานอลร่วมกับการผลิตเยื่อแบบโซดา คราฟต์ และซัลไฟต์ และมีแนวโน้มที่จะมีการใช้เพิ่มขึ้นในอนาคต เนื่องจากกระบวนการนำเมทานอลกลับมาใช้ได้ใหม่ สามารถทำได้ง่าย โดยวิธีการกลั่น การใส่เมทานอลร่วมเป็นสารต้มเยื่อด้วยนั้นจะทำให้เยื่อที่ผลิตได้มีปริมาณลิกนิน

เหลืออยู่น้อยลง เนื่องจากเมทานอลทำให้การแทรกซึมของสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อดีขึ้น นอกจากนี้เมทานอลยังช่วยป้องกันการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต ส่งผลให้มีผลผลิตเยื่อสูงขึ้น รวมถึงให้สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษใกล้เคียงกับการผลิตเยื่อแบบคราฟต์ นอกจากนี้เมทานอลยังมีราคาถูกกว่าแอลกอฮอล์ตัวอื่นๆ [17, 18]

2.11 แอซีโตน (acetone)

เป็นสารละลายอินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อแบบใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ โดยการใช้อีโตนนั้นช่วยเพิ่มผลผลิตเยื่อ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอซีโตนจะเข้าไปละลายลิกนินได้มากแต่ละลายเฮมิเซลลูโลสน้อย โดยแอซีโตนจะเข้าไปทำให้ลิกนินมีขนาดเล็กลงและเข้าไปทำลายพันธะระหว่างลิกนินกับเซลลูโลส (lignin carbohydrate complex) ดังนั้นเยื่อที่ได้จึงมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่น้อย นำไปฟอกต่อได้ง่าย [19]

2.12 การบดเยื่อ/การตีเยื่อ (refining/beating)

การบดเยื่อเป็นการใช้แรงกลในการปรับสภาพเส้นใย ทำโดยให้น้ำเยื่อที่มีความเข้มข้นสูงไหลผ่านช่องแคบระหว่างตัวหมุน (rotor) กับตัวหยุดอยู่กับที่ (stator) ของเครื่องบดเยื่อ ทำให้เกิดแรงเชิงกลและแรงอัด ส่งผลให้เส้นใยเกิดการเสียดสีกันระหว่างเส้นใยและตัวเครื่องบดเยื่อ ชั้นของผนังเซลล์เส้นใยจึงเกิดการปริแตก ส่งผลให้การดูดซับน้ำของเส้นใยดีขึ้น เส้นใยของตัวดีขึ้น เส้นใยจึงมีความยืดหยุ่นและนุ่มขึ้น ฉะนั้นเมื่อนำเยื่อที่ผ่านการบดเยื่อไปผลิตกระดาษ กระดาษจึงมีความหนาแน่นสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีการยุบตัวแนบชิดกันได้ดีขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้การที่พื้นที่ผิวของเส้นใยมีการปริแตกมากขึ้น จึงส่งผลให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างเส้นใยในการสานตัวในการขึ้นแผ่นกระดาษได้มากขึ้นอีกด้วย [8, 10]

2.12.1 กลไกการบดเยื่อ/ตีเยื่อ (refining/beating mechanism)

สิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างบดเยื่อมี 2 ลักษณะ ดังนี้คือ

1) การเสียดสีกันของเส้นใย (fiber brushing) ซึ่งเกิดจากการที่เส้นใยเกิดการเสียดสีหรือชนกัน จะเกิดขึ้นเมื่อบดเยื่อ/ตีเยื่อที่ความเข้มข้นสูงๆ โดยมีระยะห่างระหว่างซี่บดค่อนข้างมากพอสมควร เมื่อความเข้มข้นเยื่อสูงๆ ปริมาณเส้นใยจะมาก ทำให้เส้นใยเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันมากขึ้น จนเส้นใยเกิดการแตกแขนงขึ้น (fibrillation) เป็นผลให้พื้นที่ผิวของเส้นใยเพิ่มมากขึ้น พันธะระหว่างเส้นใย (fiber-fiber bonding) จึงมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม

ตาม ในกรณีนี้ความยาวของเส้นใยจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการให้เกิดขึ้น เพราะต้องการให้การสร้างพันธะของเส้นใยสูงขึ้น แต่เส้นใยไม่ขาดออกจนสั้นลง

2) การตัดเส้นใย (fiber cutting) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อบดเยื่อที่ความเข้มข้นต่ำๆ และ ระยะห่างระหว่างซี่บดชิดกันมากๆ ทำให้เส้นใยถูกหนีให้สั้นลงได้ง่าย เส้นใยจึงมีความยาวลดลง ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เพราะการที่เส้นใยสั้นจะทำให้พื้นที่ในการสร้างพันธะของเส้นใย แต่ละเส้นใยน้อยลง

2.12.2 ผลของการบดเยื่อที่มีต่อสมบัติของกระดาษ

เยื่อที่ผ่านการบดส่งผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงน้อยลง ฉะนั้นสมบัติกระดาษที่ขึ้นกับความแข็งแรงของเส้นใยเป็นหลัก เช่น ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tearing strength) จะลดลง เนื่องจากการตีเยื่อ/บดเยื่อจะทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนงมากขึ้น ผนังของเส้นใยฉีกขาด ความแข็งแรงของเส้นใยเดี่ยวๆ (individual fiber) จึงน้อยลง อย่างไรก็ตามการบดเยื่อส่งผลให้พันธะระหว่างเส้นใยดีขึ้น สมบัติของกระดาษที่ขึ้นกับพันธะของเส้นใย เช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) และความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) จะดีขึ้น เนื่องจากการตี/บดเยื่อจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น เส้นใยแต่ละเส้นจะสร้างพันธะกันได้มากขึ้น ความแข็งแรงของกระดาษจะดีขึ้นด้วย นั่นคือ การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยกับเส้นใย (fiber-fiber bonding) เป็นตัวที่บ่งบอกระดับความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษ

2.12.3 ผลของการบดเยื่อที่มีต่อสมบัติด้านโครงสร้าง

การบดเยื่อ/ตีเยื่อจะช่วยให้กระดาษมีความยืดหยุ่น (flexibility) และแน่นขึ้น รวมทั้งความแข็งแรงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่การที่กระดาษมีเนื้อที่แน่นขึ้น จะส่งผลให้สมบัติด้านความทึบแสง (opacity) ความฟ้าม (bulk) และความพรุน (porosity) ของกระดาษลดต่ำลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากกระดาษที่แน่นจะมีความพรุนต่ำ ช่องว่างระหว่างอากาศกับเส้นใยลดลง ความสามารถในการกระเจิงแสงลดลง ความทึบแสงจึงน้อยลง

2.13 สมบัติของเยื่อและกระดาษ

การทดสอบเยื่อและกระดาษเป็นขั้นตอนมาตรฐานในการทดสอบเพื่อให้การผลิตเยื่อและกระดาษทั่วโลกมีมาตรฐานใช้แบบเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการออกมาตรฐานการทดสอบจากหลายองค์กร เช่นมาตรฐาน ISO, TAPPI, SCAN และ ASTM เป็นต้น

2.13.1 การทดสอบสมบัติของเยื่อ

เป็นการทดสอบเพื่อหาลักษณะของเยื่อโดยดูคุณภาพของเยื่อ ความเหมาะสมในการนำเยื่อไปใช้ ซึ่งคล้ายกับการคาดการณ์ล่วงหน้าถึงคุณภาพกระดาษที่จะผลิตได้จากเยื่อเหล่านั้น

2.13.1.1 การทดสอบค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number)

การทดสอบค่าคัปปานัมเบอร์เป็นการทดสอบเพื่อดูปริมาณลิกนินที่อยู่ในเยื่อหรือความสามารถในการนำเยื่อไปฟอก โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินในเส้นใยของเยื่อ โดยถ้าค่าคัปปานัมเบอร์มีค่าน้อย แสดงว่าเยื่อที่ผลิตได้มีลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อน้อย เยื่อที่ได้จะมีความขาวสว่างสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าเยื่อมีค่าคัปปานัมเบอร์สูง แสดงว่ามีลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อสูง เยื่อที่ได้จะมีความขาวสว่างต่ำ [14]

2.13.1.2 การทดสอบค่าสภาพระบายได้ (freeness)

เป็นการวัดอัตราการระบายน้ำของเยื่อ หรือการอุ้มน้ำของเส้นใย ซึ่งค่าสภาพการระบายได้ของเส้นใยเกี่ยวข้องกับผิวหน้าและการบวมน้ำของเส้นใย โดยค่าสภาพระบายได้จะรู้จักกันในชื่อ freeness, slowness, wetness หรือ drain time ถ้าค่าสภาพระบายได้ของเยื่อสูง แสดงว่าการระบายน้ำของเยื่อเร็ว การอุ้มน้ำของเส้นใยมีน้อย แต่ถ้าค่าสภาพระบายได้ของเยื่อต่ำ แสดงว่าการระบายน้ำของเยื่อช้า การอุ้มน้ำของเส้นใยสูง [15]

2.13.1.3 การทดสอบปริมาณด่างที่เหลือ (residual alkali)

เป็นการทดสอบหาปริมาณด่างที่เหลือในน้ำดำ (black liquor) โดยทำการไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ถ้าหากโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการละลายเหลืออยู่ในน้ำดำจะสามารถวัดปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออนได้ [16]

2.13.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษ

เนื่องจากกระดาษมีหลายประเภทขึ้นกับลักษณะในการใช้งานจึงมีความจำเป็นที่ต้องทดสอบเพื่อดูว่ากระดาษที่ผลิตได้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานหรือไม่ การทดสอบสมบัติของกระดาษมีดังนี้

2.13.2.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight หรือ grammage)

น้ำหนักมาตรฐานเป็นค่าที่สำคัญของกระดาษเนื่องจากน้ำหนักมาตรฐานส่งผลต่อสมบัติด้านกายภาพและสมบัติเชิงแสงของกระดาษ น้ำหนักมาตรฐานเป็นการหาน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ ส่วนมากมีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร หรือเรียกว่าแกรม หาโดยการนำแผ่นทดสอบมาชั่งน้ำหนักแล้วนำค่าที่ได้มาหารด้วยพื้นที่ของแผ่นทดสอบ [11]

2.13.2.2 ความหนา (thickness)

เป็นการวัดระยะห่างในแนวตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้ง 2 ด้านของแผ่นทดสอบภายใต้สภาวะที่กำหนด หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลิเมตร ค่าความหนาส่งผลต่อสมบัติทั้งทางด้านกายภาพและเชิงแสงของกระดาษ ความสม่ำเสมอของความหนากระดาษมีความสำคัญอย่างมากต่อกระดาษพิมพ์เขียน [11]

2.13.2.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density)

เป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำน้ำหนักมาตรฐานหารด้วยความหนาที่วัดได้ของแผ่นทดสอบ เป็นสมบัติที่สำคัญเพราะมีผลต่อค่าความพรุน (porosity) ค่าความคงรูป (rigidity) สมบัติเชิงแสงและสมบัติด้านความแข็งแรงทั้งหมด ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นได้แก่ ผลจากการสร้างพันธะ ผลของสารเติมแต่งที่เข้าไปอุดช่องว่าง และการขัดผิวของกระดาษ (calendering) [11]

2.13.2.4 ความขาวสว่าง (brightness)

เป็นการวัดค่าการสะท้อนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร โดยทั่วไปการวัดค่าความขาวสว่างจะถูกใช้เป็นแนวทางในการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของการฟอกเยื่อ

2.13.2.5 ความทึบแสง (opacity)

เป็นการวัดความสามารถในการให้แสงทะลุผ่านแผ่นทดสอบ แผ่นทดสอบที่มีความทึบแสงสูงจะมีการทะลุผ่านของแสงน้อย ความทึบแสงสามารถวัดได้จากปริมาณของแสงที่ทะลุผ่าน โดยมีหน่วยวัดเป็นอัตราส่วนของความเปรียบต่าง (contrast ratio) ระหว่างค่า

แผ่นทดสอบหนึ่งแผ่นที่รองด้วยพื้นหลังสีดำที่ไม่มีการสะท้อนแสงกับแผ่นทดสอบที่เรียงซ้อนกัน
หนา

2.13.2.6 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

เป็นค่าแรงสูงสุดต่อความกว้างของแถบกระดาษที่จะต้านทานได้ก่อนที่
แผ่นทดสอบจะขาดออกจากกัน ทดสอบโดยให้แรงกระทำในทิศทางขนานกับความยาวของแถบ
กระดาษ หน่วยที่ใช้คือ กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) ค่าของความแข็งแรงต่อแรงดึงขึ้นอยู่กับจำนวน
พันธะ ความแข็งแรงของพันธะและความแข็งแรงของเส้นใย หากความชื้นของกระดาษเพิ่มขึ้นจะ
ทำให้ค่าการยืดตัวของกระดาษ (elongation) เพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลง และการ
บิดเยื่อที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึง เนื่องจากมีการสร้างพันธะเพิ่มขึ้น

2.13.2.7 ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance)

เป็นความสามารถของแผ่นทดสอบที่จะต้านแรงที่ใช้ในการฉีกแผ่น
ทดสอบต่อจากแนวตัดเริ่มต้น หน่วยที่ใช้คือมิลลินิวตัน (mN) โดยความต้านทานแรงฉีกจะขึ้นกับ
การเรียงตัวของเส้นใยในแผ่นทดสอบ ความแข็งแรงของเส้นใย ความยาวของเส้นใยและพันธะ
ระหว่างเส้นใย เครื่องมือที่นิยมใช้ในการทดสอบคือ เครื่อง Elmendorf โดยการใช้การแกว่งของลูกตุ้ม
น้ำหนักทำให้เกิดแรงฉีก ลูกตุ้มจะแกว่งในแนวระนาบตั้งฉากไปยังแนวระนาบของจุดเริ่มต้นแผ่น
ทดสอบ สามารถวัดค่าได้จากการสูญเสียพลังงานของลูกตุ้มน้ำหนัก

2.13.2.8 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength)

เป็นการทดสอบความต้านทานต่อแรงดันสูงสุดที่ทำให้แผ่นทดสอบขาด
จากการให้แรงดันในแนวระนาบตั้งฉากกับแผ่นทดสอบ ในการทดสอบจะวางแผ่นทดสอบบนแผ่น
ยางหรือไดอะแฟรม เมื่อให้แรงดัน แผ่นยางจะพองตัวดันให้แผ่นทดสอบขาด หน่วยที่ใช้คือ กิโล
ปาสคาล (kPa) การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นการทดสอบที่ทำได้ง่ายและรวดเร็ว
โดยปกติแล้วค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุจะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับความแข็งแรงต่อ
แรงดึง

2.13.2.9 ความเรียบ (smoothness)

ค่าความเรียบเป็นการบอกถึงลักษณะของผิวหน้ากระดาษ โดยการเพิ่มการบดเยื่อจะช่วยเพิ่มค่าความเรียบของกระดาษ ในการทดสอบจะหนีบแผ่นทดสอบกับตัวหนีบซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งเหล็กทรงกลมผิวเรียบ มีรูเล็กๆ บริเวณตรงกลาง เส้นผ่านศูนย์กลางของรูประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ประกบกับแผ่นเหล็ก (pressure disk) โดยรูดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับส่วนดูดอากาศซึ่งมีปริมาตร 10 มิลลิเมตรของอากาศ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และมีความดันอากาศลดลงจาก 50.7 ถึง 48.0 กิโลปาสคาล (380 ถึง 360 มิลลิเมตรปรอท, mm Hg) แล้วปล่อยแรงดันอากาศผ่านระหว่างตัวหนีบแผ่นทดสอบและแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว จนการดูดอากาศในรูลดลงถึงค่า 49.3 กิโลปาสคาล หรือ 370 มิลลิเมตรปรอท จึงอ่านค่าที่ได้จากเวลาที่อากาศผ่าน มีหน่วยเป็นวินาที

2.14 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rodríguez และคณะ [7] ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของการใช้ฟางข้าวในการผลิตเยื่อแบบโซดาแอนทราควิโนน พบว่า ค่าของผลผลิตเยื่อที่ได้ค่อนข้างสูง โดยประมาณเกือบครึ่งหนึ่งของวัตถุดิบถูกเปลี่ยนไปเป็นเยื่อเซลลูโลสและนำไปผลิตเป็นกระดาษได้ เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างค่าคัปปานัมเบอร์และความหนืดของเยื่อ (pulp viscosity) พบว่า เยื่อที่ได้สามารถนำไปฟอกต่อได้ง่าย และจากการพิจารณาสมบัติทางกายภาพของเยื่อพบว่าเยื่อจากฟางข้าวเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นกระดาษ กระดาษแข็ง รวมถึงสามารถใช้ผสมกับเยื่อรีไซเคิลได้

Rodríguez และคณะ [20] ได้ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวต่อ โดยครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีต่างๆ ตามสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซดา โซดา-พาราเบนโซควิโนน โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซดาแอนทราควิโนน และโซเดียมซัลเฟต พบว่า สภาวะที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดคือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 15 และแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 1 โดยผลิตเยื่อที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที เนื่องจากให้เยื่อที่มีค่าสภาพระบายได้สูงสุด ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุสูงสุด และหากนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการผลิตเยื่อคราฟต์จากต้นยูคาลิปตัสยังพบว่า เยื่อที่ผลิตได้ให้ค่าคัปปานัมเบอร์ต่ำกว่า และค่าความขาวสว่างสูงกว่าอีกด้วย

Jiménez และคณะ [21] ศึกษาผลของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ เมทานอลและน้ำ ในกระบวนการผลิตเยื่อจากฟางข้าวสาลีที่มีต่อปริมาณผลผลิตเยื่อ ไฮโดรเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลสและลิกนิน พบว่า หากต้องการให้ได้ผลผลิตเยื่อ ปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสสูง โดยมีปริมาณลิกนินต่ำ ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มนานๆ อุณหภูมิที่ใช้ต้มสูงๆ และความเข้มข้นของเมทานอลอยู่ระหว่างกลางถึงสูง

Alcaide และคณะ [22] ได้ศึกษาการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวสาลี โดยใช้เอทานอล แอซีโทน และน้ำ โดยใช้อุณหภูมิในการผลิตเยื่อ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า การต้มเยื่อโดยใช้แอซีโทนให้ผลผลิตเยื่อที่สูง สมบัติด้านความแข็งแรงสูง ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อน้อยกว่าการต้มแบบเมทานอลและแบบเมทานอลผสมกับแอซีโทน

วรารพงษ์ โสพิน [23] ศึกษาการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรจากลำต้นข้าวโพด โดยเป็นการผลิตเยื่อแบบโซดาที่เติมแอนทราควิโนนและเมทานอลลงไปในการผลิตเยื่อด้วย พบว่า ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น ค่าคัปานัมเบอร์ลดลง ส่งผลให้เยื่อมีค่าความขาวสว่างสูงขึ้น ส่วนด้านสมบัติด้านความแข็งแรงนั้นพบว่า เยื่อจากโซดาตัดแปรให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและค่าความแข็งแรงด้นทะลุสูงขึ้น แต่ค่าความต้านทานแรงฉีกและค่าความทึบแสงกลับลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 ฟางข้าว จากจังหวัดปทุมธานี

3.1.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดปฏิบัติการ ความบริสุทธิ์ 99% Merck KGaA, Germany

3.1.1.3 แอนทราควิโนน ($C_{14}H_8O_2$) เกรดห้องปฏิบัติการ ความบริสุทธิ์ 97% Sigma-Andrich, USA

3.1.1.4 เมทานอล (CH_3OH) เกรดอุตสาหกรรม Unicorn star, Thailand

3.1.1.5 แอซีโตน เกรดอุตสาหกรรม Unicorn star, Thailand

3.1.1.6 กระดาษกรองเบอร์ 4; Whatman International Ltd., England

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (0.1-21 kg); รุ่น GX-20K, AND, Japan

3.1.2.2 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (0.005-4,000 g); รุ่น TB-4002, Denver Instrument, Germany

3.1.2.3 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter); Denver Instrument, Germany

3.1.2.4 ตู้อบ (hot air oven); Venticell, Germany

3.1.2.5 เครื่องต้มเยื่อ (autoclave digester); Universal Engineering, India

3.1.2.6 เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (fiber quality analyzer, FQA); Optest Equipment Inc., Canada

3.1.2.7 เครื่องบดเยื่อ (valley beater); รุ่น UEC-2018A, Universal Engineer Corporation, India

3.1.2.8 เครื่องวัดค่าการระคายน้ำ (freeness tester); รุ่น LTDA, Regmed Industria Technica de Frecisao, Brazil

3.1.2.9 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ (sheet former); รุ่น Rapid-Köthen Blattbildner, PTI Laboratory Equipment, Austria

3.1.2.10 เครื่องวัดความชื้น (moisture determination balance); รุ่น FD-600, Kett Electric Laboratory, USA

3.1.2.11 เครื่องวัดความหนาของกระดาษ (thickness tester); Frank, Germany

3.1.2.12 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength tester); รุ่น Strograph E-S, Toyoseiki Seisaku-SHO LTD., Japan

3.1.2.13 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก (elmendorf tearing resistance tester); รุ่น Protear, Thwing-Albert Instrument, USA

3.1.2.14 เครื่องวัดสมบัติเชิงแสง; รุ่น Color Touch PC, Technidyne Corporation, USA

3.1.2.15 เครื่องวัดความเรียบ (smoothness tester); Toyoseiki Seisaku-SHO LTD., Japan

3.1.2.16 กระบอกตวงขนาด 25, 100 และ 1000 มิลลิลิตร

3.1.2.17 ปีกเกอร์ขนาด 25, 50, 250 และ 500 มิลลิลิตร

3.1.2.18 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.2.19 ปีเปต ขนาด 5 และ 50 มิลลิลิตร

3.1.2.20 ปีวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

3.1.2.21 เต้าแม่เหล็กไฟฟ้า เอ็มดี; M-909, MDA Trade, Vietnam

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรจากฟางข้าว โดยใช้สารเคมี ได้แก่ แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซิโตน เป็นสารต้มเยื่อด้วย โดยจะศึกษาถึงอิทธิพลของการเติม แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซิโตนต่อประสิทธิภาพการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดมีดังนี้

3.2.1 การทดลองตอนที่ 1: ทำการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นการทดลองควบคุม

3.2.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ตัดฟางข้าวให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง วัดความชื้นของฟางข้าวโดยใช้เครื่องวัดความชื้น เมื่อทราบค่าความชื้นทำการชั่งน้ำหนักฟางข้าว 150 กรัม น้ำหนักแห้ง แล้วบรรจุใส่ถุง ปิดปากถุงเพื่อรอการผลิตเยื่อต่อไป

3.2.1.2 การผลิตเยื่อแบบโซดาเพื่อใช้เป็นการทดลองควบคุม

นำฟางแห้งที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้วมาผลิตเยื่อด้วยวิธีโซดา โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละต่างๆ ดังนี้ 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ (replicate) โดยใช้ภาวะในการต้มเยื่อ คือ อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 13 ต่อ 1 ใช้เวลาในการต้มเยื่อ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1.2.1 นำชิ้นฟางข้าวมาบรรจุลงในบอมบ์ (bomb) ที่ใช้เป็นภาชนะในการต้มเยื่อ

