ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล

Feasibility Study of Simple Production of Paper from Fresh Banana Peels and Residues from Ethanol Fermentation

โสรญา ส้มเขียวหวาน

Soraya Somkeawwaan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล

ผู้เขียน นางสาวโสรญา ส้มเขียวหวาน

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินินาฏ จงคง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

คณะกรรมการสอบ

……..ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

…….....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินินาฏ จงคง)

…….....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

…….....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

…….....กรรมการ

(ดร.ณัฐวรรณ กลัดแก้ว)

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

……..……..……

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพลศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินินาฏ จงคง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวโสรญา ส้มเขียวหวาน)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ…….

(นางสาวโสรญา ส้มเขียวหวาน)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล
ผู้เขียน	นางสาวโสรญา ส้มเขียวหวาน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างมูลค่าเพิ่ม และลดของเสียในกระบวนการผลิตเอทานอล ด้วยการนำผลผลิตส่วนของแข็งเหลือทิ้งหลังขั้นตอนการหมักเอทานอลจากเปลือกกล้วยน้ำว้า มาผลิตเป็นกระดาษอย่างง่าย โดยศึกษาเปรียบเทียบการทำแผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ เยื่อที่ได้จากเปลือกกล้วยสดผ่านวิธีการผลิตเยื่อกระดาษแบบดั้งเดิมด้วยกระบวนการโซดา และเยื่อที่ได้จากของแข็งเหลือทิ้งหลังการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การผลิตด้วยการย่อยให้ความร้อนโดยอ่างควบคุมอุณหภูมิ และโดยไมโครเวฟ ซึ่งวัตถุดิบเยื่อสำหรับทำแผ่นเยื่อกระดาษทั้ง 3 แบบนี้ จะให้ปริมาณเซลลูโลสที่แตกต่างกันคือ เยื่อจากเปลือกกล้วยที่ผ่านกระบวนการโซดา ซึ่งทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM) พบสภาวะที่ให้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุดเป็นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก คือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร ให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เยื่อจากของแข็งเหลือทิ้งหลังการผลิตเอทานอลที่ผ่านการย่อยด้วยสารละลายน้ำส้มสายชู ให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ให้ปริมาณเซลลูโลส ร้อย-ละ 7 โดยน้ำหนัก และเยื่อจากของแข็งที่ผ่านการย่อยด้วยสารละลายน้ำส้มสายชูให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 465 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที ให้เซลลูโลส ร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก

หลังจากนั้นนำวัตถุดิบเยื่อทั้ง 3 แบบ มาศึกษาการทำแผ่นเยื่อกระดาษด้วยมือแบบพื้นบ้าน และวัดคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับกระดาษสา กระดาษห่อพัสดุ กระดาษห่อของขวัญ และกระดาษ A4 คือ ค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความหนา และค่าความต้านทานแรงดึง โดยเลือกศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดคือ ความต้านทาน

การซึมน้ำ ด้วยการเติมสารส้มและชันสน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อโซดา โดยใช้อัตราส่วนเยื่อต่อสารส้มต่อชันสน เป็น 3:1:1 ซึ่งได้แผ่นเยื่อกระดาษที่มีความต้านทานการซึมน้ำใกล้เคียงกับกระดาษห่อพัสดุ และแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนทั้ง 2 วิธีที่ไม่มีการเติมสารเติมมีความต้านทานการซึมน้ำใกล้เคียงกับกระดาษพิมพ์เขียนหรือกระดาษ A4

Thesis Title Feasibility study of simple production of paper from fresh banana peels and residues from ethanol fermentation

Author Miss Soraya Somkeawwaan

Major Program Chemical Engineering

Academic Year 2013

ABSTRACT

Solid residues from ethanol fermentation of banana peels were applied as raw materials for the simply paper production to reduce waste from the ethanol process. The comparison of 3 different pulp raws were studied. The first pulp was obtained from conventional soda process of fresh banana peels. The others were residues that received from 2 different ethanol production methods. The second and third pulps were produced from hydrolysis heating by oil bath and by microwave respectively. The 3 pulps yielded different cellulose contents. The first soda pulp contained 60%w cellulose. The optimal soda process that was investigated by RSM (Response surface methodology) provided 3 M sodium hydroxide solution heating by oil bath at 110 ˚C for 40 min. The second that had 7%w cellulose was hydrolyzed by vinegar solution, oil bath heating by oil bath at 90 ˚C for 40 min, and the third comprised 11%w cellulose that was hydrolyzed by vinegar solution using microwave heating at 465 watt for 20 min.

After that the 3 pulps were employed for handmade traditional paper production. Physical properties of the paper which were basic weight, thickness, cobb value and tensile strength were determined to compare with mulberry paper, wrapping paper, gift wrap paper and writing paper (double A, 70 gram). An only water absorption resistance was investigated to improve the physical quality of the simply paper by adding aluminium sulfate (alum) and rosin. The optimum paper production was the soda pulp using a weight ratio of 3:1:1 of pulp to alum to rosin. Its water resistance property was similar to the wrapping paper. The optimum paper production were the ethanol pulp using 2 different heating and no adding alum and rosin. Its water resistance property was similar to the writing paper.