3.2.1.2.2 ทำการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณน้ำที่ต้องเติม ตามวิธีการคำนวณในภาคผนวก หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้วัดหาค่าความเป็นกรด-ด่างแล้วนำไปใส่ลงในบอมบ์

3.2.1.2.3 ทำการปิดฝาบอมบ์ให้แน่นและนำบอมบ์เข้าเครื่องต้มเยื่อ ดังแสดงในภาพที่ 3-1 เปิดสวิตช์ทำความร้อน (heater) และเริ่มทำการจับเวลาเป็นเวลา 120 นาที เมื่ออุณหภูมิภายในของหม้อต้มเยื่อเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการปล่อยน้ำดำ (black liquor) ออกจากบอมบ์และเก็บตัวอย่างน้ำดำเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณต่างที่เหลือ (residual alkali) หลังจากการต้มเยื่อ ตามมาตรฐาน SCAN standard N33:94 [16] นำบอมบ์ออกจากเครื่องต้มเยื่อ เปิดน้ำหล่อให้บอมบ์เย็นและนำเยื่อที่ต้มเสร็จออกจากบอมบ์



ภาพที่ 3-1 เครื่องต้มเยื่อ (autoclave digester)

3.2.1.2.4 ล้างเยื่อให้สะอาดเพื่อเอาน้ำดำและสารเคมีออกจากเยื่อ

3.2.1.2.5 นำเยื่อที่ล้างเรียบร้อยแล้วมาคัดกรองขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด (screener) เพื่อทำการแยกส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (reject) ออก นำส่วนที่เป็นเยื่อมาทำการปั่นแห้งให้เยื่อหมาด ซึ่งน้ำหนักเยื่อรวมที่ได้ทั้งหมด แล้วแบ่งเยื่อออกมาหาปริมาณความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น เพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละผลผลิตของเยื่อ (% pulp yield) ทำการเก็บเยื่อใส่ถุงและแช่ตู้เย็นเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป นำส่วนที่ไม่เป็นเยื่อทั้งหมดมาทำการอบที่อุณหภูมิ

106 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง ทำการคำนวณหาร้อยละ ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (% reject)

3.2.1.3 การบดเยื่อ

นำเยื่อที่ผ่านการต้มเยื่อของแต่ละภาวะมาทำการบดเยื่อโดยใช้เครื่องบดเยื่อ ดังแสดงในภาพที่ 3-2 โดยวิธีการบดเยื่อจะทำตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 [24] เพื่อให้ได้ค่าสภาพระบายได้ประมาณ 300-350 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3-2 เครื่องบดเยื่อ (valley beater)

3.2.1.3.1 ทำการคำนวณชั่งเยื่อฟางข้าว 180 กรัม น้ำหนักแห้ง ใส่ลงเครื่องบดเยื่อ คำนวณน้ำที่ต้องเติมให้มีปริมาตรรวมทั้งหมด 11.5 ลิตร โดยร้อยละความเข้มข้นของเยื่อจะเท่ากับ 1.56 ตามวิธีการคำนวณในภาคผนวก ทำการเปิดเครื่องโดยไม่แขวนตุ้ม เพื่อให้เยื่อกระจายเป็นระยะเวลา 5 นาที

3.2.1.3.2 เมื่อกระจายเยื่อครบ 5 นาทีทำการบดเยื่อโดยแขวนลูกตุ้มน้ำหนักของเครื่องบดเยื่อ บดเยื่อให้ได้ค่าสภาพระบายได้ 300-350 มิลลิลิตร ตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94 [15] หลังจากนั้นทำการเก็บน้ำเยื่อไว้ขึ้นแผ่นและวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยหลังการบดเยื่อ

3.2.1.4 การทดสอบสมบัติของเยื่อ

3.2.1.4.1 ค่าคัปปานัมเบอร์ (kappa number) โดยวิธีการวิเคราะห์ในการทดลองนี้ใช้มาตรฐาน TAPPI T 236 om-99 [14] ทำการทดสอบอย่างละ 2 ซ้ำต่อ 1 ภาวะการทดลอง

3.2.1.4.2 ค่าสภาพระบายได้ (freeness) โดยการทดสอบจะทำตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-04 มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ ดังแสดงในภาพที่ 3-3 โดยนำน้ำเยื่อจากข้อ 3.2.1.3.1 และข้อ 3.2.1.3.2 มาทำการหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ



ภาพที่ 3-3 เครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ

3.2.1.4.3 ปริมาณด่างที่เหลือ (residual alkali) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณด่างที่เหลือของน้ำดำ (black liquor) หลังจากการต้มเยื่อ โดยใช้มาตรฐานของ SCAN standard N33:94 [16] ในการวิเคราะห์ และทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งของแต่ละภาวะ

3.2.1.4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย (fiber morphology) นำน้ำเยื่อที่ผ่านการบดเยื่อจากข้อ 3.2.1.3.2 มาวัดค่าความยาวของเส้นใย ความกว้างของเส้นใย ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (fines) ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย (curl index) และดัชนีความหักงอของเส้นใย (kink index) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย (FQA) ดังแสดงในภาพที่ 3-4 โดยจะทำการวัดเส้นใยแต่ละครั้งเป็นจำนวน 5000 เส้น และทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละภาวะ



ภาพที่ 3-4 เครื่องวัดสัณฐานวิทยาของเส้นใย (FQA)

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์เส้นใยสามารถวัดเส้นใยที่มีความยาวตั้งแต่ 0.07 มิลลิเมตรขึ้นไป ดังนั้นการรายงานผลความยาวของเส้นใยในการทดลองนี้จะรายงานผลความยาวของเส้นใยเฉลี่ยที่ได้เป็นแบบ LWW (mean length-weight weighted, LWW)

3.2.1.5 การขึ้นแผ่นทดสอบ

นำเยื่อที่ผ่านการบดเยื่อจากขั้นตอนที่ 3.2.1.3.2 มาทำการขึ้นแผ่นทดสอบให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 60 กรัมต่อตารางเมตร เพื่อนำแผ่นทดสอบไปทดสอบสมบัติในด้านต่างๆ โดยใช้เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบ Rapid-Kothen (Rapid-Kothen sheet former) ตามมาตรฐานการขึ้นแผ่นทดสอบ ISO 5269-2 [25] โดยตัวเครื่องขึ้นแผ่นทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนขึ้นแผ่นกระดาษ (sheet forming) และส่วนอบแห้ง (dryer) ดังแสดงในภาพที่ 3-5 โดยมีขั้นตอนการขึ้นแผ่นทดสอบดังนี้

3.2.1.5.1 ปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อจากร้อยละ 1.56 จากน้ำเยื่อให้เป็นความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการขึ้นแผ่น

3.2.1.5.2 คำนวณปริมาณน้ำเยื่อที่ต้องใช้ในการขึ้นแผ่นให้ได้แผ่นทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน 60 กรัมต่อตารางเมตร ดังแสดงไว้ในภาคผนวก

3.2.1.5.3 เทน้ำเยื่อที่คำนวณได้จากข้อ 3.2.1.5.2 ลงในส่วนขึ้นแผ่น โดยแผ่นทดสอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 เซนติเมตร

3.2.1.5.4 นำแผ่นตัวอย่างที่ขึ้นแผ่นเรียบร้อยแล้วมาปิดประกบด้วยกระดาษที่ใช้ขึ้นแผ่น แล้วนำมาอบแห้งในส่วนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 นาที

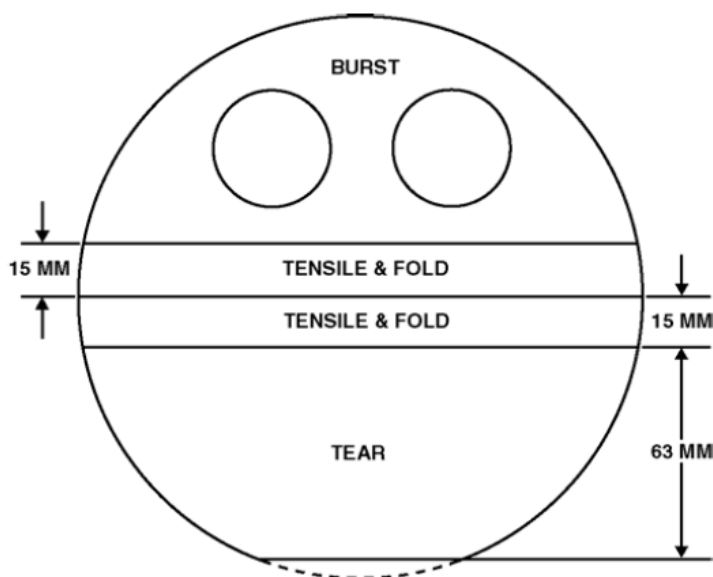


ภาพที่ 3-5 เครื่องขึ้นแผ่นทดสอบ

3.2.1.6 การทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ

นำแผ่นทดสอบแต่ละภาวะมาทำการปรับสภาพในห้องควบคุมภาวะเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเริ่มทำการทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบโดยไม่ทำให้แผ่นทดสอบเสียหาย (non-destructive test) ก่อน คือ น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) ความหนา (thickness) และความเรียบ (smoothness) รวมถึงสมบัติด้านทัศนศาสตร์ (optical properties)

คือ ความขาวสว่าง (brightness) และความทึบแสง (opacity) จากนั้นเริ่มทำการทดสอบสมบัติของแผ่นตัวอย่างที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นทดสอบ (destructive test) คือ สมบัติในด้านความแข็งแรง (strength properties) ต่างๆ ดังนี้ ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) และความต้านทานต่อแรงฉีก (tear resistance) โดยทำการตัดแผ่นทดสอบเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3-6 หลังจากนั้นนำค่าความแข็งแรงต่างๆ ไปคำนวณหาค่าดัชนีความแข็งแรงโดยนำความแข็งแรงนั้นหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน



ภาพที่ 3-6 ลักษณะของการตัดแผ่นทดสอบเพื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงต่างๆ

3.2.1.6.1 สมบัติทั่วไปของกระดาษ (basic properties) ได้แก่

3.2.1.6.1.1 น้ำหนัก ทำการวัดโดยนำแผ่นทดสอบมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้มาหารพื้นที่ของแผ่นทดสอบ

3.2.1.6.1.2 ความหนา โดยทำการวัดด้วยเครื่องวัดความหนา ดังแสดงในภาพที่ 3-7 หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลิเมตร วัดแผ่นทดสอบแต่ละภาวะจำนวน 6 แผ่น โดยในแต่ละแผ่นจะวัด 5 ตำแหน่ง



ภาพที่ 3-7 เครื่องวัดความหนา

3.2.1.6.1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) เป็นค่าที่คำนวณได้จากน้ำหนักมาตรฐานหารด้วยความหนาของแผ่นทดสอบ

3.2.1.6.1.3 ความเรียบ (smoothness) ทำการวัดด้วยเครื่องวัดความเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 3-8 ตามมาตรฐาน TAPPI T 479 cm-99 [26] โดยทำการวัดแผ่นทดสอบของแต่ละภาวะจำนวน 6 แผ่น ในแต่ละแผ่นจะวัด 2 ด้านๆ ละ 3 ตำแหน่ง



ภาพที่ 3-8 เครื่องวัดความเรียบ

3.2.1.6.2 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ (optical properties) ได้แก่

3.2.1.6.2.1 ความขาวสว่าง (brightness) ทำการวัดด้วยเครื่องวัดสมบัติเชิงแสง ดังแสดงในภาพที่ 3-9 ตามมาตรฐาน TAPPI T 525 om-02 [27] โดยทำการวัดแผ่นทดสอบของแต่ละภาวะจำนวน 6 แผ่น ในแต่ละแผ่นจะวัด 3 ตำแหน่ง

3.2.1.6.2.2 ความทึบแสง (opacity) การวัดความทึบแสงสามารถทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงเครื่องเดียวกับการวัดหาค่าความขาวสว่าง โดยทำการวัดตามมาตรฐาน TAPPI T 519 om-02 [28] วัดแผ่นทดสอบของแต่ละภาวะจำนวน 6 แผ่น ในแต่ละแผ่นจะวัด 3 ตำแหน่ง



ภาพที่ 3-9 เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของแผ่นทดสอบ (Color Touch PC)

3.2.1.6.3 สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties) ได้แก่

3.2.1.6.3.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 3-10 ตามมาตรฐานของ TAPPI T 494 om-01 [29] โดยในแต่ละภาวะจะทำการทดสอบแผ่นทดสอบจำนวน 6 แผ่น แผ่นละ 2 ครั้ง จากนั้นนำค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index) โดยนำค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน



ภาพที่ 3-10 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง

3.2.1.6.3.2 ความต้านทานแรงฉีก (tear resistance) วัดโดยใช้เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก ดังแสดงในภาพที่ 3-11 โดยใช้วิธีแบบ Elmendorf internal tearing resistance test ตามมาตรฐาน TAPPI T 414 om-98 [30] ในแต่ละภาวะจะทำการทดสอบแผ่นทดสอบจำนวน 6 แผ่น แต่ละแผ่นสามารถนำมาหาค่าความต้านทานแรงฉีกได้ 2 ครั้ง จากนั้นนำค่าความต้านทานแรงฉีกที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีก (tear index) โดยนำค่าความต้านทานแรงฉีกมาหารด้วยน้ำหนักมาตรฐาน



ภาพที่ 3-11 เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก

3.2.1.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองของการผลิตเยื่อแบบโซดา ได้แก่ ค่าร้อยละผลผลิตเยื่อ ค่าร้อยละส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ ค่าคัปปานัมเบอร์ ค่าความแข็งแรงต่างๆ ค่าสมบัติทางด้านการมองเห็นและสัญญาณวิทยาของเส้นใย มาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้เทคนิค ANOVA แบบ single factor ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อดูว่าระดับของการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเยื่ออย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

3.2.2 การทดลองตอนที่ 2: ทำการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซิโตนตามลำดับ

3.2.2.1 ใช้วัตถุดิบฟางข้าวที่เตรียมไว้จากขั้นตอนที่ 3.2.1.1 ในขั้นตอนที่ 1

3.2.2.2 ทำการเลือกปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 มาทำการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสซิโตน ตามลำดับ เพื่อทำการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปร โดยมีการเติมปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับร้อยละต่างๆ ดังนี้ 0, 0.1 และ 0.2 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง เติมปริมาณเมทานอลที่ระดับร้อยละ 0 และ 20 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเยื่อ และเติมปริมาณแอสซิโตนที่ระดับร้อยละต่างๆ ดังนี้ 0, 20, 40 และ 60 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเยื่อ ทำให้ได้ภาวะที่ใช้ในการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3-1 ทำการต้มเยื่อโดยใช้ภาวะการต้มเยื่อและวิธีการตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.2.1 - 3.2.1.2.3

3.2.2.3 นำเยื่อที่ต้มเสร็จแล้วมาทำการล้างเยื่อ

3.2.2.4 นำเยื่อมาทำการคัดกรองเยื่อ หากร้อยละผลผลิตเยื่อ หากร้อยละส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ และเก็บเยื่อตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.2.5

3.2.2.5 ทำการทดสอบสมบัติของเยื่อ ได้แก่ คัปปานัมเบอร์ ลักษณะสัญญาณวิทยาของเส้นใย และปริมาณด่างที่เหลือจากการต้มเยื่อตามขั้นตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.4

3.2.2.6 ทำการบดเยื่อ เพื่อให้ได้ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ ประมาณ 300-350 มิลลิลิตร เก็บน้ำเยื่อหลังจากการบดไว้ขึ้นแผ่นและวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใย ตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.3.1-3.2.1.3.2

ตารางที่ 3-1 ภาวะการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน ร่วมกับเมทานอล และร่วมกับแอสซีโทนตามลำดับ

สภาวะ ที่	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	ปริมาณแอนทราควิโนน (ร้อยละ)	ปริมาณเมทานอล (ร้อยละ)	ปริมาณแอสซีโทน (ร้อยละ)
1	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0	0	0
2	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0.1	0	0
3	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0.2	0	0
4	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0	20	0
5	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0	0	20
6	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0	0	40
7	ปริมาณที่เหมาะสมจากตอนที่ 1	0	0	60

3.2.2.7 ทำการขึ้นแผ่นทดสอบตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.5

3.2.2.8 ทำการทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ ได้แก่ สมบัติทั่วไปของกระดาษ คือ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความเรียบและความหนาแน่นปรากฏ สมบัติด้านทัศนศาสตร์ คือ ความขาวสว่างและความทึบแสง รวมถึงสมบัติด้านความแข็งแรง คือ ความแข็งแรงต่อแรงดึง และความต้านทานแรงฉีก ตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.6

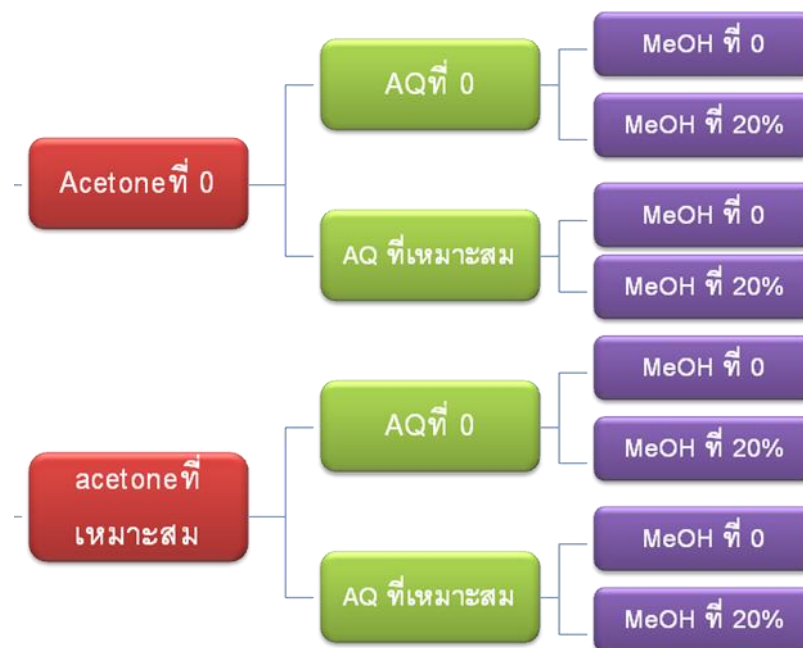
3.2.2.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ นำค่าสมบัติของเยื่อและสมบัติของแผ่นทดสอบ ต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้เทคนิค ANOVA แบบ single factor ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อดูว่าปริมาณการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนที่ระดับต่างๆ นั้น ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติของเยื่อและสมบัติของแผ่นทดสอบหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.3 การทดลองตอนที่ 3: ทำการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน

3.2.2.1 ใช้วัตถุดิบฟางข้าวที่เตรียมไว้จากขั้นตอนที่ 3.2.1.1 ในขั้นตอนที่ 1

3.2.2.2 ทำการเลือกปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 มาทำการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 เพื่อทำการผลิตเยื่อ

แบบโซดาตัดแปร ทำให้ได้ภาวะที่ใช้ในการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 3-12 ทำการต้มเยื่อโดยใช้ภาวะการต้มเยื่อและวิธีการตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.2.1 - 3.2.1.2.3



ภาพที่ 3-12 ภาวะที่ใช้ในการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน

3.2.2.3 นำเยื่อที่ต้มเสร็จแล้วมาทำการล้างเยื่อ

3.2.2.4 นำเยื่อมาทำการคัดกรองเยื่อ หำร้อยละผลผลิตเยื่อ หำร้อยละส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ และเก็บเยื่อตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.2.5

3.2.2.5 ทำการทดสอบสมบัติของเยื่อได้แก่ คัปปานัมเบอร์ ลักษณะฐานวิทยาของเส้นใย และปริมาณต่างที่เหลือจากการต้มเยื่อตามขั้นตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.4 และองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อที่ผลิตได้จากภาวะต่างๆ โดยวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส และลิกนินที่เหลือในเยื่อ

3.2.2.6 ทำการบดเยื่อ เพื่อให้ได้ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ ประมาณ 300-350 มิลลิลิตร เก็บน้ำเยื่อหลังจากการบดไว้ขึ้นแผ่นและวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใย ตามการทดลอง ตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.3.1-3.2.1.3.2

3.2.2.7 ทำการขึ้นแผ่นทดสอบตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.5

3.2.2.8 ทำการทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ ได้แก่ สมบัติทั่วไปของกระดาษ คือ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความเรียบและความหนาแน่นปรากฏ สมบัติด้านทัศนศาสตร์ คือ ความขาวสว่างและความทึบแสง รวมถึงสมบัติด้านความแข็งแรง คือ ความแข็งแรงต่อแรงดึง และความต้านทานแรงฉีก ตามการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3.2.1.6

3.2.2.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ นำค่าสมบัติของเยื่อและสมบัติของแผ่นทดสอบ ต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้เทคนิค SPSS แบบแฟคทอเรียล 2^3 คือ 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อดูว่าการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน มีผลต่อคุณสมบัติของเยื่อและสมบัติของแผ่นทดสอบเหล่านั้นอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นการทดลองควบคุม

ผลการทดลองที่แสดงภายใต้หัวข้อ 4.1 นี้เป็นผลของการทดลองตอนที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองหาภาวะการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวที่เหมาะสม เพื่อนำปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปทำการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรในการทดลองตอนที่ 2 และ 3 และใช้เป็นการทดลองควบคุมเพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรในตอนต่อไป โดยทำการทดลองตอนที่ 1 จะมีการแปรผันปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ทำการผลิตเยื่อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที จากนั้นทำการบดเยื่อและทดสอบสมบัติต่างๆ ของเยื่อ แล้วทำการขึ้นแผ่นทดสอบของเยื่อที่ผ่านการบดเยื่อของแต่ละภาวะเพื่อทดสอบสมบัติของเยื่อที่ขึ้นเป็นแผ่นกระดาษและนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ

ผลของการผลิตเยื่อด้วยวิธีโซดาจากฟางข้าวที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อส่งผลต่อผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ โดยเมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ผลผลิตเยื่อจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงที่ระดับโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 มีค่าผลผลิตเยื่อสูงสุดหลังจากนั้นค่าผลผลิตเยื่อมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อมีค่าลดลงเมื่อมีการใช้ปริมาณต่างเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 10 ให้ผลการผลิตเยื่อไม่ดี เห็นได้จากมีปริมาณส่วนที่ไม่เป็นเยื่อสูงกว่าที่ระดับอื่นๆ เยื่อที่ได้จะมีลักษณะเป็นชิ้น เนื่องจากปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไม่เพียงพอต่อการละลายลิกนิน และเมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 20 ผลผลิตเยื่อมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการผลิตเยื่อมีการละลายลิกนินออกได้มากขึ้น และอาจละลายพวกคาร์โบไฮเดรตด้วย ดังนั้นปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกทำลายมากขึ้น [11] จึงทำให้ผลผลิตเยื่อมีค่าลดลง การที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ปริมาณส่วนที่ไม่เป็นเยื่อมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจาก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ช่วยให้เกิดการแทรกซึมของสารเคมี

และเข้าทำปฏิกิริยากับลิกนินสูงขึ้น เส้นใยจึงแยกเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ได้ดีขึ้น ปริมาณส่วนที่ไม่เป็นเยื่อจึงมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4-1 สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา

ปริมาณ NaOH (%)	ผลผลิตเยื่อ (%)	ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (%)
10	36.25±0.16	3.88±3.01
15	39.32±0.40	2.40±1.25
20	38.91±1.85	2.29±2.62

จากการวิเคราะห์สถิติพบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อของการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวที่ระดับความชื้นร้อยละ 95 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 หน้า 57 ซึ่งเป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติเยื่อฟางข้าวโดยใช้วิธี Anova แบบ single factor เนื่องจากค่า P-value ของผลผลิตเยื่อ และ P-value ของส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ ต่างมีค่าสูงกว่า 0.05

4.1.2 ค่าป่านัมเบอร์

จากตารางที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น ค่าป่านัมเบอร์มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปละลายลิกนินและดีกลิกนิน (delignification) ออกมาได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าค่าป่านัมเบอร์มีค่าลดลง และพบว่าเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15 เป็น ร้อยละ 20 ค่าค่าป่านัมเบอร์มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 หน้า 57 พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ส่งผลต่อค่าค่าป่านัมเบอร์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

4.1.3 ปริมาณน้ำที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ

จากตารางที่ 4-2 พบว่า การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่เหลือจากการผลิตเยื่อ โดยปริมาณน้ำที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ

10 และ 15 ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ ซึ่งแสดงว่าการผลิตเยื่ออาจมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่เพียงพอ และจากการวิเคราะห์ด้วยสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 หน้า 57 พบว่าค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั้นแสดงว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ส่งผลต่อปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่ออย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-2 ค่าปานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา

ปริมาณ NaOH (%)	ค่าปานัมเบอร์	ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ (กรัม/ลิตร)
10	35.03±1.82	0.00±0.00
15	22.04±1.76	0.00±0.00
20	21.40±1.63	3.18±0.22

4.1.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากการทดลองได้ศึกษาความยาวเส้นใยและลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการบดเยื่อดังแสดงในตารางที่ 4-3 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ความยาวของเส้นใย และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยรวมถึงความกว้างของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ลิกนินถูกกำจัดออกมากขึ้น การรับน้ำของเส้นใยดีขึ้น เส้นใยมีความยืดหยุ่นตัวมากขึ้น ความโค้งงอและหักงอของเส้นใยจึงลดลง จึงส่งผลให้ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยเพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพความเป็นด่างที่สูงขึ้นนั้น อาจมีโอกาสไปทำลายเส้นใยโดยเฉพาะในส่วนของคาร์โบไฮเดรตตามปฏิกิริยาฟิชลิ่ง ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กเพิ่มขึ้นได้ สำหรับความกว้างของเส้นใยที่มีแนวโน้มลดลงนั้น อาจเนื่องมาจากการที่เส้นใยมีความยืดหยุ่นตัวมากขึ้นนั่นเอง

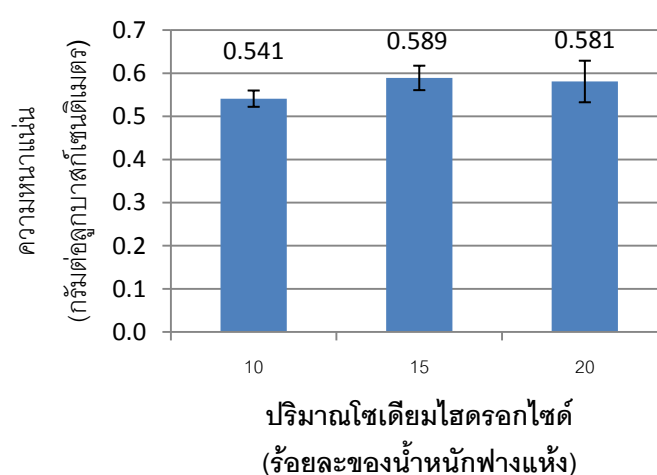
วิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 หน้า 57 พบว่า ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความยาวเส้นใยแบบ LWW ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความโค้งงอของเส้นใย ความหักงอของเส้นใยและความกว้างของเส้นใย

ตารางที่ 4-3 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา

NaOH (%)	ความยาวเส้นใย แบบ LWW (มิลลิเมตร)	ปริมาณเส้นใย ขนาดเล็ก (%)	ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย	ดัชนีความหักงอของเส้นใย	ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)
10	0.790±0.01	39.577±1.46	0.119±0.014	2.303±0.12	15.225±0.21
15	0.805±0.03	41.467±1.13	0.082±0.017	1.726±0.29	14.850±0.25
20	0.877±0.06	40.876±0.66	0.082±0.006	1.785±0.10	14.925±0.17

4.1.5 ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบ

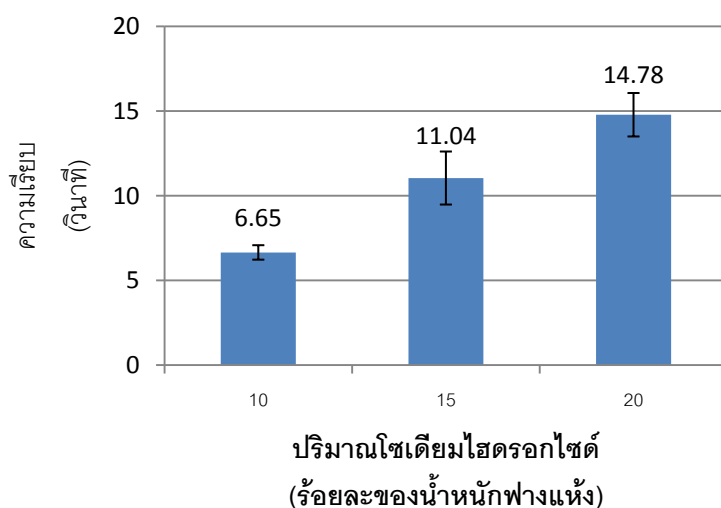
จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-1 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ระดับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณสูงขึ้นไปทำให้มีการละลายลิกนินออกจากเส้นใยได้มากขึ้น เส้นใยที่ได้จึงมีความยืดหยุ่น ผนึ่งของเส้นใยอ่อนนุ่มขึ้น เมื่อนำเส้นใยที่ได้มาขึ้นแผ่นทดสอบจึงส่งผลให้เส้นใยแนบชิดตัวกันได้ดี มีการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยดีขึ้น ส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 58 พบว่า ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-1 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.1.6 ความเรียบ

ความเรียบของกระดาษเป็นการบอกลักษณะผิวหน้ากระดาษโดยขึ้นกับขนาดของเส้นใย ความแนบชิดได้ของเส้นใย โดยเยื่อใยสั้นจะทำให้กระดาษเรียบกว่าเยื่อยาว และเส้นใยขนาดเล็กจะช่วยให้กระดาษนุ่มขึ้นในเนื้อกระดาษทำให้กระดาษที่ได้เรียบขึ้นจากภาพที่ 4-2 พบว่าความเรียบของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ระดับปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น เนื่องมาจากการใช้ไซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณสูงขึ้น มีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นจึงเข้าไปช่วยอุดรูพรุนส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้จึงมีความเรียบเพิ่มขึ้น จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 58 พบว่า ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเรียบของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



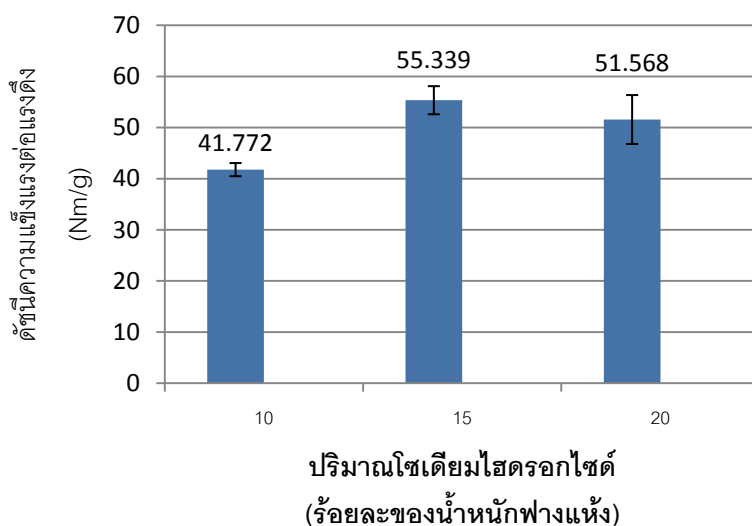
ภาพที่ 4-2 ผลของปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.1.7 สมบัติด้านความแข็งแรง

4.1.7.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขึ้นอยู่กับพันธะของเส้นใยเป็นหลัก เส้นใยที่มีการสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีจะส่งผลให้แผ่นแผ่นทดสอบมีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูง จากภาพที่ 4-3 พบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นจากระดับปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ

10 เป็น 15 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้ปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น มีการละลายลิกนินออกจากเส้นใยมากขึ้น ส่งผลให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและมีความอ่อนตัวมากขึ้น เส้นใยจึงมีการแนบชิดระหว่างกันได้ดีขึ้น สามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีขึ้น กระดาษที่ได้จึงมีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้น และเมื่อถึงระดับปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 20 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่สูงอาจเข้าไปทำลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วย ทำให้เส้นใยอ่อนแอ จึงส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงด้วย เนื่องจากความแข็งแรงต่อแรงดึงขึ้นกับความแข็งแรงของเส้นใยเช่นกัน ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 58 พบว่า ปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

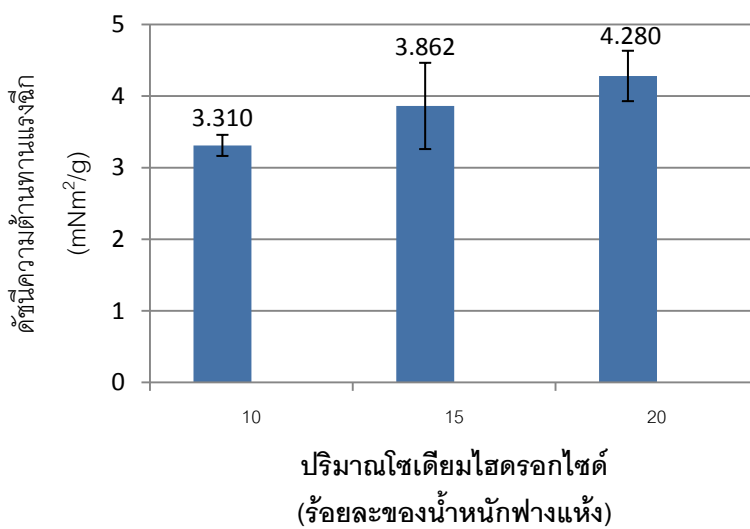


ภาพที่ 4-3 ผลของปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์ต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.1.7.2 ความต้านทานแรงฉีก

จากภาพที่ 4-4 พบว่าแสดงถึงผลของการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวที่ระดับปริมาณไซเตียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ ต่อดัชนีความต้านทานฉีกของแผ่นทดสอบ โดยปกติความต้านทานแรงฉีกขึ้นอยู่กับความยาวและความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่าพันธะของเส้นใย ดังนั้นเยื่อที่มีความยาวของเส้นใยสูงและมีความแข็งแรงมากก็จะผลิตกระดาษที่ทนต่อแรงฉีกได้สูง จากผลการทดลองพบว่าแผ่นทดสอบมีแนวโน้มค่าความต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น เนื่องจากการใช้ปริมาณไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นให้เส้นใยที่ยาวกว่าจึงทำให้ความต้านทานแรงฉีกที่ได้มีค่าสูงกว่า

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 58 พบว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

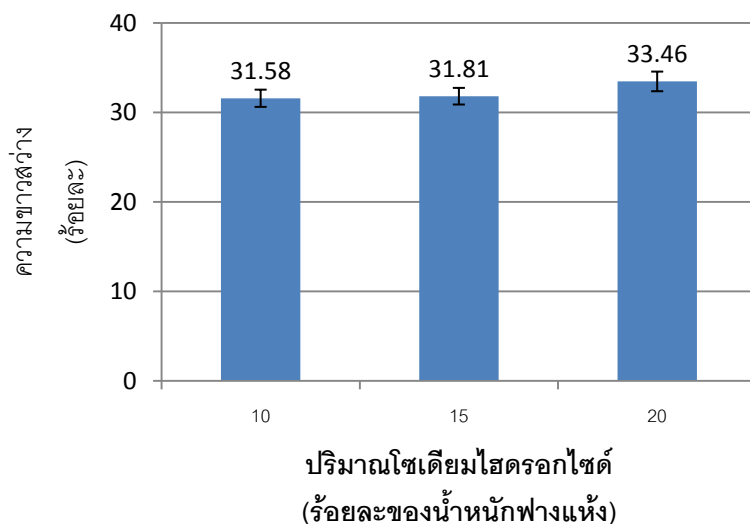


ภาพที่ 4-4 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.1.8 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

4.1.8.1 ความขาวสว่าง

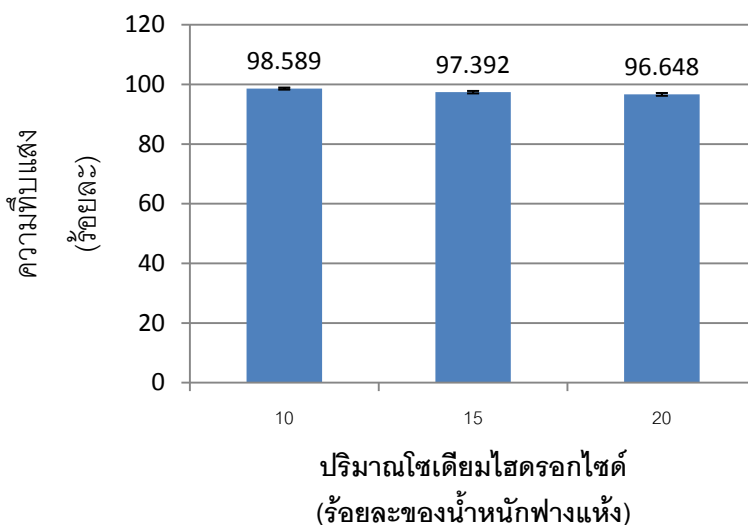
การวัดค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบนั้นสามารถวัดได้โดยการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ภาพที่ 4-5 แสดงค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบที่ได้ พบว่า เมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าความขาวสว่างของเยื่อมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบได้มีการถูกดึงออกเยื่อมากขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-2 หน้า 50 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 58 พบว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-5 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความขุ่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.1.8.2 ความทึบแสง

การวัดค่าความทึบแสงของกระดาษเป็นการวัดความสามารถของแผ่นทดสอบในการขัดขวางการเคลื่อนที่ผ่านของแสง ความทึบแสงของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากวิธีโซดาจากฟางข้าวที่ระดับปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4-6 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวเพิ่มขึ้น ความทึบแสงของเยื่อมีแนวโน้มลดลง การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นไปจะทำให้มีการละลายลิกนินออกจากเยื่อได้มากขึ้น เส้นใยของแผ่นทดสอบสามารถแนบตัวกันได้ดีทำให้มีพื้นที่ในการกระเจิงแสงในแผ่นกระดาษลดลงความทึบแสงจึงลดลง เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 58 พบว่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความทึบแสงของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-6 ผลของปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอลต่อความทึบแสง
ของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.1.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Anova แบบ single factor ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ของสมบัติต่างๆ ของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตแบบโซดาโดยใช้ปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ระดับต่างๆ กัน โดยผลทางสถิตินั้นสามารถพิจารณาได้จากค่า P-value และ ค่า F_{cal} กล่าวคือ ถ้าค่า P-value นั้นมีค่าต่ำกว่า 0.05 และหากค่า F_{cal} นั้นมีมากกว่าค่า F_{crit} แสดงว่าผลของสมบัติของเยื่อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หรือปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ใช้มีผลต่อสมบัติของเยื่อนั้นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการทดลองพบว่า การใช้ปริมาณโพลีเอทิลีนไกลคอลในการผลิตเยื่อที่ระดับต่างๆ มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเยื่อและเส้นใยอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยดูได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 รวมถึงดูได้จากค่า F ซึ่งค่า F_{cal} มีค่าน้อยกว่าค่า F_{crit} ยกเว้นคัปานัมเบอร์และปริมาณต่างๆ ที่เหลือจากการผลิตเยื่อ

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติของเยื่อฟางข้าวและเส้นใย

สมบัติต่างๆ ของเยื่อ	P-value	F _{cal}	F _{crit}
ผลผลิตเยื่อ	0.121121	4.627421	9.552094
ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ	0.985747	0.014425	9.552094
คัปปานัมเบอร์	0.00573*	45.34256	9.552094
ปริมาณต่างที่เหลือจากการผลิตเยื่อ	0.0001323*	576	9.552094
ความยาวเส้นใยแบบ LWW	0.136128	4.16839	9.552094
ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก	0.099743	5.474336	9.552094
ความโค้งงอของเส้นใย	0.153133	3.740566	9.552094
ความหักงอของเส้นใย	0.150067	3.811711	9.552094
ความกว้างของเส้นใย	0.189387	3.048387	9.552094

หมายเหตุ * คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} \leq 0.05$ และ $F_{cal} > F_{crit}$)

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการใช้ไซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตเยื่อต่อสมบัติของแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สถิติโดยใช้วิธี Anova แบบ single factor ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพิจารณาจากค่า P-value และค่า F จากการทดลองพบว่า การใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตเยื่อที่ระดับต่างๆ มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยดูได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทุกกรณี รวมถึงดูได้จากค่า F ซึ่งค่า F_{cal} มีค่ามากกว่าค่า F_{crit} ทุกกรณี

จากผลการศึกษานี้พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟางข้าวที่ระดับปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ เพื่อนำภาวะที่ได้ไปใช้ในการทดลองการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรในการทดลองตอนที่ 2 นั้น พบว่า ภาวะการผลิตเยื่อที่ใช้ระดับไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15

ของน้ำหนัฟางข้าวแห้งและมีการบดเยื่อก่อนนำไปทำการขึ้นแผ่นทดสอบถูกเลือกมาเป็นภาวะควบคุม เนื่องจากเป็นภาวะที่เหมาะสม ทั้งนี้เป็นเพราะการผลิตเยื่อที่ระดับปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่าร้อยละ 15 พบว่ายังมีปริมาณส่วนที่ไม่เป็นเยื่ออยู่สูงและความแข็งแรงของแผ่นทดสอบมีค่าต่ำ ส่วนการผลิตเยื่อที่ระดับปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่าร้อยละ 15 เริ่มทำให้ผลผลิตเยื่อและสมบัติด้านความแข็งแรงมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติต่างๆของแผ่นทดสอบ

สมบัติต่างๆของแผ่นทดสอบ	P-value	F _{cal}	F _{crit}
ความหนาแน่น	0.004472*	6.474184	3.304817
ความเรียบ	1.47E-15*	124.8902	3.304817
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	1.13E-10*	52.44097	3.304817
ดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีก	3.04E-05*	14.82237	3.304817
ความขาวสว่าง	5.9E-11*	55.34088	3.304817
ความทึบแสง	2.45E-14*	101.5773	3.304817

หมายเหตุ * คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} \leq 0.05$ และ $F_{cal} > F_{crit}$)

4.2 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน ร่วมกับเมทานอล และร่วมกับแอซีโตน ตามลำดับ

ผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 นี้เป็นผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 ซึ่งเป็นการดัดแปรการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว โดยการเติมสารแอนทราควิโนน (anthraquinone, AQ) หรือ เมทานอล (methanol, MeOH) หรือ แอซีโตน (acetone) โดยใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 ซึ่งคือ ที่ปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนัฟางข้าวแห้ง มาทำการเติมแอนทราควิโนนร้อยละ 0, 0.1 และ 0.2 ของน้ำหนัฟางข้าวแห้ง หรือ เติมเมทานอลร้อยละ 0 และ 20

ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด หรือ เติมน้ำขึ้นร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด โดยผลิตเยื่อที่ภาวะเดิมคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที จากนั้นทำการทดสอบสมบัติของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือจากการผลิตเยื่อ นำเยื่อที่ได้มาทำการบดเยื่อก่อนขึ้นแผ่นทดสอบ แล้วทำการทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 การผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน

4.2.1.1 ผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ

การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร่วมกับการเติมแอนทราควิโนน พบว่าให้ผลผลิตเยื่อสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-6 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอนทราควิโนนช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต จึงส่งผลทำให้การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร่วมนั้นมีผลผลิตเยื่อที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการเติมแอนทราควิโนนลงไปในการกระบวนการผลิตเยื่อ พบว่าเมื่อทำการใส่แอนทราควิโนนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 เป็น 0.2 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ส่งผลให้ผลผลิตเยื่อมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนนเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4-6 สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน

ปริมาณ AQ (%)	ผลผลิตเยื่อ (%)	ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (%)
0	39.32±0.40	2.40±1.25
0.1	41.49±4.31	3.34±0.22
0.2	47.06±3.51	2.09±0.62

เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนนในการผลิตเยื่อดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-9 หน้า 67 พบว่า การเติมแอนทราควิโนนในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งเป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์สถิติของการเติมแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติเยื่อฟางข้าวโดยใช้วิธี Anova แบบ single factor เนื่องจากค่า P-value ของผลผลิตเยื่อ และ P-value ของส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ ต่างมีค่าสูงกว่า 0.05

4.2.1.2 คับปานัมเบอร์

จากตารางที่ 4-7 จะเห็นได้ว่าการเติมแอนทราควิโนน ส่งผลให้ค่าคับปานัมเบอร์มีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา เนื่องจากแอนทราควิโนนเป็นสารที่ช่วยทำให้ลิกนินมีขนาดเล็กลง จึงส่งผลให้มีการละลายลิกนินออกจากเยื่อได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเติมแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.1 เป็นร้อยละ 0.2 ค่าคับปานัมเบอร์กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหากแต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็มีค่ามากขึ้นด้วย เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผลต่อค่าคับปานัมเบอร์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-9 หน้า 67

4.2.1.3 ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ

จากตารางที่ 4-7 พบว่า การผลิตเยื่อที่ผลิตโดยวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนนส่งผลให้ไม่มีปริมาณต่างเหลือในระบบ ซึ่งไม่แตกต่างไปจากการทดลองควบคุมที่ไม่มีการใช้แอนทราควิโนน

ตารางที่ 4-7 คับปานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน

ปริมาณ AQ (%)	คับปานัมเบอร์	ปริมาณต่างเหลือหลังจากการผลิตเยื่อ (กรัม/ลิตร)
0	22.04±1.76	0.00±0.00
0.1	18.14±0.53	0.00±0.00
0.2	20.12±2.51	0.00±0.00