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ (5)

ABSTRACT (7)

กิตติกรรมประกาศ (8)

สารบัญ (9)

รายการตาราง (11)

รายการภาพประกอบ (13)

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำต้นเรื่อง 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 กล้วย 4

2.2 ชนิดของกระดาษ 5

2.3 องค์ประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตกระดาษ 7

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ 10

2.5 กระบวนการผลิตกระดาษ 15

2.6 ความเหมาะสมของเส้นใยในการผลิตกระดาษ 20

2.7 คุณสมบัติของกระดาษ 22

2.8 การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ 25

2.9 การผลิตเอทานอลจากชีวมวล 30

2.10 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง 33

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

2.12 ขอบเขตของงานวิจัย 40

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย 54

3.1 วัสดุ 41

3.2 วิธีการทดลอง 42

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 56

4.1 องค์ประกอบของเปลือกกล้วย น้ำว้า 56

4.2 การผลิตเยื่อกระดาษ 57

4.3 การทำแผ่นกระดาษ 64

4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษที่ได้จากเยื่อทั้ง 3 ชนิด 71

4.5 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา กระดาษห่อพัสดุ

กระดาษห่อของขวัญ และกระดาษ A4 73

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 77

5.1 สรุป 77

5.2 ข้อเสนอแนะ 78

เอกสารอ้างอิง 79

ภาคผนวก 83

ประวัติผู้เขียน 117

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	องค์ประกอบของพืชบางชนิด	14
3-1	ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม RSM	46
4-1	องค์ประกอบของเปลือกกล้วยน้ำว้า	56
4-2	ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากการทำนายด้วยสมการจำลองจาก RSM	58
4-3	ปริมาณเซลลูโลสจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล	63
4-4	คุณสมบัติของกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา	71
4-5	คุณสมบัติของกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	71
4-6	คุณสมบัติของกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม	72
4-7	คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา กระดาษห่อพัสดุ กระดาษห่อของขวัญและกระดาษ A4	74
4-8	คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา แผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อโซดาและแผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอล	76
ค-1	ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยสดที่ผ่านกระบวนการโซดา ด้วยวิธี AOAC 1990	93
ค-2	ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษจากเยื่อโซดา	95
ค-3	ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	95
ค-4	ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม	96
ค-5	ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษที่ใช้เปรียบเทียบกับกระดาษจากการทดลอง	96

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ค-6 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากเยื่อโซดา 97

ค-7 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 98

ค-8 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม 99

ค-9 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ใช้เปรียบเทียบกับกระดาษจากการทดลอง 100

ค-10 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษจากเยื่อโซดา 101

ค-11 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 101

ค-12 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม 101

ค-13 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษใช้เปรียบเทียบกับกระดาษจากการทดลอง 102

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่ **หน้า**

2-1	โครงสร้างไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง	8
2-2	โครงสร้างของเซลลูโลส	11
2-3	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	12
2-4	โครงสร้างของลิกนิน	13
2-5	กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทเซลลูโลส	32
3-1	กล้วยน้ำว้า	41
3-2	ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน	44
3-3	ขั้นตอนการต้มเยื่อด้วยวิธีโซดา	45
3-4	ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (heater)	48
3-5	ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยโดยใช้ไมโครเวฟ	49
3-6	การทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้านโดยใช้ตะแกรงไนลอน	50
3-7	ขั้นตอนการทำแผ่นโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ	52
3-8	ขั้นตอนในการขึ้นรูปกระดาษ	53
3-9	ขั้นตอนการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ	54
3-10	ขั้นตอนการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่อง LLOYD	55
4-1	กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิต่อปริมาณเซลลูโลส	60
4-2	กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาต่อปริมาณของเซลลูโลส	61
4-3	กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณเซลลูโลส	62
4-4	กระดาษที่ได้จากการทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้านด้วยเยื่อไมโครเวฟ	64
4-5	กระดาษที่ได้จากการทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้านด้วยเยื่อ heater	65

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ **หน้า**

4-6 ลักษณะกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา (1) หลังการอบ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (มีความชื้นร้อยละ 20) และ (2) เมื่อวางให้แห้งที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 วัน (3) เมื่อผ่านไป 2 วัน (4) เมื่อผ่านไป 3 วัน 66

4-7 ลักษณะกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (1) หลังการอบ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ความชื้นร้อยละ 20) และ (2) เมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 วัน (3) เมื่อผ่านไป 2 วัน (4) เมื่อผ่านไป 3 วัน 67

4-8 ลักษณะกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (1) หลังการอบ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ความชื้นร้อยละ 20) และ (2) เมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 วัน (3) เมื่อผ่านไป 2 วัน (4) เมื่อผ่านไป 3 วัน 68