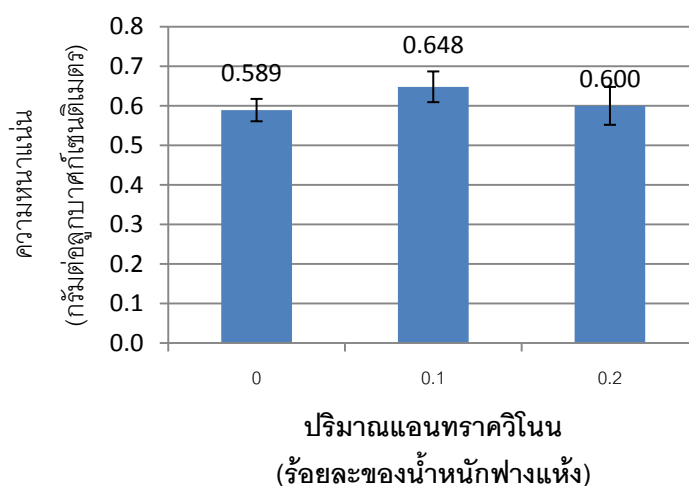
4.2.1.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากการทดลองได้ศึกษาความยาวเส้นใยและลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการบดเยื่อดังแสดงในตารางที่ 4-8 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้น ความยาวของเส้นใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอนทราควิโนนไปช่วยป้องกันคาร์โบไฮเดรตของเส้นใยถูกทำลาย จากผลการทดลองที่ได้ยังพบว่า ความโค้ง

งอและความหักงอของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากลิกนินถูกละลายออกมาขึ้น และไม่ย้อนกลับมาติดในเส้นใย ส่วนความกว้างของเส้นใยที่แอนทราควิโนนระดับต่างๆ นั้นมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงไว้ในตารางที่ 4-9 หน้า 67 พบว่า ปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความยาวเส้นใยแบบ LWW ความโค้งงอของเส้นใย และความหักงอของเส้น แต่ปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก และความกว้างของเส้นใย

ตารางที่ 4-8 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีไฮดรอลิกกับแอนทราควิโนน

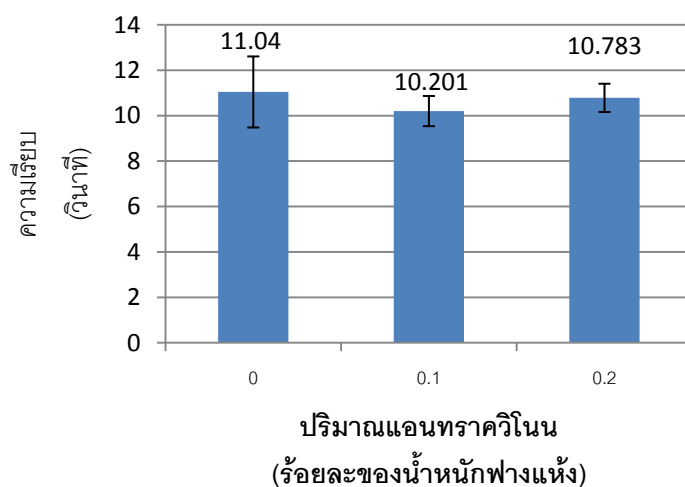
AQ (%)	ความยาวเส้นใย แบบ LWW (มิลลิเมตร)	ปริมาณเส้นใย ขนาดเล็ก (%)	ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย	ดัชนีความหักงอของเส้นใย	ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)
0	0.805±0.03	41.467±1.13	0.082±0.017	1.726±0.29	14.850±0.25
0.1	0.761±0.03	41.357±1.54	0.079±0.003	1.697±0.10	14.975±0.21
0.2	0.931±0.04	38.564±0.39	0.057±0.002	1.246±0.04	14.925±0.15



ภาพที่ 4-7 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.1.5 ความหนาแน่นปรากฏ

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรบำบัดแปรที่มีเติมแอนทราควิโนน แสดงดังภาพที่ 4-7 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแอนทราควิโนนจากร้อยละ 0 เป็น 0.1 แต่กลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับปริมาณแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้นจาก 0.1 เป็น 0.2 การที่แอนทราควิโนนส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 ช่วยละลายลิกนินออกจากเส้นใยได้มากกว่าจึงทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและแนบชิดกันได้ดี กระดาษที่ได้จึงมีความหนาแน่นสูง จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-10 หน้า 68 พบว่าปริมาณแอนทราควิโนนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-8 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.1.6 ความเรียบ

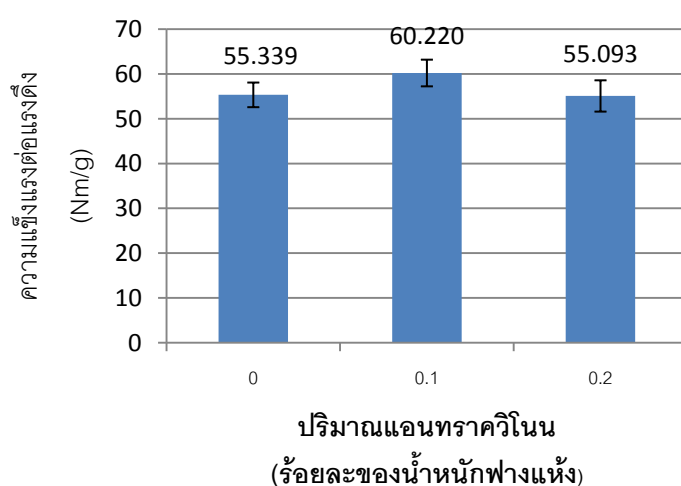
ความเรียบของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรบำบัดแปรที่มีเติมแอนทราควิโนน จากภาพที่ 4-8 พบว่า ความเรียบของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง และความเรียบเพิ่มขึ้นจากระดับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 เป็น 0.2 เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณแอนทราควิโนนปริมาณ

สูงขึ้น ความโค้งงอและหักงอของเส้นใยลดลงทำให้เส้นใยแนบชิดกันได้ดีขึ้น จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-10 หน้า 68 พบว่า ปริมาณแอนทราควิโนนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเรียบของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

4.2.1.7 สมบัติด้านความแข็งแรง

4.2.1.7.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

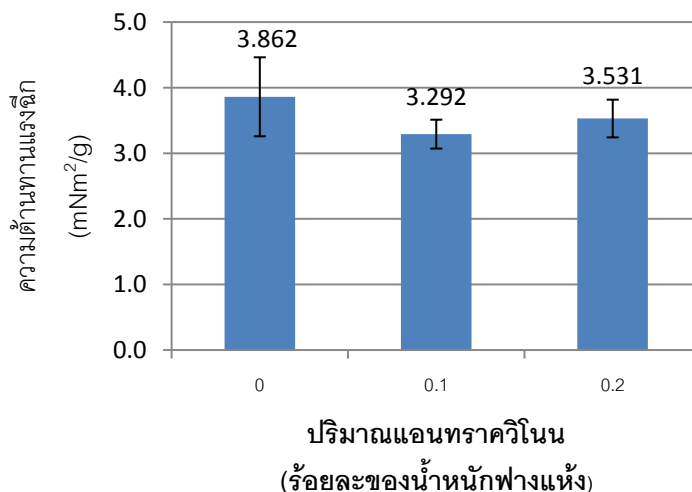
แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีโซดาตัดแปรที่มีการเติมแอนทราควิโนนในระดับต่างๆ มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าการผลิตเยื่อวิธีโซดาแสดงในภาพที่ 4-9 พบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน เนื่องจากจากแอนทราควิโนนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยได้ เส้นใยจึงมีความยืดหยุ่น สร้างพันธะได้ดี และยังพบว่าการเติมแอนทราควิโนนยังช่วยป้องกันคาร์โบไฮเดรตถูกทำลาย เมื่อนำมาขึ้นเป็นแผ่นกระดาษเส้นใยจึงมีการแนบชิดระหว่างกันได้ดีขึ้น สามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีขึ้น แต่เมื่อถึงเพิ่มปริมาณแอนทราควิโนนจากร้อยละ 0.1 เป็น 0.2 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงกลับลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่ร้อยละ 0.2 ลิกนินถูกกำจัดออกน้อยกว่า จึงทำให้เส้นใยสร้างพันธะกันไม่ได้ดีเท่ากับที่ร้อยละ 0.1 เนื่องจากเส้นใยยืดหยุ่นน้อยลง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-10 หน้า 68 พบว่าปริมาณแอนทราควิโนนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-9 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.1.7.2 ความต้านทานแรงฉีก

ความต้านทานแรงฉีกเป็นความแข็งแรงที่ขึ้นอยู่กับความยาวและความแข็งแรงของเส้นใย ลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเส้นใยมีหน้าที่เสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่เส้นใย แต่การผลิตเยื่อแบบไซดาตัดแปรส่งผลให้มีการละลายลิกนินออกจากเส้นใยปริมาณมาก จึงส่งผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง ทำให้ค่าความต้านทานแรงฉีกของเยื่อที่มีการเติมแอนทราควิโนนมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4-10 จากผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน และเมื่อปริมาณการเติมแอนทราควิโนนจากร้อยละ 0.1 เป็น 0.2 แผ่นทดสอบมีค่าความต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.2 ช่วยละลายลิกนินออกจากเส้นใยน้อยกว่าที่ร้อยละ 0.1 นอกจากนี้เส้นใยที่ได้จากการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่เพิ่มขึ้นยังยาวกว่าจึงทำให้เส้นใยแข็งแรงขึ้น เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-10 หน้า 68 พบว่าปริมาณแอนทราควิโนนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

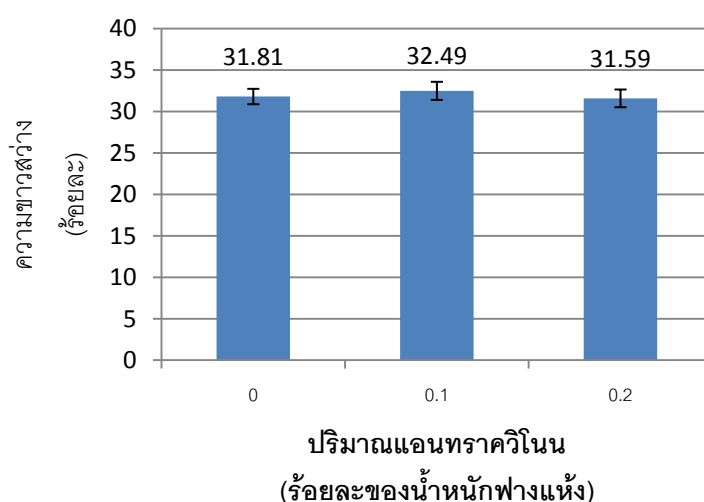


ภาพที่ 4-10 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.1.8 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

4.2.1.8.1 ความขาวสว่าง

แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวีชีโซดาตัดแปรที่มีการเติมแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 มีค่าความขาวสว่างมากกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวีชีโซดา ดังแสดงในภาพที่ 4-11 เนื่องจากการผลิตเยื่อวีชีโซดาตัดแปรนั้น ลิกนินซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลืองในกระดาษถูกละลายออกได้มากกว่าการผลิตเยื่อแบบโซดา แต่เมื่อมีการเติมแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.2 ค่าความขาวสว่างกลับลดลง อาจเป็นผลมาจากลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อมากกว่า เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-10 หน้า 68 พบว่าปริมาณแอนทราควิโนนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

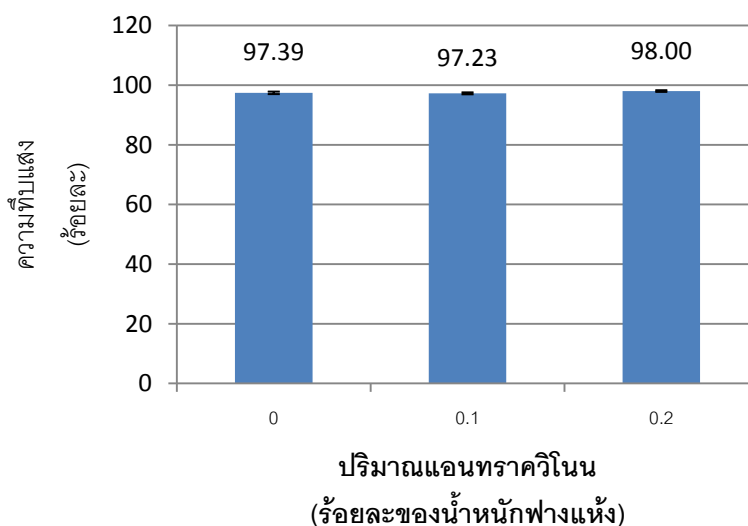


ภาพที่ 4-11 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.1.8.2 ความทึบแสง

แผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อวีชีโซดาตัดแปรโดยเติมแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 มีค่าความทึบแสงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อวีชีโซดาดังแสดงในภาพที่ 4-12 เนื่องจากลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อแบบโซดาตัดแปรมีปริมาณน้อยกว่าในเยื่อแบบโซดา ทำให้เส้นใยสามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีขึ้น ทำให้เหลือพื้นที่ผิวในการกระเจิงแสงน้อยลง เมื่อพิจารณาระดับการเติมแอนทราควิโนนโดยเพิ่มปริมาณแอนทราควิโนนจากร้อยละ

0.1 เป็น 0.2 พบว่าค่าความทึบแสงมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 97.23 เป็นร้อยละ 98.00 เนื่องจากปริมาณลิกนินที่เหลือในเยื่อทำให้เยื่อสามารถดูดกลืนแสงได้มากขึ้น เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-10 หน้า 68 พบว่าปริมาณแอนทราควิโนนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความทึบแสงของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-12 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.1.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Anova แบบ single factor ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ของสมบัติต่างๆ ของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักรองแห้ง และใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ เพื่อดูว่าการเติมปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ มีผลต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งจากการทดลองพบว่า การใช้ปริมาณแอนทราควิโนนร่วมในการผลิตเยื่อมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเยื่อและเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ความยาวเส้นใยแบบ LWW ความโค้งงอของเส้นใย และความหักงอของเส้นใย โดยดูได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมถึงดูได้จากค่า F ซึ่งค่า F_{cal} มีค่ามากกว่าค่า F_{crit} ส่วน ผลผลิตเยื่อ ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ คัปปานัมเบอร์ ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก และความกว้างของเส้นใยนั้น การใช้แอนทราควิโนนระดับต่างๆ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติของเยื่อฟางข้าวและเส้นใย

สมบัติต่างๆ ของเยื่อ	P-value	F _{cal}	F _{crit}
ผลผลิตเยื่อ	0.29212	2.0088	18.51282
ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ	0.11673	7.097792	18.51282
คัปปานัมเบอร์	0.463602	0.807894	18.51282
ความยาวเส้นใยแบบ LWW	0.043921*	21.27934	18.51282
ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก	0.138976	5.732848	18.51282
ความโค้งงอของเส้นใย	0.016376*	59.56923	18.51282
ความหักงอของเส้นใย	0.029102*	32.86957	18.51282
ความกว้างของเส้นใย	0.732739	0.153846	18.51282

หมายเหตุ * คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} \leq 0.05$ และ $F_{cal} > F_{crit}$)

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 15 ร่วมกับแอนทราควิโนนในการผลิตเยื่อต่อสมบัติของแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สถิติโดยใช้วิธี Anova แบบ single factor ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพิจารณาจากค่า P-value และค่า F จากการทดลองพบว่า การใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตเยื่อที่ระดับต่างๆ มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยดูได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทุกกรณี รวมถึงดูได้จากค่า F ซึ่งค่า F_{cal} มีค่ามากกว่าค่า F_{crit} ทุกกรณี

จากผลการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนนจากฟางข้าวที่ระดับปริมาณแอนทราควิโนนต่างๆ เพื่อนำภาวะที่ได้ไปใช้ในการทดลองการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรในการทดลองตอนที่ 3 นั้น พบว่า จะทำการเลือกภาวการณ์ผลิตเยื่อที่ใช้ระดับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง เนื่องจากการผลิตเยื่อที่ระดับแอน

ทราควิโนนร้อยละ 0.2 ทำให้ผลผลิตเชื้อเพิ่มขึ้นแต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติแล้วกลับไม่ส่งผลทางนัยสำคัญทางสถิติ และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.2 กลับไม่แตกต่างจากที่ร้อยละ 0.1 จึงเลือกใช้ที่ปริมาณน้อยกว่าเพราะเป็นการประหยัดสารเคมี

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติต่างๆของแผ่นทดสอบ

สมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบ	P-value	F _{cal}	F _{crit}
ความหนาแน่น	0.01284*	7.334289	4.300949
ความเรียบ	0.037258*	4.915535	4.300949
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	0.000828*	14.97706	4.300949
ดัชนีความต้านทานแรงฉีก	0.032723*	5.194118	4.300949
ความขาวสว่าง	0.000231*	19.30063	4.300949
ความทึบแสง	1.92E-07*	55.37914	4.300949

หมายเหตุ * คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} \leq 0.05$ และ $F_{\text{cal}} > F_{\text{crit}}$)

4.2.2 การผลิตเชื้อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับเมทานอล

4.2.2.1 ผลผลิตเชื้อและส่วนที่ไม่เป็นเชื้อ

การผลิตเชื้อแบบโซดาดัดแปรเมื่อมีการเติมเมทานอล พบว่า ให้ผลผลิตเชื้อสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตเชื้อแบบโซดา และเมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นร้อยละพบว่า มีผลผลิตเชื้อเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 26.7 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-11 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมทานอลช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต จึงส่งผลทำให้การผลิตเชื้อแบบ

โซดาตัดแปรนั้นมีผลผลิตเยื่อที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมเมทานอล

ตารางที่ 4-11 สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดาร่วมกับเมทานอล

ปริมาณเมทานอล (%)	ผลผลิตเยื่อ (%)	ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (%)
0	39.32±0.40	2.40±1.25
20	49.81±5.25	4.22±0.65

4.2.2.2 คัปปานัมเบอร์

จากตารางที่ 4-12 จะเห็นได้ว่าการเติมเมทานอล ส่งผลให้ค่าคัปปานัมเบอร์มีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา จาก 22.04 เป็น 16.98 เนื่องจากเมทานอลเป็นสารที่ช่วยทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์มีการแทรกซึมได้ดี ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาในการละลายลิกนินดีขึ้น และยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยา lignin condensation ในกระบวนการผลิตเยื่อได้อีกด้วย จึงส่งผลให้การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรโดยใช้เมทานอลมีค่าคัปปานัมเบอร์ที่ลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา

4.2.2.3 ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ

จากตารางที่ 4-7 พบว่า การผลิตเยื่อที่ผลิตโดยวิธีโซดาร่วมกับแอนทราควิโนนส่งผลให้ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือในระบบ ซึ่งไม่แตกต่างไปจากการทดลองควบคุมที่ไม่มีการใช้เมทานอล

ตารางที่ 4-12 คัปปานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับเมทานอล

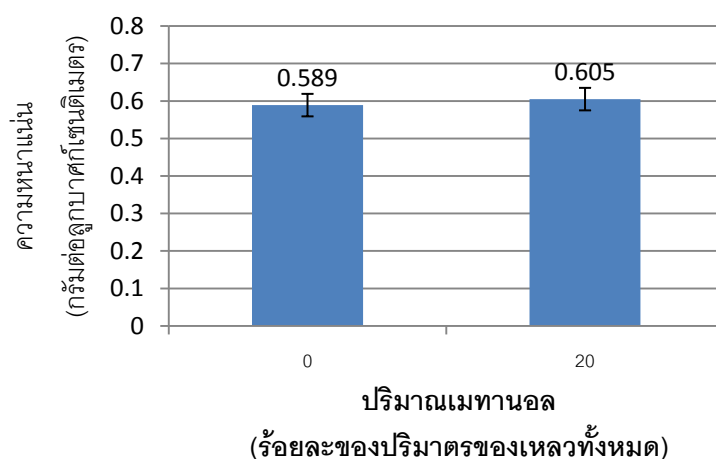
ปริมาณ เมทานอล (%)	คัปปานัมเบอร์	ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากผลิตเยื่อ (กรัม/ลิตร)
0	22.04±1.76	0.00±0.00
20	16.98±0.78	0.00±0.00

4.2.2.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากการทดลองได้ศึกษาความยาวเส้นใยและลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการบดเยื่อดังแสดงในตารางที่ 4-13 พบว่า เมื่อมีการเติมเมทานอลทำให้ความยาวของเส้นใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมทานอลช่วยป้องกันให้คาร์โบไฮเดรตในเส้นใยถูกทำลายลดลง จากผลการทดลองที่ได้ยังพบว่า ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง ส่วนความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะลิกนินถูกกำจัดออกมาทำให้เส้นใยมีการยืดหยุ่นตัวดีขึ้น ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยจึงลดลง

ตารางที่ 4-13 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดาร่วมกับแอนทราควิโนน

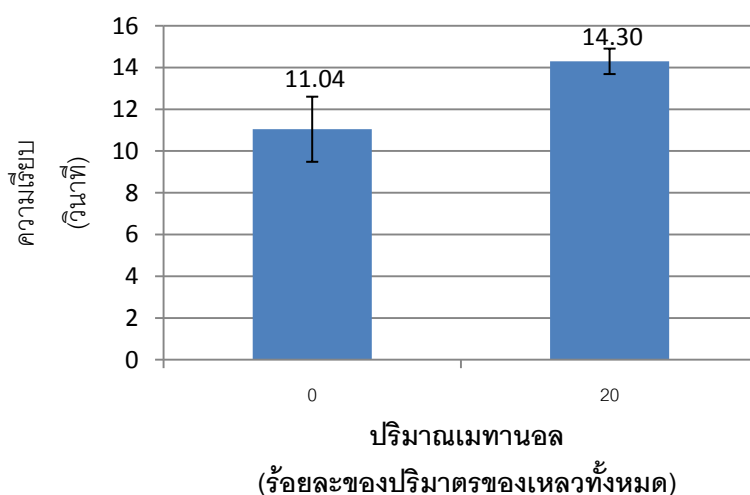
เมทานอล (%)	ความยาวเส้นใย แบบ LWW (มิลลิเมตร)	ปริมาณเส้นใย ขนาดเล็ก (%)	ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย	ดัชนีความหักงอของเส้นใย	ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)
0	0.805±0.03	41.467±1.13	0.082±0.017	1.726±0.29	14.850±0.25
20	0.830±0.03	40.893±1.28	0.075±0.004	1.581±0.07	15.300±0.12



ภาพที่ 4-13 ผลของปริมาณเมทานอลโนนต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.2.5 ความหนาแน่นปรากฏ

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรบำบัดที่มีการเติมเมทานอลเพิ่มขึ้นจาก 0.589 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 0.605 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 4-13 เนื่องจากเมทานอลช่วยละลายลิกนินออกจากเส้นใยได้มากกว่าจึงทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและแนบชิดกันได้ดี กระดาษที่ได้จึงมีความหนาแน่นสูง



ภาพที่ 4-14 ผลของปริมาณเมทานอลต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

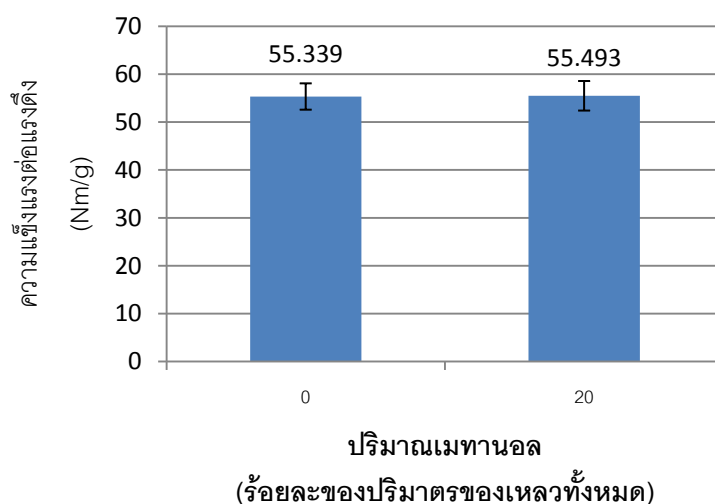
4.2.2.6 ความเรียบ

ความเรียบของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรบำบัดที่มีการเติมเมทานอล จากภาพที่ 4-14 พบว่า ความเรียบของแผ่นทดสอบมีเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมเมทานอลจาก 11.04 วินาที เป็น 14.30 วินาที เนื่องจากเมทานอลเข้าไปละลายลิกนินออกได้มากทำให้เส้นใยยืดหยุ่น แนบตัวกันได้ดีนอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยมีการโค้งงอหรือหักงอเล็กน้อย ทำให้กระดาษเรียบขึ้น

4.2.2.7 สมบัติด้านความแข็งแรง

4.2.2.7.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

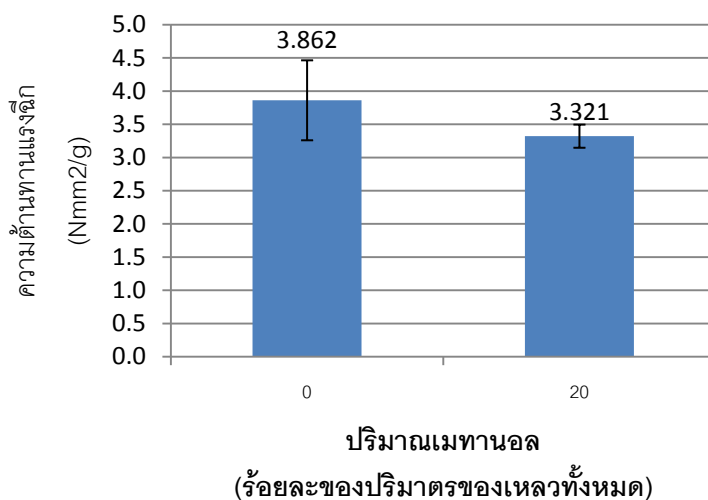
แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีโซดาตัดแปรที่มีการเติมเมทานอลมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าการผลิตเยื่อวิธีโซดาเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4-15 เนื่องจากเมทานอลช่วยกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยได้ เส้นใยจึงมีความยืดหยุ่น สร้างพันธะได้ดีขึ้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเติมเมทานอลยังช่วยป้องกันคาร์โบไฮเดรตถูกทำลาย จึงทำให้เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและมีความอ่อนตัวมากขึ้น



ภาพที่ 4-15 ผลของปริมาณเมทานอลต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.2.7.2 ความต้านทานแรงฉีก

จากการทดลองพบว่า การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรโดยเติมเมทานอลให้ค่าความต้านทานแรงฉีกลดลง เนื่องจากเมทานอลช่วยละลายลิกนินออกจากเส้นใยมาก จึงส่งผลให้เส้นใยมีความแกร่งลดลง ทำให้ค่าความต้านทานแรงฉีกของเยื่อมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4-16 จากผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลงจาก 3.862 เป็น 3.321

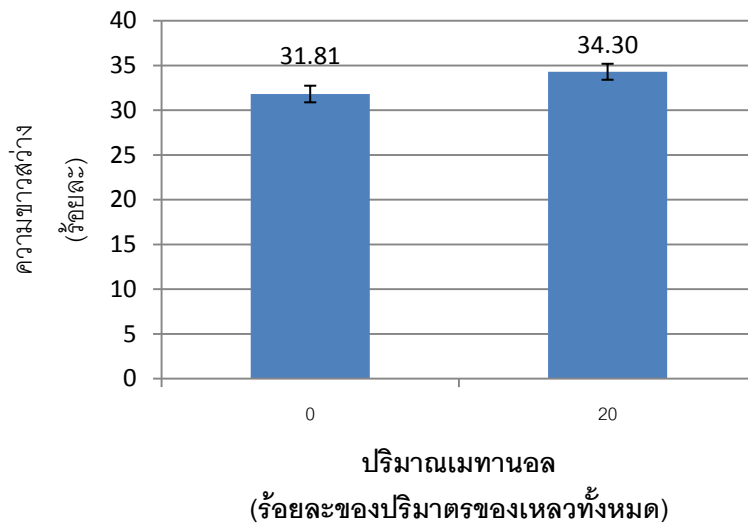


ภาพที่ 4-16 ผลของปริมาณเมทานอลต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.2.8 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

4.2.2.8.1 ความขาวสว่าง

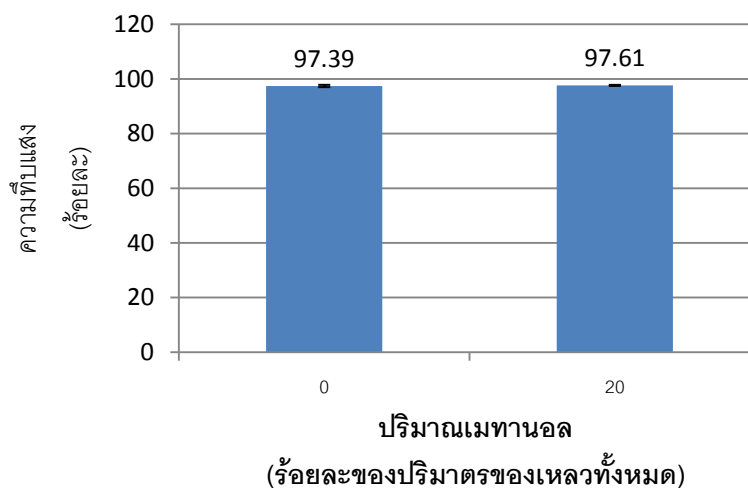
แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีไซตาตัดแปรที่มีการเติมเมทานอลมีค่าความขาวสว่างมากกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีไซตา ดังแสดงในภาพที่ 4-17 จากการทดลองพบว่าค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 31.81 เป็น 34.30 เนื่องจากเยื่อที่ผลิตได้จากวิธีไซตาตัดแปรที่มีการเติมเมทานอลนั้นสามารถละลายลิกนินออกได้มากกว่าการผลิตเยื่อแบบไซตา โดยเมทานอลจะช่วยทำให้สารเคมีแทรกซึมสารเคมีให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4-17 ผลของปริมาณเมทานอลต่อความขาวสว่างของ
กระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.2.8.2 ความทึบแสง

แผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อวิธีโซดาตัดแปรโดยเติมเมทานอล มีค่าความทึบแสงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อวิธีโซดาตั้งแสดงในภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-18 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความทึบแสง
ของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.3 การผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอสซีโทน

4.2.3.1 ผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ

การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร่วมเมื่อมีการเติมแอสซีโทน พบว่าให้ผลผลิตเยื่อสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-14 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแอสซีโทนช่วยกำจัดลิกนินแล้วยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลส จึงส่งผลทำให้การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร่วมนั้นมีผลผลิตเยื่อที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการเติมแอสซีโทนลงไปในระบบวนการผลิตเยื่อ พบว่าผลผลิตของเยื่อแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใส่แอสซีโทนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณร้อยละ 40 หลังจากนั้นผลผลิตเยื่อจะเริ่มลดลง ในขณะที่ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณแอสซีโทนเพิ่ม

ตารางที่ 4-14 สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดาข้าวร่วมกับแอสซีโทน

ปริมาณแอสซีโทน (%)	ผลผลิตเยื่อ (%)	ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (%)
0	39.32±0.40	2.40±1.25
20	44.27±5.49	3.82±1.07
40	45.97±6.11	4.63±3.56
60	43.75±4.28	7.52±2.66

เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอสซีโทนในการผลิตเยื่อดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-17 หน้า 83 ซึ่งเป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์สถิติของการเติมแอสซีโทนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติเยื่อฟางข้าวโดยใช้วิธี Anova แบบ single factor พบว่า การเติมแอสซีโทนในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อของการผลิตเยื่อแบบโซดาข้าวร่วมกับแอสซีโทนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากค่า P-value ของผลผลิตเยื่อ และ P-value ของส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ ต่างมีค่าสูงกว่า 0.05

4.2.3.2 คัปปานัมเบอร์

จากตารางที่ 4-15 จะเห็นได้ว่าการเติมแอสซีโทน ส่งผลให้ค่าคัปปานัมเบอร์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา เนื่องจากแอสซีโทนจะเข้าไปทำให้ลิกนินมีขนาดเล็กกลงและเข้าไปทำลายพันธะระหว่างลิกนินกับเซลลูโลส [17] จึงส่งผลให้มีปฏิกิริยาการละลาย

ลิกนินออกจากเยื่อได้ดีขึ้น และพบว่าเมื่อเติมแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 60 ค่าคัปปานัมเบอร์เพิ่มขึ้น เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนนที่ระดับต่างๆ พบว่าไม่ส่งผลต่อค่าคัปปานัมเบอร์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-17 หน้า 83

4.2.3.3 ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ

จากตารางที่ 4-14 พบว่า การผลิตเยื่อที่ผลิตโดยวิธีโซดา ร่วมกับแอสซีโทน ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือ อย่างไรก็ตาม ในการทดลองควบคุมซึ่งไม่มีการใช้แอสซีโทนนั่นก็ไม่มีปริมาณต่างเหลืออยู่แล้ว

ตารางที่ 4-15 คัปปานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อแบบวิธีโซดา ร่วมกับแอสซีโทน

ปริมาณแอสซีโทน (%)	คัปปานัมเบอร์	ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ (กรัม/ลิตร)
0	22.04±1.76	0.00±0.00
20	17.77±0.69	0.00±0.00
40	18.13±0.23	0.00±0.00
60	24.25±1.73	0.00±0.00

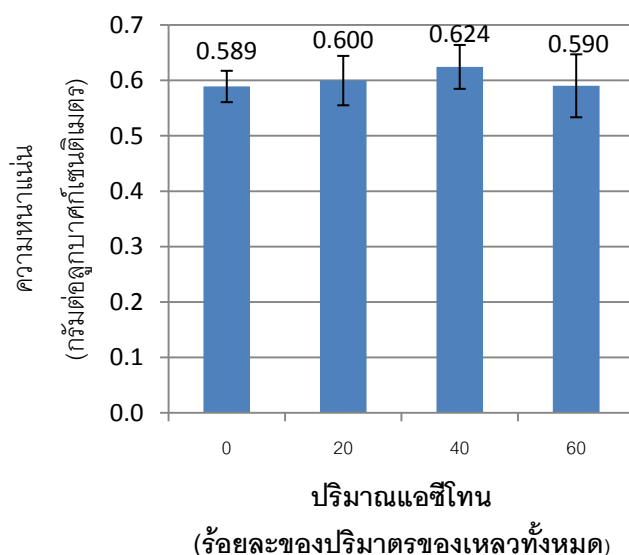
4.2.3.4 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใย

จากการทดลองได้ศึกษาความยาวเส้นใยและลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการบดเยื่อดังแสดงในตารางที่ 4-16 พบว่า การเติมแอสซีโทนมีแนวโน้มทำให้ความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแอสซีโทนช่วยป้องกันคาร์โบไฮเดรตไว้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยในระบบมากขึ้น ดังนั้นความโค้งงอและหักงอของเส้นใยลดลง และความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการที่ลิกนินถูกกำจัดออกมากขึ้น เส้นใยรับน้ำได้ดีขึ้นความโค้งงอของเส้นใยจึงลดลง และความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อที่ได้จากการต้มแบบโซดา ส่วนการใช้ปริมาณแอสซีโทนแต่ละระดับให้ค่าความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก และความกว้างของเส้นใยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นความโค้งงอและหักงอเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณแอสซีโทนมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดัง

แสดงไว้ในตารางที่ 4-17 หน้า 83 พบว่า ปริมาณแอสีโทนที่ระดับต่างๆส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความโค้งงอของเส้นใย และความหักงอของเส้นใย แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความยาวเส้นใย ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก และความกว้างของเส้นใย

ตารางที่ 4-16 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดาร่วมกับแอสีโทน

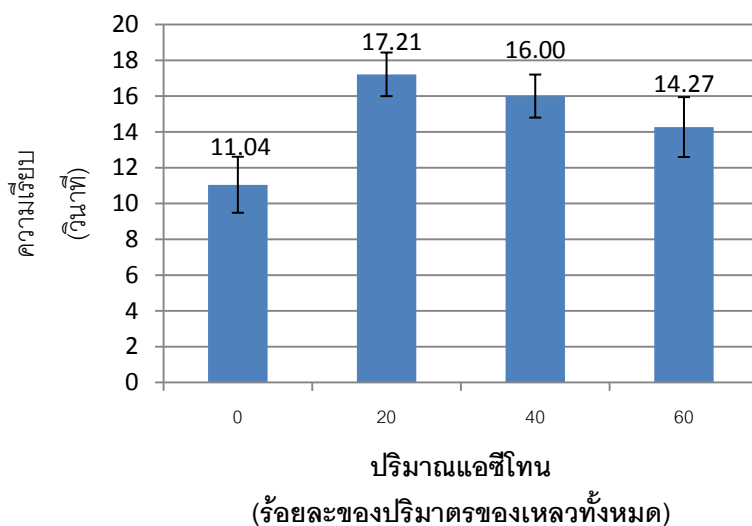
แอสีโทน (%)	ความยาวเส้นใย แบบ LWW (มิลลิเมตร)	ปริมาณเส้นใย ขนาดเล็ก (%)	ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย	ดัชนีความหักงอของเส้นใย	ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)
0	0.805±0.03	41.467±1.13	0.082±0.017	1.726±0.29	14.850±0.25
20	0.921±0.07	38.658±0.88	0.065±0.005	1.412±0.07	15.450±0.19
40	0.911±0.07	37.076±2.62	0.070±0.002	1.564±0.05	15.275±0.17
60	0.926±0.06	39.200±0.91	0.082±0.004	1.776±0.07	15.300±0.16



ภาพที่ 4-19 ผลของปริมาณแอสีโทนต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.3.5 ความหนาแน่นปรากฏ

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรดาตัดแปรที่มีเติมแอสซีโตน แสดงดังภาพที่ 4-19 พบว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบไฮโดรดา และการเติมแอสซีโตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณแอสซีโตนเพิ่มขึ้น และค่าความหนาแน่นเริ่มลดลงเมื่อใช้ปริมาณแอสซีโตนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็น 60 เนื่องมาจากการใช้ปริมาณแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 40 ช่วยละลายลิกนินออกจากเส้นใยได้มากกว่าจึงทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่น และแนบชิดกันได้ดี กระดาษที่ได้จึงมีความหนาแน่นสูงจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-18 หน้า 84 พบว่า ปริมาณแอสซีโตนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-20 ผลของปริมาณแอสซีโตนต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

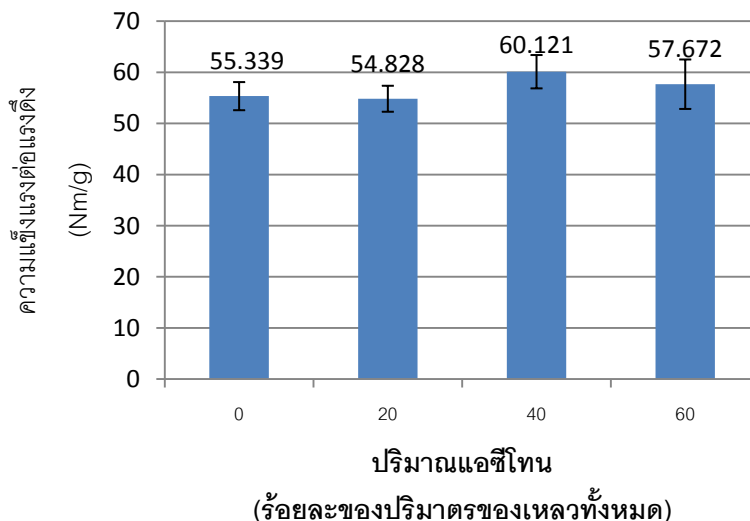
4.2.3.6 ความเรียบของแผ่นทดสอบ (smoothness)

ความเรียบของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรดาตัดแปรที่เติมแอสซีโตน จากภาพที่ 4-20 พบว่า ความเรียบของแผ่นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมแอสซีโตน และค่าความเรียบลดลงเมื่อมีการใช้ปริมาณแอสซีโตนเพิ่มขึ้น เนื่องจากลิกนินถูกละลายออกจากเส้นใยลดลงสามารถดูได้จากตารางที่ 4-14 ทำให้เส้นใยแนบตัวกันได้ดีไม่เท่ากับที่ใช้ปริมาณแอสซีโตนน้อยๆ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-18 หน้า 84 พบว่า ปริมาณแอสซีโตนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเรียบของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

4.2.3.7 สมบัติด้านความแข็งแรง

4.2.3.7.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีโซดาตัดแปรที่มีการเติมแอสีโทนในระดับต่างๆมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าการผลิตเยื่อวิธีโซดาตั้งแสดงในภาพที่ 4-21 พบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมแอสีโทน เนื่องจากจากแอสีโทนช่วยทำให้ลิกนินมีขนาดเล็กกลงและช่วยละลายลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้เส้นใยจึงมีความยืดหยุ่น สร้างพันธะได้ดี แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสีโทนร้อยละ 40 เป็น 60 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลง เนื่องจากที่ร้อยละ 60 ลิกนินถูกกำจัดออกน้อยกว่า จึงทำให้เส้นใยสร้างพันธะกันได้ดีไม่เท่ากับที่ร้อยละ 40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-18 หน้า 84 พบว่าปริมาณแอสีโทนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

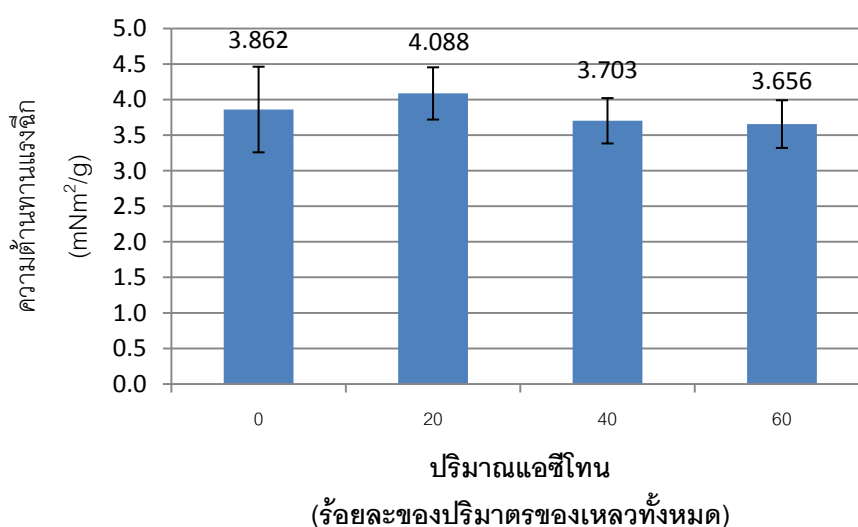


ภาพที่ 4-21 ผลของปริมาณแอสีโทนต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.3.7.2 ความต้านทานแรงฉีก

การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรโดยการเติมแอสีโทนส่งผลให้มีการละลายลิกนินออกจากเส้นใยปริมาณมาก จึงส่งผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง ทำให้ค่าความต้านทาน

แรงฉีกของเยื่อที่มีการเติมแอสซีโทนมีค่าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4-22 จากผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมแอสซีโทนในปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-18 หน้า 84 พบว่าปริมาณแอสซีโทนไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value มากกว่า 0.05



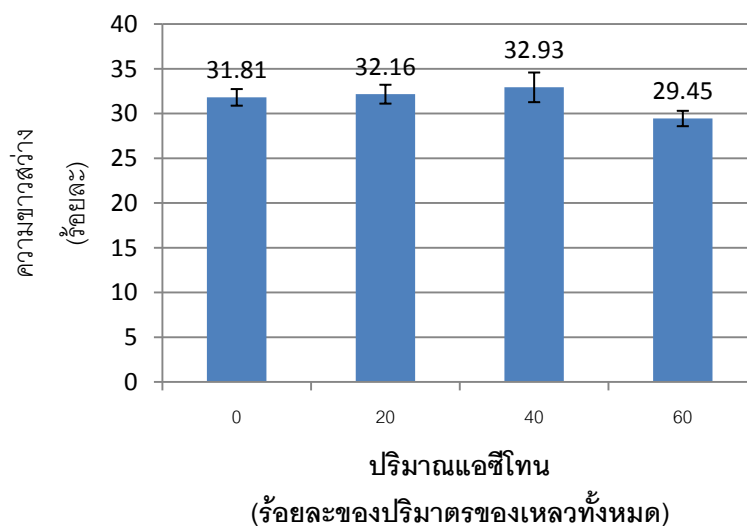
ภาพที่ 4-22 ผลของปริมาณแอสซีโทนต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีกของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.3.8 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

4.2.3.8.1 ความขาวสว่าง

แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีไซตาตัดแปรที่มีการเติมแอสซีโทนมีค่าความขาวสว่างมากกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีไซตา ดังแสดงในภาพที่ 4-23 เนื่องจากในการผลิตเยื่อวิธีไซตาตัดแปรนั้นลิกนินได้ถูกกำจัดออกได้มากกว่าการผลิตเยื่อแบบไซตา และพบว่าค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แอสซีโทนที่ร้อยละ 20 เป็น 40 เนื่องจากกำจัดลิกนินได้มากกว่า แต่เมื่อมีการเติมแอสซีโทนที่ร้อยละ 60 ค่าความขาวสว่างลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaménez ที่พบว่าค่าความขาวสว่างจะมีค่าสูงเมื่อใช้ปริมาณแอสซีโทนกลางๆ หากปริมาณสูงขึ้นค่าความขาวสว่างจะเริ่มลดลง เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตาราง

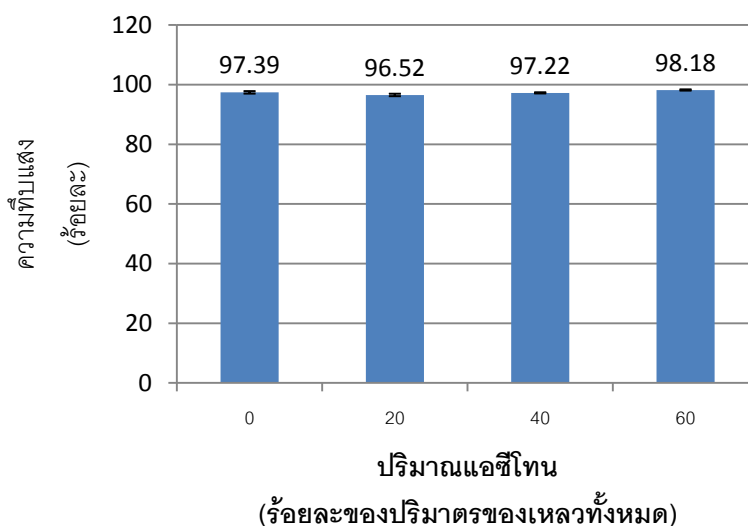
ที่ 4-18 หน้า 84 พบว่าปริมาณแอสีโทนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-23 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.3.8.2 ความทึบแสง

แผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อวิธีไซตาตัดแปรโดยเติมแอสีโทนมีค่าความทึบแสงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อวิธีไซตา ยกเว้นปริมาณแอสีโทนที่ร้อยละ 60 ดังแสดงในภาพที่ 4-23 เนื่องจากลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อแบบไซตาตัดแปรมีปริมาณน้อยกว่าในเยื่อแบบไซตาซึ่งทำให้แผ่นทดสอบมีสีเข้มขึ้น การดูดกลืนแสงจึงมากขึ้นทำให้ความทึบแสงสูงขึ้นไปด้วย เมื่อพิจารณาระดับการเติมแอสีโทนพบว่าค่าความทึบแสงเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณแอสีโทนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้ปริมาณแอสีโทนเพิ่มปริมาณลิกนินที่เหลือในเยื่อมากกว่าการเติมแอสีโทนน้อยๆ เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-18 หน้า 84 พบว่าปริมาณแอสีโทนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความทึบแสงของแผ่นทดสอบ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4-24 ผลของปริมาณแอนทราควิโนนต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.2.3.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 4-17 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Anova แบบ single factor ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ของสมบัติต่างๆ ของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตแบบโซดาพร้อมกับแอสซีโทน โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางแห้ง และใช้ปริมาณแอสซีโทนที่ระดับต่างๆ เพื่อดูว่าการเติมปริมาณแอสซีโทนที่ระดับต่างๆ มีผลต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งจากการทดลองพบว่า การใช้ปริมาณแอสซีโทนร่วมในการผลิตเยื่อมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเยื่อและเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ค่าป่านัมเบอร์ ความโค้งงอของเส้นใย และความหักงอของเส้นใย โดยดูได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมถึงดูได้จากค่า F ซึ่งค่า F_{cal} มีค่ามากกว่าค่า F_{crit} ส่วน ผลผลิตเยื่อ ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ ความยาวเส้นใยแบบ LWW ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก และความกว้างของเส้นใยนั้น ปริมาณแอสซีโทนที่ใช้ไม่ส่งผลต่อสมบัติดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณแอสซีโทนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติของเยื่อ ฟางข้าวและเส้นใย

สมบัติต่างๆ ของเยื่อ	P-value	F _{cal}	F _{crit}
ผลผลิตเยื่อ	0.912726	0.094157	9.552094
ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ	0.443336	1.079899	9.552094
คัปปานัมเบอร์	0.00604*	43.72524	9.552094
ความยาวเส้นใยแบบ LWW	0.97871	0.021675	9.552094
ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก	0.573897	0.67212	9.552094
ความโค้งงอของเส้นใย	0.017283*	20.93956	9.552094
ความหักงอของเส้นใย	0.012904*	25.76546	9.552094
ความกว้างของเส้นใย	0.477433	0.955556	9.552094

หมายเหตุ * คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} \leq 0.05$ และ $F_{cal} > F_{crit}$)

ตารางที่ 4-18 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ ร้อยละ 15 ร่วมกับแอสซีโทนในการผลิตเยื่อต่อสมบัติของแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สถิติโดย ใช้วิธี Anova แบบ single factor ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพิจารณาจากค่า P-value และค่า F จากการทดลองพบว่า การใช้ปริมาณแอสซีโทนในการผลิตเยื่อที่ระดับต่างๆ มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยดูได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 เกือบทุกกรณี รวมถึงดูได้จากค่า F ซึ่งค่า F_{cal} มีค่ามากกว่าค่า F_{crit} ยกเว้นความหนาแน่นของแผ่นทดสอบ

จากผลการศึกษานี้พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อวิธีโซดา ร่วมกับแอสซีโทนจาก ฟางข้าวที่ระดับปริมาณแอสซีโทนต่างๆ เพื่อนำภาวะที่ได้ไปใช้ในการทดลองการผลิตเยื่อแบบโซดา ดัดแปรในการทดลองตอนที่ 3 นั้น เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้พบว่า จะเลือกภาวะการผลิต เยื่อที่ใช้ระดับแอสซีโทนที่ร้อยละ 40 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด มาใช้ในการทดลองต่อไป

เนื่องจากการผลิตเยื่อที่ระดับแอสีโทนที่ร้อยละ 40 ให้ค่าผลผลิตเยื่อ และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงดีที่สุด

ตารางที่ 4-18 ผลการวิเคราะห์สถิติของการใช้ปริมาณแอสีโทนที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติต่างๆของแผ่นทดสอบ

สมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบ	P-value	F _{cal}	F _{crit}
1. ความหนาแน่น	0.207789	1.648474	3.284918
2. ความเรียบ	4.45E-05*	13.78454	3.284918
3. ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	0.005017*	6.243262	3.284918
4. ดัชนีความต้านทานแรงฉีก	0.00708*	5.773378	3.284918
5. ความขาวสว่าง	6.73E-10*	42.84362	3.284918
6. ความทึบแสง	3.32E-16*	126.5925	3.284918

หมายเหตุ * คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} \leq 0.05$ และ $F_{\text{cal}} > F_{\text{crit}}$)

4.3 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน

ผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 นี้เป็นผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3 ซึ่งเป็นการดัดแปรการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าว โดยการเติมสารแอนทราควิโนน (anthraquinone, AQ) เมทานอล (methanol, MeOH) และแอสีโทน (acetone) ร่วมกันดังแสดงในภาพที่ 3-12 หน้า 46 โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 ซึ่งคือ ที่ปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ปริมาณแอนทราควิโนนที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 ซึ่งคือ ที่ปริมาณร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ปริมาณเมทานอลที่ร้อยละ 20 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด และปริมาณแอสีโทนที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 ซึ่งคือร้อยละ 40 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด โดยผลิตเยื่อที่ภาวะเดิมคือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที จากนั้นนำเยื่อมาผ่าน

การบดเยื่อก่อนทำการทดสอบสมบัติของเยื่อและปริมาณต่างที่เหลือจากการผลิตเยื่อ นำเยื่อที่เหลือขึ้นแผ่นทดสอบแล้วทำการทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลผลิตเยื่อและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ

การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน พบว่าส่วนใหญ่ให้ผลผลิตเยื่อสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา (ภาวะที่ 1 เป็นภาวะควบคุม) ยกเว้นการผลิตเยื่อแบบภาวะที่ 6 และภาวะที่ 8 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-19 การที่ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากสารทั้งสามตัวต่างช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต ทำให้ได้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนลงไปในกระบวนการผลิตเยื่อพบว่าการเติมแอนทราควิโนนเพียงอย่างเดียว (ภาวะที่ 2) ส่งผลให้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การเติมแอสซีโทนเพียงอย่างเดียว (ภาวะที่ 7) ส่งผลให้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นมากกว่า และการเติมเมทานอลเพียงอย่างเดียว (ภาวะที่ 5) ทำให้ได้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในขณะที่เมื่อนำสารแต่ละตัวมาใช้ร่วมกันพบว่าผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น โดยการผลิตเยื่อแบบภาวะที่ 3 ส่งผลให้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 33.32 ซึ่งเป็นภาวะที่ให้ค่าผลผลิตเยื่อมากที่สุด

เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสซีโทนในการผลิตเยื่อดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-23 หน้า 101 พบว่าการเติมแอสซีโทนในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตเยื่อที่ได้ แอนทราควิโนนและเมทานอลในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตเยื่อที่ได้ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอลร่วมกับแอสซีโทนจึงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตเยื่อที่ได้

เมื่อมีการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน พบว่ามีปริมาณส่วนที่ไม่เป็นเยื่อเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะภาวะที่ 8 ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสซีโทนในการผลิตเยื่อดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-23 หน้า 101 พบว่า การเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสซีโทนร่วมกันจึงสามารถส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อส่วนที่ไม่เป็นเยื่อได้

ตารางที่ 4-19 สมบัติของเยื่อฟางข้าวที่ผลิตได้จากวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และ แอซีโทน

ภาวะการทดลอง	ผลผลิตเยื่อ (%)	ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (%)
1. AQ 0% MeOH 0% acetone 0%	39.32±0.40	2.40±1.25
2. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 0%	41.49±4.31	3.34±0.22
3. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 0%	52.42±0.78	3.46±1.14
4. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 40%	46.44±5.05	8.37±1.65
5. AQ 0% MeOH 20% acetone 0%	49.81±5.25	4.22±0.65
6. AQ 0% MeOH 20% acetone 40%	36.35±1.83	7.65±1.96
7. AQ 0% MeOH 0% acetone 40%	45.97±6.11	4.63±3.56
8. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 40%	31.29±2.40	21.38±6.81

4.3.2 คับปานัมเบอร์

จากตารางที่ 4-20 จะเห็นได้ว่าการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอซีโทน มีแนวโน้มส่งผลให้ค่าคัปานัมเบอร์มีลดลง เนื่องจากสารทั้งสามตัวต่างช่วยละลายลิกนินออกมาได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา (ภาวะที่ 1) ยกเว้นการผลิตเยื่อแบบภาวะที่ 6 และภาวะที่ 8 และเมื่อทำการเปรียบเทียบการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอซีโทนลงไปในกระบวนการผลิตเยื่อพบว่าการเติมแอนทราควิโนนเพียงอย่างเดียว (ภาวะที่ 2) และการเติมแอซีโทนเพียงอย่างเดียว (ภาวะที่ 7) ส่งผลต่อค่าคัปานัมเบอร์ไม่แตกต่างกัน ส่วนการเติมเมทานอลเพียงอย่างเดียว (ภาวะที่ 5) ส่งผลให้ค่าคัปานัมเบอร์ลดลงมากกว่าสองภาวะข้างต้น ในขณะที่เมื่อนำสารแต่ละตัวมาผลิตร่วมกันพบว่าค่าคัปานัมเบอร์ของการผลิตเยื่อแบบภาวะที่ 3 และ 4 มีค่าลดลง โดยภาวะที่ 3 ให้ค่าคัปานัมเบอร์ต่ำที่สุด

โดยมีค่าลดลงจากการผลิตเยื่อแบบโซดาถึงร้อยละ 27.77 แต่ภาวะที่ 6 และ 8 กลับส่งผลให้ค่าคัปปานัมเบอร์เพิ่มขึ้น

เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสีโทนในการผลิตเยื่อดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-23 พบว่าการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทนในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าคัปปานัมเบอร์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอลและแอสีโทนร่วมกัน ร่วมกับแอนทราควิโนน และแอสีโทนร่วมกันส่งผลต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อค่าคัปปานัมเบอร์ ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอลร่วมกัน และการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทนร่วมกันในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคัปปานัมเบอร์

4.3.3 ปริมาณด่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ (residual alkali)

จากตารางที่ 4-20 พบว่า การผลิตเยื่อที่ผลิตโดยวิธีโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน ไม่มีปริมาณด่างที่เหลือ อย่างไรก็ตาม ปริมาณด่างนั้นไม่มีเหลือตั้งแต่การทดลองควบคุมซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีทั้งสามชนิดแล้ว

4.3.4 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใย

จากการทดลองได้ศึกษาความยาวของเส้นใยและลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการบิดเยื่อดังแสดงในตารางที่ 4-21 พบว่า ความยาวของเส้นใยจากการผลิตเยื่อโซดาแบบดัดแปรยาวกว่าเส้นใยจากการผลิตเยื่อโซดา (ภาวะที่ 1) ยกเว้นแบบภาวะที่ 2 และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลงเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา จากผลการทดลองที่ได้ยังพบว่า ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยจากการผลิตเยื่อแบบโซดาดัดแปรลดลงเมื่อเทียบกับแบบโซดา (ยกเว้นภาวะที่ 6) ส่วนความกว้างของเส้นใยแบบโซดาดัดแปรกว้างกว่าแบบโซดา

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-23 พบว่า การใช้แอสีโทนเพียงอย่างเดียวส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความยาวเส้นใยแบบ LWW ส่วนแอนทราควิโนนและ เมทานอลไม่ส่งผลทางนัยสำคัญ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และเมทานอลร่วมกับแอสีโทนไม่ส่งผลต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อความยาวเส้นใยแบบ LWW การใช้แอสีโทนเพียงอย่างเดียวส่งผลต่อปริมาณเส้นใยขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนแอนทราควิโนนและเมทานอลไม่ส่งผลทางดั่งนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และเมทานอลร่วมกับแอสี

โชนไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก การใช้แอนทราควิโนนเพียงอย่างเดียว ส่งผลต่อดัชนีความโค้งงอ และความหักงอของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเมทานอลและเอซีโชนไม่ส่งผลทางนัยสำคัญ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอล และเอซีโชนร่วมกับแอนทราควิโนนไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อดัชนีความโค้งงอและหักงอของเส้น การใช้แอนทราควิโนนเพียงอย่างเดียวส่งผลต่อความกว้างของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเมทานอลและเอซีโชนไม่ส่งผลทางนัยสำคัญ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอล และเอซีโชนร่วมกับแอนทราควิโนนไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความกว้างของเส้นใย

ตารางที่ 4-20 ค่าปทานัมเบอร์ของเยื่อและปริมาณด่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อแบบวิธีไฮดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และเอซีโชน

ภาวะการทดลอง	ค่าค้ปทานัมเบอร์	ปริมาณด่างที่เหลือหลังจากการผลิตเยื่อ (กรัม/ลิตร)
1. AQ 0% MeOH 0% acetone 0%	22.04±1.76	0.00±0.00
2. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 0%	18.14±0.53	0.00±0.00
3. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 0%	15.92±0.76	0.00±0.00
4. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 40%	18.22±0.22	0.00±0.00
5. AQ 0% MeOH 20% acetone 0%	16.98±0.78	0.00±0.00
6. AQ 0% MeOH 20% acetone 40%	24.88±2.32	0.00±0.00
7. AQ 0% MeOH 0% acetone 40%	18.13±0.23	0.00±0.00
8. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 40%	24.29±2.20	0.00±0.00

4.3.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

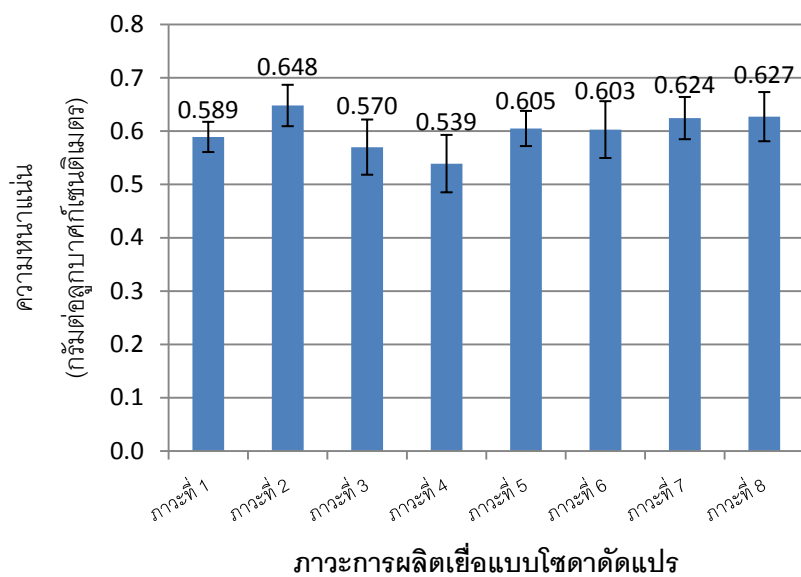
เมื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-22 พบว่า การเติมแอนทราควิโนนเพียงอย่างเดียว เมทานอลเพียงอย่างเดียว และเมทานอลร่วมกับแอสซีโทนส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเหล่านี้ช่วยป้องกันการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต ในขณะที่การเติมแอนทราควิโนนเพียงอย่างเดียว และการเติมเมทานอลร่วมกับแอสซีโทนส่งผลปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมแอสซีโทนเพียงอย่างเดียว และการเติมแอสซีโทนร่วมกับสารตัวอื่นๆ ช่วยลดปริมาณลิกนินที่เหลือในเยื่อ ซึ่งผลในส่วนของปริมาณลิกนิน อาจมีการขัดแย้งกับผลจากการหาค่าดัชนีป่านัมเบอร์ และงานวิจัยบางส่วนที่ผ่านมา อาจเนื่องมาจากเมื่อนำเยื่อที่ได้มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาจเกิดปฏิกิริยา lignin condensation ในระหว่างการผลิตเยื่อได้

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4-24 หน้า 102 พบว่าเกือบทุกภาวะการทดลองส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณไฮโดรเซลลูโลส และลิกนิน ยกเว้นภาวะที่มีการเติมแอนทราควิโนนร่วมกับแอสซีโทน ส่วนการเติมเมทานอล แอสซีโทน และการเติมเมทานอลร่วมกับแอสซีโทนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณแอลฟาเซลลูโลส ส่วนการเติมแอนทราควิโนน และปฏิสัมพันธ์ที่มีการเติมแอนทราควิโนนร่วมไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณแอลฟาเซลลูโลส ส่วนการเติมแอสซีโทนเพียงอย่างเดียวส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณเฮมิเซลลูโลส ส่วนภาวะอื่นๆ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณเฮมิเซลลูโลส และท้ายสุดทุกๆ ภาวะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเยื่อ

4.3.5 ความหนาแน่นปรากฏ

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีโซดาตัดแปรที่มีเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนร่วมกัน แสดงดังภาพที่ 4-25 พบว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าววิธีโซดา (ภาวะที่ 1) ยกเว้นภาวะที่ 3 และ 4 โดยภาวะที่ 2 ให้ค่าความหนาแน่นมากที่สุด อาจเนื่องมาจากมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเหลืออยู่มาก ทำให้การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยดีกว่าภาวะอื่นๆ เมื่อนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลของการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสซีโทนในการผลิตเยื่อดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-25 หน้า 103 พบว่า การเติมแอนทราควิโนน

เมทานอล และแอสีโทนในการผลิตเอี๊ยมไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่น ดังนั้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน เมทานอลและแอสีโทนร่วมกันในการผลิตเอี๊ยมไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญค่าความหนาแน่น



ภาพที่ 4-25 ผลของการผลิตเอี๊ยมแบบโพรพิลีนร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน ต่อความหนาแน่นของกระดาษที่ผลิตจากเอี๊ยมฟางข้าว

ตารางที่ 4-21 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตเยื่อแบบวิธีไฮดรอลิกร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน

ภาวะการทดลอง	ความยาวเส้นใย แบบ LWW (มิลลิเมตร)	ปริมาณเส้นใย ขนาดเล็ก (%)	ดัชนีความโค้งงอ ของเส้นใย	ดัชนีความหักงอ ของเส้นใย	ความกว้าง ของเส้นใย (ไมโครเมตร)
1. AQ 0% MeOH 0% acetone 0%	0.805±0.027	41.467±1.13	0.082±0.017	1.726±0.29	14.850±0.252
2. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 0%	0.761±0.030	41.357±1.54	0.079±0.003	1.697±0.10	14.975±0.21
3. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 0%	0.901±0.054	36.825±0.69	0.057±0.003	1.242±0.074	14.925±0.287
4. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 40%	0.900±0.064	37.084±1.582	0.062±0.002	1.382±0.037	14.950±0.129
5. AQ 0% MeOH 20% acetone 0%	0.830±0.033	40.893±1.283	0.075±0.004	1.581±0.072	15.300±0.12
6. AQ 0% MeOH 20% acetone 40%	0.886±0.047	39.054±0.804	0.087±0.003	1.844±0.058	14.950±0.058
7. AQ 0% MeOH 0% acetone 40%	0.911±0.067	37.076±2.62	0.070±0.002	1.564±0.053	15.275±0.17
8. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 40%	0.848±0.079	40.122±1.936	0.077±0.004	1.686±0.077	14.825±0.171

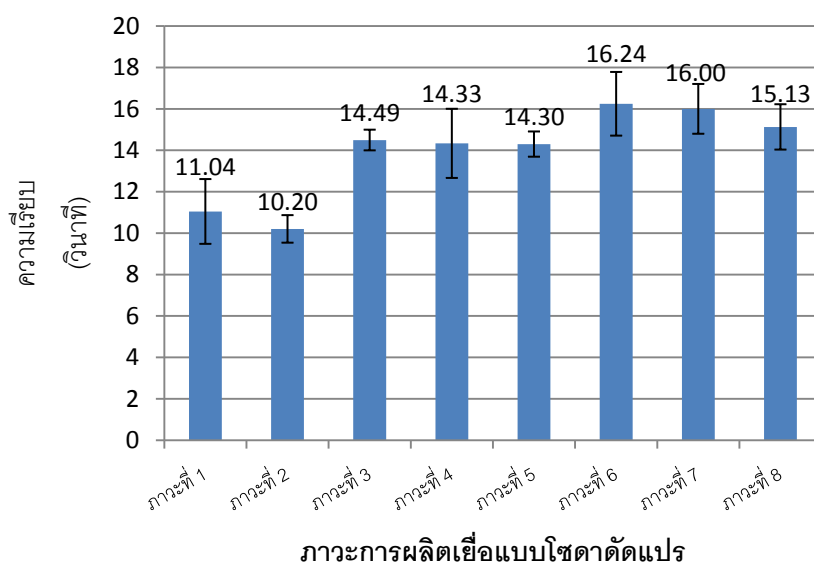
ตารางที่ 4-22 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่ผลิตเยื่อแบบวิธีโซดาพร้อมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน

ภาวะการทดลอง	ไฮโดเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	อื่นๆ
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1. AQ 0% MeOH 0% acetone 0%	79.218±0.37	55.194±0.64	24.024±0.28	6.864±0.17	13.918±0.20
2. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 0%	81.186±0.26	56.835±0.12	24.351±0.13	8.663±0.001	10.151±0.26
3. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 0%	77.082±0.13	54.135±0.47	22.947±0.33	8.336±0.45	14.582±0.31
4. AQ 0.1% MeOH 0% acetone 40%	77.309±0.09	53.399±0.10	23.910±0.19	5.397±0.13	17.294±0.04
5. AQ 0% MeOH 20% acetone 0%	79.855±0.08	56.144±0.32	23.711±0.24	8.593±0.11	11.552±0.19
6. AQ 0% MeOH 20% acetone 40%	80.248±0.06	55.357±0.23	24.891±0.17	5.064±0.08	14.688±0.14
7. AQ 0% MeOH 0% acetone 40%	77.487±0.24	53.999±0.21	23.488±0.03	5.033±0.03	17.480±0.21
8. AQ 0.1% MeOH 20% acetone 40%	80.251±0.15	56.342±0.47	23.909±0.33	5.643±0.18	14.106±0.03

หมายเหตุ % เทียบกับน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ

4.3.6 ความเรียบ

ความเรียบของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อฟางข้าววิธีไฮโดรดาตัดแปรที่เติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน จากภาพที่ 4-26 พบว่า ความเรียบของแผ่นทดสอบมีเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบที่ผลิตแบบโซดา (ภาวะที่ 1) ยกเว้นภาวะที่ 2 การที่แผ่นทดสอบเรียบขึ้นอาจเนื่องมาจากความโค้งงอและหักงอของเส้นใยลดลงทำให้เส้นใยแนบชิดกันได้ดีขึ้น โดยภาวะที่ 6 ให้ค่าความเรียบมากที่สุด โดยค่าความเรียบเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 47.1 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-25 หน้า 103 พบว่า การเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเรียบ ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอลและแอสซีโทนร่วมกัน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และแอสซีโทนร่วมกันในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเรียบ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอลร่วมกัน และการเติม แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนร่วมกันในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเรียบ



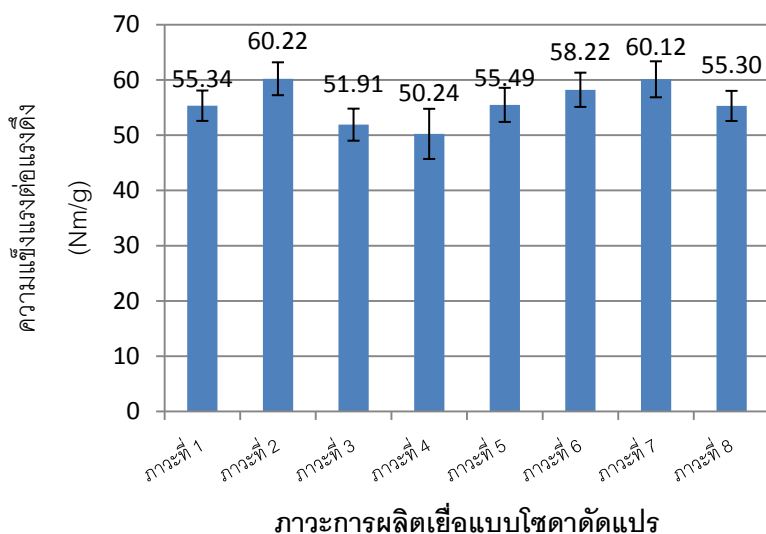
ภาพที่ 4-26 ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดาร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ต่อความเรียบของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.3.7 สมบัติด้านความแข็งแรง

4.3.7.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีโซดาตัดแปรที่มีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนส่วนใหญ่มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าการผลิตเยื่อวิธีโซดา ยกเว้น ภาวะที่ 3, 4 และ 8 ดังแสดงในภาพที่ 4-27 พบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนเนื่องจากจากสารทั้งสามตัวต่างมีหน้าที่ในการกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยได้ เส้นใยจึงมีความยืดหยุ่น และเส้นใยที่ได้มีความยาวมากกว่าจึงสร้างพันธะได้ดี แต่การใช้สารแต่ละตัวร่วมกันอาจทำให้เกิดการละลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเส้นใยเดี่ยวๆ ลดลง ซึ่งความแข็งแรงของเส้นใยก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงนอกเหนือจากการสร้างพันธะของเส้นใย ทำให้บางภาวะในการทดลองจึงมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลง เนื่องจากสารเคมีต่างเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยรุนแรงมากเกินไป และเป็นผลจากความหนาแน่นของกระดาษดังแสดงในภาพที่ 4-27 การทดลองพบว่า ในภาวะที่ 2 คือการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนนให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสุด สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่มีค่าสูงสุดเช่นกัน

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-25 หน้า 103 พบว่า การเติมแอนทราควิโนน และเมทานอล ในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบ แต่การเติมแอสซีโทนในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงต่อแรงดึง ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอลร่วมกันในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงต่อแรงดึง

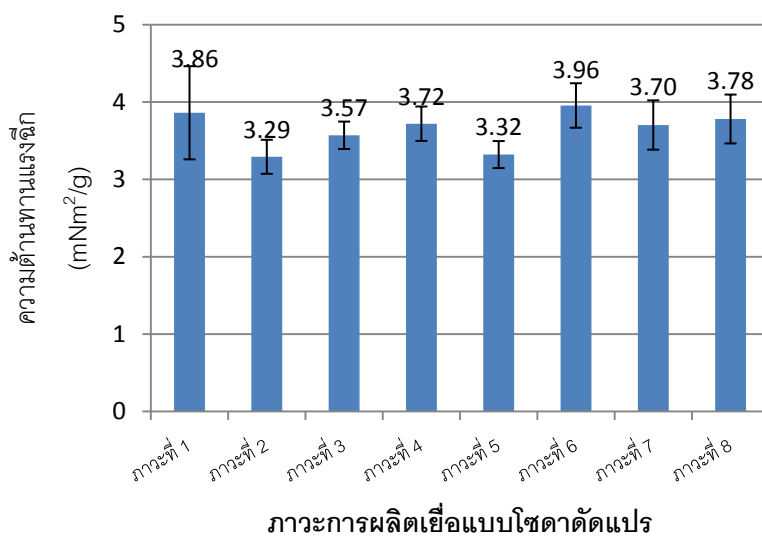


ภาพที่ 4-27 ผลของการผลิตเยื่อแบบไซตาตัดแปรร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.3.7.2 ความต้านทานแรงฉีก

การผลิตเยื่อแบบไซตาตัดแปรโดยการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนร่วมกันส่งผลให้มีการละลายลิกนินออกจากเส้นใยปริมาณมาก จึงทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง ทำให้ค่าความต้านทานแรงฉีกของเยื่อแบบไซตาตัดแปรมีส่วนใหญ่มีค่าลดลง ยกเว้นภาวะที่ 6 ดังแสดงในภาพที่ 4-28 จากผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารทั้งสามตัวต่างเป็นสารที่ช่วยละลายลิกนินออกจากเนื้อไม้ ดังนั้นจึงทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงเพราะลิกนินถูกละลายออกมาอย่างมากดังที่เคยกล่าวไว้แล้วว่าลิกนินนั้นก็เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยทำให้เส้นใยแข็งแรง จากการทดลองพบว่าภาวะการทดลองที่ 6 เป็นภาวะที่ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากทั้งเมทานอล และแอสซีโทนช่วยละลายลิกนินออกมาแต่ไม่ทำลายเซลล์ลูโลสจึงยังทำให้เส้นใยแข็งแรงอยู่

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-25 หน้า 103 พบว่า การเติมแอสซีโทนในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบ แต่การเติมแอนทราควิโนน และเมทานอลในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความต้านทานแรงฉีก ดังนั้นปฏิสัมพันธ์อื่นๆ จึงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความต้านทานแรงฉีก

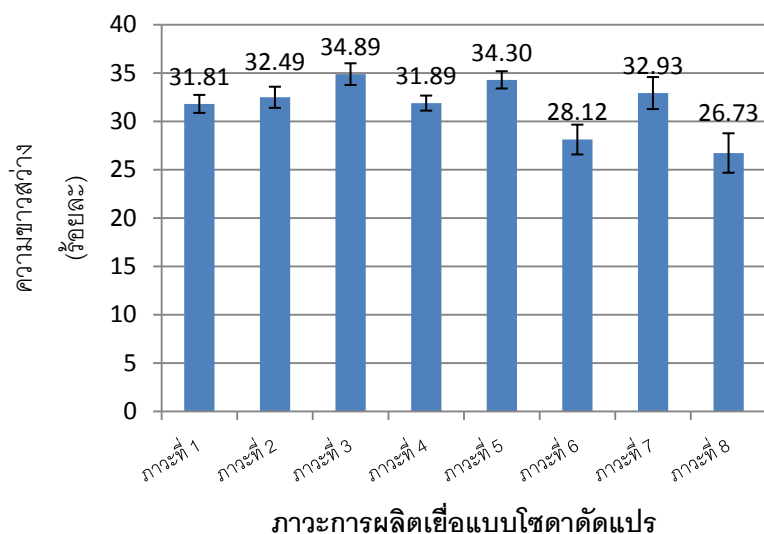


ภาพที่ 4-28 ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ต่อดัชนีความต้านทานแรงตึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.3.8 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

4.3.8.1 ความขาวสว่าง

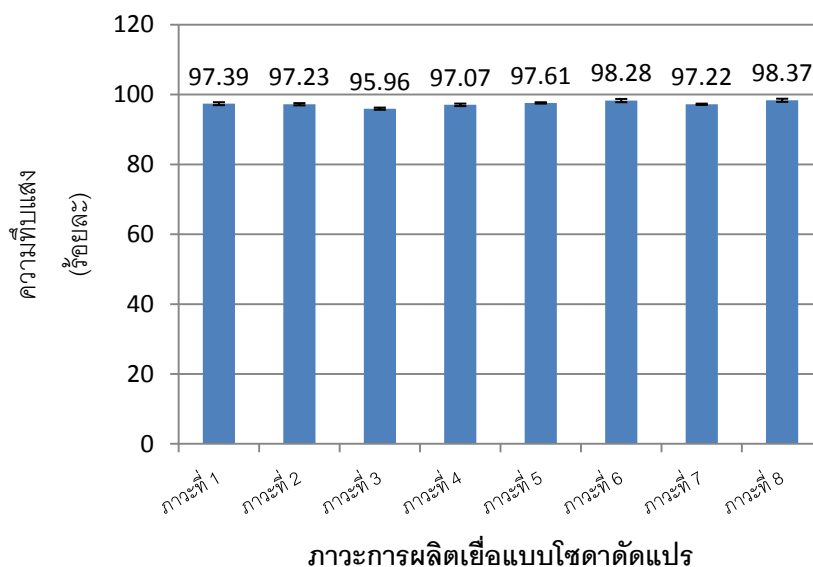
แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีโซดาตัดแปรที่มีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนส่วนใหญ่มีค่าความขาวสว่างมากกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีโซดา ยกเว้นภาวะการทดลองที่ 6 และ 8 เนื่องจากมีปริมาณลิกนินที่เหลือในเส้นใยมากกว่าการผลิตเยื่อแบบโซดา ดังแสดงในภาพที่ 4-28 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการผลิตเยื่อวิธีโซดาตัดแปรนั้นลิกนินถูกกำจัดออกได้มากกว่าการผลิตเยื่อแบบโซดาโดยดูได้จากค่าซีปานัมเบอร์ในตารางที่ 4-20 หน้า 88 โดยภาวะการทดลองที่ 3 ให้ค่าความขาวสว่างสูงที่สุด จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-25 หน้า 103 พบว่า การเติมเมทานอลและแอสซีโทนในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ แต่การเติมแอนทราควิโนนในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอลร่วมกัน และปฏิสัมพันธ์อื่นๆ ที่มีการเติมแอนทราควิโนนในการผลิตเยื่อไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขาวสว่าง



ภาพที่ 4-29 ผลของการผลิตเยื่อแบบไซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ต่อความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.3.8.2 ความทึบแสง

จากภาพที่ 4-30 เป็นค่าความทึบแสงของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อวิธีไซตาและไซตาตัดแปรรที่มีการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน พบว่าที่ภาวะที่ 2, 3, 4 และ 7 มีค่าความทึบแสงน้อยกว่าการผลิตเยื่อแบบไซดา เนื่องจากลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อแบบไซตาตัดแปรรมีปริมาณน้อยกว่าในเยื่อแบบไซดา ทำให้เส้นใยสามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีขึ้น ทำให้เหลือพื้นที่ผิวในการกระเจิงแสงน้อยลง และมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กน้อยกว่า ส่วนภาวะที่ 5, 6 และ 8 มีค่าความทึบแสงน้อยกว่าการผลิตเยื่อแบบไซดา เนื่องจากเหลือลิกนินในเยื่อมากกว่า เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-25 หน้า 103 พบว่า การเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนในการผลิตเยื่อส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความทึบแสงของแผ่นทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ในการผลิตเยื่อแบบไซตาตัดแปรรทุกกรณีส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความทึบแสงของแผ่นทดสอบ



ภาพที่ 4-30 ผลของการผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน ต่อความทึบแสงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว

4.3.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อนำค่าผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของเส้นใย เยื่อ และแผ่นทดสอบที่ผลิตด้วยเยื่อวิธีโซดาตัดแปรมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธี SPSS แบบ แฟคทอเรียล เพื่อดูว่าการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนมีผลต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-23 หน้า 101 ตารางที่ 4-24 หน้า 102 และตารางที่ 4-25 หน้า 103 ซึ่งเป็นตารางแสดงค่า P-value ของสมบัติต่างๆ ของเยื่อ แผ่นทดสอบและลักษณะของเส้นใย โดยค่า A คือผลของการเติมแอนทราควิโนน ค่า B คือผลของการเติมเมทานอล ค่า C คือผลของการเติมแอสซีโทน ค่า A*B คือผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอล ค่า A*C คือผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและแอสซีโทน ค่า B*C คือผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอลและแอสซีโทน ค่า A*B*C คือผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติม แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน เมื่อค่า P-value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แสดงว่าการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนส่งผลต่อสมบัติการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการทดลองพบว่าการเติมแอนทราควิโนนในการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรนั้นส่งผลต่อส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ คัปปานัมเบอร์ ความโค้งงอของเส้นใย ความหักงอของเส้นใย ความ

กว้างของเส้นใย ไฮโลเซลลูโลส ลิกนิน สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ความเรียบ ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง และความทึบแสง โดยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) เนื่องจากค่า P-value มีค่าต่ำกว่า 0.05 การเติมเมทานอลในการผลิตเยื่อแบบไฮดาตัดแปรส่งผลกระทบต่อส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ คัปปานัมเบอร์ ไฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส ลิกนิน สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ความเรียบ ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ความขาวสว่าง และความทึบแสงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) เนื่องจากค่า P-value มีค่าต่ำกว่า 0.05 ส่วนการเติมแอสีโทนในการผลิตเยื่อแบบไฮดาตัดแปรส่งผลกระทบต่อผลผลิตเยื่อ ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ คัปปานัมเบอร์ ความยาวเส้นใยแบบ LWW ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ไฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ความเรียบ ดัชนีความต้านทานแรงฉีก ความขาวสว่าง และความทึบแสงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) เนื่องจากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งนี้อาจสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีการเติมแอนทราควิโนนลงไปในกระบวนการผลิตจะช่วยเร่งอัตราการละลายลิกนินออกจากเส้นใยได้ดี และป้องกันการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตในเส้นใย จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ ส่วนเมทานอลเมื่อมีการเติมลงไปในกระบวนการผลิตเยื่อ จะช่วยทำให้น้ำยาต้มเยื่อแทรกซึมได้ดีขึ้น ช่วยทำให้ลิกนินเกิดการสลายตัวเป็นโครงสร้างเล็กๆ ช่วยดึงลิกนินออกและช่วยป้องกันการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตในเส้นใย ส่วนแอสีโทนช่วยเข้าไปละลายลิกนินได้มากแต่ละลายเฮมิเซลลูโลสน้อย ดังนั้นจากการทดลองการผลิตเยื่อแบบไฮดาตัดแปรจึงพบว่าเยื่อที่ผลิตได้มีผลผลิตเยื่อ ความเรียบ ความแข็งแรงต่อแรงดึงและความขาวสว่างของเยื่อมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่มีปริมาณลิกนินลดน้อยลง

ส่วนผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและเมทานอลในการผลิตเยื่อแบบไฮดาตัดแปร พบว่า มีผลต่อไฮโลเซลลูโลส ลิกนิน สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย และความทึบแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนนและแอสีโทนในการผลิตเยื่อแบบไฮดาตัดแปร พบว่ามีผลต่อส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ คัปปานัมเบอร์ สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ความเรียบ และความทึบแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอลและแอสีโทนในการผลิตเยื่อแบบไฮดาตัดแปร พบว่ามีผลต่อส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ คัปปานัมเบอร์ ไฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส ลิกนิน สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ความเรียบ ความขาวสว่าง และความทึบแสง มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ส่วนผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทนใน

การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรร พบว่ามีผลต่อไฮโดรเซลลูโลส ลิกนิน สารอื่นๆ ในองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย และความทึบแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า P-value. น้อยกว่า 0.05 จากการทดลองจะพบว่าสมบัติของสารทั้งสามตัวต่างช่วยทำให้สมบัติของเยื่อและแผ่นทดสอบดีขึ้น แต่บางกรณีกลับพบว่าเมื่อนำสารทั้งสามใช้ร่วมกันกลับส่งผลอย่างรุนแรงต่อเยื่อและเส้นใยทำให้สมบัติบางอย่างของเยื่อและกระดาษลดลง

ตารางที่ 4-23 ผลการวิเคราะห์สถิติการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทนต่อสมบัติของเยื่อและเส้นใยโดยใช้วิธี SPSS แบบแฟคทอเรียล

สมบัติของเยื่อ	A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C
	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value.	P-value	P-value
ผลผลิตเยื่อ	0.981	0.657	0.018*	0.526	0.259	0.000	0.461
ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ	0.017*	0.015*	0.001*	0.198	0.019*	0.044*	0.080
ค่าปานัมเบอร์	0.013*	0.012*	0.000*	0.295	0.037*	0.000*	0.093
ความยาวเส้นใยแบบ LWW	0.782	0.247	0.003*	0.244	0.318	0.004	0.070
ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก	0.173	0.968	0.003*	0.202	0.026	0.000	0.032
ความโค้งงอของเส้นใย	0.001*	0.836	0.836	0.098	0.796	0.000	0.172
ความหักงอของเส้นใย	0.000*	0.934	0.196	0.109	0.870	0.000	0.064
ความกว้างของเส้นใย	0.014*	0.852	0.852	0.268	0.457	0.004	0.014

หมายเหตุ A คือ ผลของการเติมแอนทราควิโนน B คือ ผลของการเติมเมทานอล C คือผลของการเติมแอสีโทน A*B คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และเมทานอล

A*C คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และแอสีโทน B*C คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอล และแอสีโทน A*B*C คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสีโทน

* คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4-24 ผลการวิเคราะห์สถิติการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อโดยใช้วิธี SPSS แบบแฟคทอเรียล

สมบัติของเยื่อ	A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C
	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value
ไฮโดรเซลลูโลส	0.039*	0.001*	0.001*	0.000*	0.152	0.000*	0.000*
แอลฟาเซลลูโลส	0.982	0.009*	0.002*	0.023	0.337	0.000*	0.000
เฮมิเซลลูโลส	0.066	0.522	0.037*	0.001	0.800	0.000	0.523
ลิกนิน	0.000*	0.002*	0.000*	0.001*	0.157	0.019*	0.000*
อื่นๆ	0.005*	0.000*	0.000*	0.000*	0.939*	0.000*	0.000*

หมายเหตุ A คือ ผลของการเติมแอนทราควิโนน B คือ ผลของการเติมเมทานอล C คือผลของการเติมแอสซีโทน A*B คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และเมทานอล
A*C คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และแอสซีโทน B*C คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอล และแอสซีโทน A*B*C คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติม
แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน

* คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4-25 ผลการวิเคราะห์สถิติการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนต่อสมบัติแผ่นทดสอบโดยใช้วิธี SPSS แบบแฟคทอเรียล

สมบัติของเยื่อ	A	B	C	A*B	A*C	B*C	A*B*C
	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value	P-value
ความหนาแน่น	0.303	0.910	0.606	0.656	0.021	0.001	0.000
ความเรียบ	0.001*	0.000*	0.000*	0.105	0.030*	0.000*	0.615
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	0.000*	0.052*	0.679	0.609	0.000	0.000	0.000
ดัชนีความต้านทานแรงฉีก	0.068	0.845	0.000*	0.018	0.534	0.029	0.000
ความขาวสว่าง	0.190	0.000*	0.000*	0.612	0.000	0.000*	0.768
ความทึบแสง	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

หมายเหตุ A คือ ผลของการเติมแอนทราควิโนน B คือ ผลของการเติมเมทานอล C คือผลของการเติมแอสซีโทน A*B คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และเมทานอล
A*C คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมแอนทราควิโนน และแอสซีโทน B*C คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติมเมทานอล และแอสซีโทน A*B*C คือปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเติม
แอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทน

* คือ มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อวิธีโซดาจากฟางข้าวเพื่อใช้เป็นการทดลองควบคุม

จากการนำฟางข้าวมาทำการศึกษาหาภาวะการผลิตเยื่อกระดาษแบบวิธีโซดาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า เมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ผลผลิตเยื่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งแล้วผลผลิตจะเริ่มลดลง โดยผลผลิตเยื่อที่ได้พบว่าที่ระดับโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด ค่าคัปปานัมเบอร์มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น และไม่พบปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และ 15 เมื่อเพิ่มระดับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นร้อยละ 20 พบว่า เริ่มมีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น เส้นใยมีขนาดยาวขึ้น ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมากขึ้น ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง ความกว้างของเส้นใยลดลง เมื่อมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น แผ่นทดสอบจะมีค่าความเรียบ ค่าความต้านทานแรงฉีก ค่าความขาวสว่างสูงขึ้น ส่วนค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้นจนถึงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 15 หลังจากนั้นค่าจะมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่มีเพียงค่าความทึบแสงที่ลดลงเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น

สำหรับภาวะที่เหมาะสมที่ใช้เป็นการทดลองควบคุม พบว่า การต้มเยื่อโดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 เป็นภาวะที่เหมาะสมในการเป็นภาวะควบคุมและผลิตเยื่อต่อในการทดลองตอนที่ 2 และตอนที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez ซึ่งได้ภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15

5.1.2 ผลการศึกษาการผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนนร่วมกับเมทานอล และร่วมกับแอสซีโทนตามลำดับ

การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน ร่วมกับเมทานอล และร่วมกับแอสซีโทน ตามลำดับที่ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง พบว่า

การผลิตเยื่อแบบไซตาตัดแปรที่มีการเติมแอนทราควิโนนให้ผลผลิตเยื่อสูงขึ้น โดยการเติมระดับปริมาณแอนทราควิโนนมากขึ้นทำให้ได้ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น และส่วนที่ไม่เป็นเยื่อก็มีแนวโน้มลดลง ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงเมื่อเทียบกับการผลิตแบบไซตา การใช้ปริมาณแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้นกลับทำให้ค่าคัปปานัมเบอร์ และไม่มีปริมาณต่างที่เหลือจากการต้มเยื่อ เส้นใยมีขนาดยาวขึ้น ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง ความกว้างของเส้นใยใกล้เคียงกัน เมื่อปริมาณแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณแอนทราควิโนนสูงขึ้น แผ่นทดสอบจะมีค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้น ค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น จนถึงปริมาณแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 หลังจากนั้นเมื่อใช้ปริมาณแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้นค่าจะมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความเรียบ ค่าความต้านทานแรงฉีก และค่าความทึบแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณแอนทราควิโนนเพิ่มขึ้น สำหรับภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการทดลองต่อในตอนที 3 พบว่า การต้มเยื่อโดยใช้ปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ร่วมกับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 เป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อตอนที 3

การผลิตเยื่อแบบไซตาตัดแปรที่มีการเติมเมทานอลให้ผลผลิตเยื่อ และส่วนที่ไม่เป็นเยื่อเพิ่มขึ้น ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับการผลิตแบบไซตา และไม่มีปริมาณต่างที่เหลือจากการต้มเยื่อ เส้นใยมีขนาดยาวขึ้น ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงขึ้น ความกว้างของเส้นใยใกล้เคียงกันเล็กน้อย เมื่อมีการเติมเมทานอลในการผลิตเยื่อแบบไซตาทำให้แผ่นทดสอบมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าความเรียบ ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าความขาวสว่าง ค่าความทึบแสงเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงฉีกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบไซตา

การผลิตเยื่อแบบไซตาตัดแปรที่มีการเติมแอสีโทนให้ผลผลิตเยื่อสูงขึ้น โดยการเติมระดับปริมาณแอสีโทนมากขึ้นทำให้แนวโน้มผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้น จนเมื่อปริมาณแอสีโทนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็น 60 เริ่มให้ผลผลิตเยื่อลดลง โดยที่ระดับแอสีโทนที่ร้อยละ 40 ให้ค่าผลผลิตเยื่อสูงสุด และส่วนที่ไม่เป็นเยื่อก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงเมื่อเทียบกับการผลิตแบบไซตา แต่การใช้ปริมาณแอสีโทนเพิ่มขึ้นกลับทำให้ค่าคัปปานัมเบอร์เพิ่มขึ้นโดยไม่มีปริมาณต่างที่เหลือจากการต้มเยื่อ เส้นใยมีขนาดยาวขึ้น ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กลดลง ความโค้งงอและความหักงอของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง แต่ความกว้างของเส้นใยใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ปริมาณแอสีโทนสูงขึ้นในการผลิตเยื่อแบบไซตา แผ่นทดสอบจะมีค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูง ค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น จนถึงปริมาณแอสีโทนที่ร้อยละ 40 หลังจากนั้นเมื่อใช้ปริมาณแอสีโทน

เพิ่มขึ้นค่าจะมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความต้านทานแรงฉีก และค่าความทึบแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเรียบลดลง เมื่อใช้ปริมาณแอสซิโทนเพิ่มขึ้น สำหรับภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการทดลองต่อไปในตอนที่ 3 พบว่า การต้มเยื่อโดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ร่วมกับแอสซิโทนที่ร้อยละ 40 เป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อตอนที่ 3

5.1.3 ผลการศึกษาผลิตเยื่อแบบโซดาจากฟางข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซิโทน

การผลิตเยื่อแบบโซดาข้าวร่วมกับแอนทราควิโนนจากฟางข้าวที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้งร่วมกับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 พบว่าผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5.52 เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงจาก 22.04 เป็น 18.14 ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความโค้งงอ ความหักงอของเส้นใย และความกว้างของเส้นใยมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้แบบโซดา มีค่าความหนาแน่น และค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ความเรียบ ความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลง มีค่าความขาวสว่างสูงขึ้น แต่มีความทึบแสงลดลง

การผลิตเยื่อแบบโซดาข้าวร่วมกับแอสซิโทนที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้งร่วมกับแอสซิโทนร้อยละ 40 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเยื่อ พบว่า ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 16.91 เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงจาก 22.04 เป็น 18.13 ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อ ความยาวของเส้นใย และความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความโค้งงอ และความหักงอของเส้นใยมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้แบบโซดา ค่าความหนาแน่น ค่าความเรียบ และค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงขึ้น แต่ค่าความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลง ค่าความขาวสว่างสูงขึ้นแต่มีความทึบแสงลดลง

การผลิตเยื่อแบบโซดาข้าวร่วมกับแอนทราควิโนน และเมทานอลจากฟางข้าวที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้งร่วมกับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 และเมทานอลที่ร้อยละ 20 พบว่า ผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นสูงมากประมาณร้อยละ 33.32 เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ซึ่งเป็นภาวะที่ให้ผลผลิตเยื่อสูงสุด ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงจาก 22.04 เป็น 15.92 ซึ่งเป็นค่าคัปปานัมเบอร์ที่ต่ำที่สุด ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อ ความยาว

ของเส้นใย และความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความโค้งงอ และ ความหักงอของเส้นใยมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้แบบโซดา ค่าความเรียบสูงขึ้น แต่ค่า ความหนาแน่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลง ค่าความขาวสว่างสูงขึ้น แต่มีความทึบแสงลดลง

การผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนนและแอสซีโทนจากฟางข้าวที่ใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าว ร่วมกับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 และ แอสซีโทนที่ร้อยละ 40 พบว่าผลผลิตเยื่อเพิ่มขึ้นสูงประมาณร้อยละ 18.11 เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อ แบบโซดา ค่าคัปปานัมเบอร์ลดลงจาก 22.04 เป็น 18.22 ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้ม เยื่อ ความยาวของเส้นใย และความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความ โค้งงอ และความหักงอของเส้นใยมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้แบบโซดา ค่าความเรียบ สูงขึ้น แต่ค่าความหนาแน่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความต้านทานแรงฉีกมีค่าลดลง

การผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับเมทานอลและแอสซีโทนจากฟางข้าวที่ใช้โซเดียมไฮ ดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าว ร่วมกับเมทานอลที่ร้อยละ 20 และแอสซีโทนที่ร้อยละ 40 พบว่า ผลผลิตเยื่อลดลงประมาณร้อยละ 7.55 เมื่อเทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ค่าคัป ปานัมเบอร์เพิ่มขึ้นจาก 22.04 เป็น 24.88 ไม่มีปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อ ความยาว ของเส้นใย ความโค้งงอของเส้นใย ความหักงอของเส้นใยและความกว้างของเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้แบบโซดา ค่าความหนาแน่นและค่า ความเรียบสูงที่สุด ความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงฉีกมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่ามาก ที่ที่สุด ค่าความขาวสว่าง และความทึบแสงสูงขึ้น โดยค่าความทึบแสงสูงมากที่สุด

การผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนจากฟาง ข้าวที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าว ร่วมกับแอนทราควิโนนที่ร้อยละ 0.1 เมทานอลที่ร้อยละ 20 และแอสซีโทนที่ร้อยละ 40 ผลผลิตเยื่อลดลงประมาณร้อยละ 20.42 เมื่อ เทียบกับการผลิตเยื่อแบบโซดา ค่าคัปปานัมเบอร์เพิ่มขึ้นจาก 22.04 เป็น 24.29 ปริมาณต่างที่เหลือหลังจากการต้มเยื่อไม่มี ความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความโค้ง งอของเส้นใย ความหักงอของเส้นใยและความกว้างของเส้นใยลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อที่ผลิตได้แบบ โซดา ค่าความหนาแน่นและค่าความเรียบเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง ความต้านทาน แรงฉีกมีค่าลดลง มีค่าความขาวสว่างและความทึบแสงลดลง

ผลการทดลองการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรงจากฟางข้าวเมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่ให้ผลไปในทางเดียวกัน คือการเติมแอนทราควิโนน เมทานอล และแอสซีโทนช่วยเพิ่มผลผลิตเยื่อและสมบัติด้านความแข็งแรงของแผ่นทดสอบ ดังนั้นจากงานวิจัยนี้สามารถกล่าวสรุปได้ว่า การผลิตเยื่อแบบโซดา ร่วมกับแอนทราควิโนน และ/หรือเมทานอล และ/หรือแอสซีโทน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเยื่อและกระดาษแบบวิธีโซดา โดยภาวะส่วนใหญ่ในการทดลองให้สมบัติทางด้านเยื่อและกระดาษดีขึ้น แต่อาจมีบางภาวะที่สารเคมีแต่ละตัวเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยรุนแรงเกินไปจนส่งผลให้สมบัติด้านต่างๆ ลดลง ดังนั้นในการผลิตเยื่อด้วยวิธีโซดาตัดแปรงจึงควรเลือกสารเคมีที่ใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสมโดยพิจารณาจากสมบัติของกระดาษที่ต้องการเป็นสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรงจากฟางข้าว ควรมีการทดลองเพิ่มอุณหภูมิในการต้มเยื่อ เพราะอาจลดระยะเวลาในการต้มเยื่อ หรือปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเยื่อ โดยที่สมบัติของเยื่อและแผ่นทดสอบอาจมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อทำการเทียบกับการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และควรมีการเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จากช่วงร้อยละ 10-20 เป็นร้อยละ 15-20 แทน เนื่องจากจากการทดลองที่ผ่านมาปริมาณต่างที่เหลือนั้นน้อย จึงทำให้ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณต่างที่เหลือที่ได้จากการเติมสารอื่นในการผลิตเยื่อแบบโซดา

รายการอ้างอิง

- [1] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. ประเทศไทย[ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา:
<http://th.wikipedia.org/wiki> [13 สิงหาคม 2554]
- [2] กรมชลประทาน. ฟางข้าว[ออนไลน์]. โครงการส่งเสริมและบำรุงรักษาน้ำมูล, แหล่งที่มา:
http://www.namoon.go.th/infor_agri/rice-straw.pdf [13 สิงหาคม 2554]
- [3] มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. จุดกำเนิดและประวัติข้าวไทย [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://www.thairice.org/html/aboutrice/about_rice1_1.html[13 สิงหาคม 2554]
- [4] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. ข้อมูลเกี่ยวกับข้าว [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://www.thairiceexporters.or.th/rice_profile.htm[13 สิงหาคม 2554]
- [5] SAVCOR INDUFOR. Pulp Quality Comparison. Technical Repoet-Module 6, 2007.
- [6] Gullichsen, J. and Paulapuro, H. Papermaking Science and Technology : Chemical Pulping Book 6A. Jyväskylä: Gummerus Printing, 2000.
- [7] Rodríguez, A., Sánchez, R., Requejo, A., and Ferrer, A. Feasibility of Rice Straw as a Raw Material for the Production of Soda Cellulose Pulp. Journal of Cleaner Production 18 (2010): 1084-1091.
- [8] Biermann, C.J. Essential of Pulping and Papermaking. San Diego: Academic Press, 1993.
- [9] Sjöström, E. and Alén, R. Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking. Berlin: Springer-verlag, 1999.

- [10] Roberts, J.C. The Chemistry of Paper. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1996.
- [11] Casey, J.P. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. 3rd ed. Vol I. New York : John Wiley & Sons, 1980.
- [12] Smook, G.A. Handbook for Pulp & Paper technologists. 2nd edition. Vancouver: Angus Wilde, 1994.
- [13] Sixta, H. Handbook of Pulp. Vol II. Weinheim: Weley-VCH, 2006.
- [14] T 236 om-99, Kappa Number of Pulp, TAPPI Test Methods. TAPPI Press, Atlanta, GA, 2002.
- [15] T 277 om-04, Freeness of Pulp (Canadian Standard Method), TAPPI Test Methods. TAPPI Press, Atlanta, GA, 2002.
- [16] SCAN-N 33:94, Residual Alkali (Hydroxide Ion Content), Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee, 1994.
- [17] Muurinen, E., A Review and Distillation Study Related to Peroxyacid Pulping. Organosolv Pulping, Oulu University Library, 2000.
- [18] Oliet, M., Garcia, J., Rodriguez, F. and Gilarranz, M.A. Solvent Effects in Autocatalyzed Alcohol-Water Pulping Comparative Study Between Ethanol and Methanol as Delignifying Agents. Chemical Engineering Journal 87 (2002): 157-162.
- [19] DeHaas, G.G., and Lang, C.J. Ammonia-Ketone Pulping Process. United States Patent 3951734, 1976.

- [20] Rodríguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., and Jiménez, L. Rice Straw Pulp Obtained by Using Various Methods. Bioresource Technology 99 (May 2008): 2881-2886.
- [21] Jiménez, L., Maestre, F., Torre, M. J. de la, and Pérez I. Organosolv Pulping of Wheat Straw by Use of Methanol-Water Mixtures. Tappi Journal 80 (December 1997): 148-154.
- [22] Alcaide, L.J., Dominguez, J.C.G., and Ot, I.P. Influence of Cooking Variables in the Organosolv Pulping of Wheat Straw Using Mixtures of Ethanol, Acetone and Water. Tappi Journal 2 (January 2003) : 27-31.
- [23] วราพงษ์ ไสพิน. การผลิตเยื่อแบบโซดาตัดแปรจากลำต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [24] T 200 sp-01, Laboratory Beating of Pulp (Valley Beater Method), TAPPI Test Methods. TAPPI Press, Atlanta, GA, 2002.
- [25] ISO 5269-2, Pulp Preparation of Laboratory Sheets for Physical Testing, International Organization for Standardization, Switzerland, 1998.
- [26] TAPPI T 479 cm-99, Smoothness of Paper (Bekk Method), TAPPI Test Methods. TAPPI Press, Atlanta, GA, 2002.
- [27] T 525 om-02, Diffuse brightness of pulp ($d/0$). TAPPI Test Methods, TAPPI Press, Atlanta, 2002 [25] Browning, B.L. Method in Wood Chemistry. New York: Interscience Publisher, 1963.
- [28] T 519 om-02, Diffuse Opacity of Paper ($d/0^\circ$ Paper Backing), TAPPI Test Methods, TAPPI Press, Atlanta, 2002.
- [29] T 494 om-01, Tensile Properties of Paper and Paperboard (Using Constant Rate of Elongation Apparatus), TAPPI Test Methods, TAPPI Press, Atlanta, 2002.
- [30] T 414 om-98, Internal Tearing Resistance of Paper (Elmendorf-Type Method), TAPPI Test Methods, TAPPI Press, Atlanta, 2002.

ภาคผนวก

การคำนวณสารเคมีในการผลิตเยื่อและการเตรียมเยื่อ

1. วิธีการคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ

ยกตัวอย่างของภาวะที่มีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง เดิมแอนทราควิโนนร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง เมทานอลร้อยละ 20 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด และแอสีโทนร้อยละ 40 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด กำหนดให้น้ำหนักฟางข้าวมีน้ำหนัก 150 กรัม มีความชื้นร้อยละ 10 และในการต้มเยื่อกำหนดให้มีค่าของเหลวต่อน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง (L: W) เป็น 13 ต่อ 1

- หาน้ำหนักฟางข้าวแห้ง จากความชื้นร้อยละ 10

น้ำหนักฟางข้าว 100 กรัมจะมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $100 - 10 = 90$ กรัม

ถ้าน้ำหนักฟาง 150 กรัมจะมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ $(150 \times 90) / 100 = 135$ กรัม

- หาอัตราส่วนปริมาณของเหลวทั้งหมด จากค่า L: W = 13:1

น้ำหนักฟางข้าวแห้งที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 135 กรัม ดังนั้นปริมาตรของเหลวทั้งหมดที่ใช้ในการต้มเยื่อคือ $13 \times 135 = 1755$ กรัม

- หาปริมาณสารเคมีที่ต้องเติม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

น้ำหนักฟางข้าวแห้ง 100 กรัมจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัม

ถ้าน้ำหนักฟางข้าวแห้ง 135 กรัมจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ $(135 \times 15) / 100 = 20.25$ กรัม

แต่เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการเตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 180 กรัมต่อลิตร ดังนั้นจะต้องตวงปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังนี้

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 180 กรัมจาก สารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20.25 กรัม ดังนั้นต้องตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ $(20.25 \times 1000) / 180 = 112.5$ มิลลิลิตร

แอนทราควิโนนร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

น้ำหนักฟางข้าวแห้ง 100 กรัมจะใช้แอนทราควิโนน 0.1 กรัม

ถ้าน้ำหนักฟางข้าวแห้ง 135 กรัมจะใช้แอนทราควิโนนเท่ากับ $(135 \times 0.1) / 100 = 0.135$ กรัม

เมทานอลร้อยละ 20 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด

ปริมาตรของเหลวทั้งหมด 100 มิลลิลิตร ใช้เมทานอล 20 มิลลิลิตร

แต่ถ้าปริมาตรของเหลวทั้งหมด 1755 มิลลิลิตร ใช้เมทานอลเท่ากับ $(1755 \times 20) / 100 = 351$ มิลลิลิตร

แอสซีโทนร้อยละ 40 ของปริมาตรของเหลวทั้งหมด

ปริมาตรของเหลวทั้งหมด 100 มิลลิลิตร ใช้แอสซีโทน 40 มิลลิลิตร

แต่ถ้าปริมาตรของเหลวทั้งหมด 1755 มิลลิลิตร ใช้แอสซีโทนเท่ากับ $(1755 \times 40) / 100 = 702$ มิลลิลิตร

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่ม = ปริมาตรของเหลวทั้งหมด - ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ - ปริมาตรเมทานอล - ปริมาตรแอสซีโทน - ปริมาตรความชื้นในฟางข้าว

ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่ม = $1755 - 112.5 - 351 - 702 - 10 = 579.5$ มิลลิลิตร

2. วิธีการคำนวณเยื่อในการบดเยื่อ

เนื่องจากตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 กำหนดให้ใช้น้ำหนักเยื่อแห้งในการบดเยื่อ 360 กรัม น้ำหนักแห้ง ในน้ำปริมาตร 23 ลิตร ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเยื่อ (% consistency) มี

ค่าเท่ากับร้อยละ 1.56 กำหนดให้เยื่อมีความชื้นร้อยละ 80 ดังนั้นถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม คำนวณได้ดังนี้

ความชื้นร้อยละ 80 แสดงว่าเมื่อชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้น 100 กรัม จะมีเยื่อแห้งอยู่ 20 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 20 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้น 100 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้นเท่ากับ $(360 \times 100) / 20 = 1800$ กรัม

ดังนั้นต้องชั่งเยื่อที่มีความชื้นร้อยละ 80 มา 1800 กรัม ถึงจะได้เยื่อแห้ง 360 กรัม น้ำหนักแห้ง และพบว่ามือน้ำอยู่ในเยื่อแล้ว $1800 - 360 = 1440$ กรัม ดังนั้นจะต้องเติมน้ำเพิ่มลงไปอีก $2300 - 1440 = 860$ กรัม เพื่อที่จะทำให้ให้น้ำเยื่อที่พร้อมก่อนการบดมีความเข้มข้นร้อยละ 1.56

3. วิธีการคำนวณหาปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ (freeness)

เนื่องจากตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94 กำหนดให้ใช้ความเข้มข้นของเยื่อเท่ากับ ร้อยละ 0.3 ในปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร ในการหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ และในการหา จะตวงน้ำเยื่อมาจากเครื่องบดเยื่อ ซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำเยื่อเท่ากับ 1.56 ดังนั้นจะใช้สูตร ดังต่อไปนี้ในการตวงปริมาตรน้ำเยื่อเพื่อมาทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.3 ในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อตามมาตรฐานที่ต้องการคือ ร้อยละ 0.3

C_2 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อคือ ร้อยละ 1.56

V_1 = ปริมาตรน้ำเยื่อที่ใช้ในการวัดค่าสภาพระบายของเยื่อ คือ 1000 มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาตรน้ำเยื่อที่ต้องตวงจากเครื่องบดเยื่อ

$$0.3 \times 1000 = 1.56 \times V_2$$

$$V_2 = (0.3 \times 1000) / 1.56$$

$$V_2 = 192 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นต้องตวงน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อที่ความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 1.56 มา 192 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร แล้วนำไปหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ

4. วิธีการคำนวณน้ำเยื่อไว้ใช้สำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบ

กำหนดให้น้ำหนักของแผ่นทดสอบมีน้ำหนักเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร และเครื่องขึ้นแผ่นมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20.02 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่ของเครื่องขึ้นแผ่นทดสอบจะมีพื้นที่เท่ากับ 0.0315 ตารางเมตร ดังนั้นถ้าจะทำการขึ้นแผ่นทดสอบให้มีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตรจะต้องใช้เยื่อแห้งเท่ากับดังนี้

แผ่นทดสอบ 1 ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่น 60 กรัม

ถ้าแผ่นทดสอบมีขนาด 0.0315 ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่นเท่ากับ $60 \times 0.0315 = 1.89$ กรัม

ดังนั้นจะต้องใช้เยื่อแห้ง 1.89 กรัมในการขึ้นแผ่นเพื่อทำให้แผ่นทดสอบมีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร แต่ละภาวะจะทำการขึ้นแผ่นทดสอบ 15 แผ่น ดังนั้นจะต้องใช้เยื่อทั้งหมดในการขึ้นแผ่นเท่ากับ $1.89 \times 15 = 28.35$ กรัม เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.56 ดังนั้นจะต้องคำนวณหาปริมาตรของน้ำเยื่อที่ต้องตวงออกมาจากโดยให้น้ำหนักเท่ากับ 28.35 กรัม โดยวิธีการเทียบดังนี้

น้ำหนักเยื่อ 1.56 กรัม ตวงมาจากน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อ 100 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการน้ำหนักเยื่อ 28.35 กรัม ต้องตวงน้ำเยื่อมาจากในเครื่องบดเยื่อเท่ากับ $(28.35 \times 100) / 1.56 = 1817$ มิลลิลิตร

นำปริมาตรน้ำเยื่อที่คำนวณได้จากเครื่องบดเยื่อมาทำการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อให้มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.3 เพื่อใช้ในการขึ้นแผ่นทดสอบ หลังจากนั้นทำการคำนวณปริมาตรน้ำเยื่อเพื่อใช้ในการขึ้นแผ่น เนื่องจากแผ่นทดสอบขนาด 60 กรัมต่อตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อ 1.89 กรัม ดังนั้นจะต้องทำการตวงน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ให้มีน้ำหนักเยื่อ 1.89 โดยการเทียบดังนี้

น้ำหนักเยื่อ 0.3 กรัม ตวงมาจากน้ำเยื่อ 100 มิลลิลิตร

ถ้าต้องการน้ำหนักเยื่อ 1.89 ต้องตวงมาจากน้ำเยื่อเท่ากับ $(1.89 \times 100) / 0.3 = 630$ มิลลิลิตร

ดังนั้นตวงน้ำเยื่อจำนวน 630 มิลลิลิตร มาทำการขึ้นแผ่นก็จะได้น้ำหนักแผ่นทดสอบที่มีขนาด 60 กรัมต่อตารางเมตร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

นางสาวนิริวดี บุญกังวาน เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

- ปี พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย
- ปี พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ผลงานวิชาการ

- Boongungwan, N., Suvarnakich, K. and Chairrekij, S. (2011). Effect of Methanol and Acetone on Modified Soda Pulping of Rice Straw. The 1st National/International Silpakorn Graduate Study Conference 2011. 10-11 May 2011. Bangkok, Thailand. pp. 1256-1260.