4-9 ลักษณะกระดาษที่ได้จาก (1) กระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (2) กระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมและเพิ่มปริมาณเซลลูโลสเป็น 120 กรัมต่อตารางเมตร 69

4-10 ลักษณะของชิ้นกระดาษตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่อง LLOYD 70

4-11 ลักษณะของกระดาษที่นำมาเปรียบเทียบกับกระดาษที่ได้จากการทดลอง 74

ก-1 ลักษณะทางกายภาพของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 85

ก-2 ลักษณะทางกายภาพซันสน 85

ก-3 ลักษณะของสารส้ม 86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

กระดาษเป็นวัสดุที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก ของใช้ในชีวิตประจำวันที่อยู่รอบๆตัวเรา เช่น หนังสือพิมพ์ หนังสือ ถุง ธนบัตร กระดาษเช็ดหน้า กระดาษเช็ดปาก ตั๋วรถเมล์ ตลอดจนป้ายโฆษณาที่ติดอยู่ตามสถานที่ทั่วไป ล้วนแต่ทำจากกระดาษทั้งสิ้น (http://kanchanapisek.or.th, 2554) และประเทศไทยก็เป็นประเทศที่มีความต้องการใช้กระดาษเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องมาจากเศรษฐกิจของประเทศกำลังเจริญเติบโต และมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้อุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์จากกระดาษมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา เยื่อกระดาษที่ใช้สำหรับการผลิตกระดาษในปัจจุบันผลิตจากไม้แทบทั้งสิ้น แม้ว่าต้นไม้จัดเป็นพืชที่สามารถปลูกทดแทนได้ แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการปลูกมานานเพราะต้นไม้เป็นพืชที่เติบโตช้า และมีข้อจำกัดเรื่องชนิดและสภาพภูมิอากาศจึงทำให้วัตถุดิบที่นำมาผลิตเยื่อมีราคาแพงและหาได้ยาก ดังนั้นการหาวัตถุดิบใหม่ที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งหรือผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตร จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มแหล่งของเส้นใยที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ

วัสดุที่ใช้ในการทำกระดาษมีหลากหลายประเภท เช่น เศษผ้า ปอ ฟาง หญ้า ไม้ และชานอ้อย ซึ่งกระดาษแต่ละชนิดก็ทำมาจากวัสดุที่แตกต่างกัน ฟางและชานอ้อยให้เยื่อกระดาษสั้นและไม่เหนียวจึงเหมาะที่ใช้ทำกระดาษคุณภาพต่ำ เช่น หนังสือพิมพ์ ปอสาใช้ในการผลิตกระดาษสา ซึ่งส่วนใหญ่มีการผลิตในภาคเหนือของประเทศไทย คือ จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน น่าน และอุตรดิตถ์ ซึ่งกระดาษสาที่ทำโดยทั่วไปเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน ผลิตขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการทำว่าว ทำร่ม และกระดาษห่อของขวัญ ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นหัตถกรรมขนาดย่อมจากการประดิษฐ์เป็นของที่ระลึกมากมาย และปัจจุบันยังสามารถทำกระดาษจากปอแก้ว หญ้าคา และกก

ในปี พ.ศ. 2554 อุตสาหกรรมกระดาษมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปัจจัยหนุนของกระแสอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมให้บรรจุภัณฑ์กระดาษเป็นที่นิยม ส่งผลให้ใน

ปี 2554 นี้ปริมาณการใช้กระดาษขยายตัวมากขึ้นประมาณร้อยละ 5-7 โดยสินค้าหลักส่วนใหญ่จะเป็นกระดาษคราฟท์ (กระดาษที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตเยื่อแบบกระบวนการซัลเฟต ซึ่งใช้โซเดียมซัลเฟตเป็นน้ำยาต้มเยื่อ) และกระดาษพิมพ์เขียน เนื่องจากมีฐานการบริโภคขนาดใหญ่และมีการเชื่อมโยงกับการขยายตัวในตลาดอุตสาหกรรม เพราะเป็นวัตถุดิบในการบรรจุภัณฑ์และสิ่งพิมพ์ต่างๆ (http://tupi.co.th, 2554)

เนื่องจากมีงานวิจัยการผลิตเอทานอลจากเปลือกกล้วย ซึ่งจะมีผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมัก ที่ยังคงมีองค์ประกอบของเส้นใยอยู่ เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอย่างคุ้มค่า และลดของเสียอันเกิดจากกระบวนการผลิตเอทานอล งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเพิ่มมูลค่ากากเปลือกกล้วยหลังผ่านกระบวนหมักมาพัฒนาเป็นกระดาษ และนำเปลือกกล้วยสดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนี้มาผลิตเป็นกระดาษด้วย เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ ความแข็งแรงและคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์กระดาษที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระดาษจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษ

1.2.3 เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอย่างคุ้มค่าและลดของเสียในกระบวนการผลิตเอทานอล

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของกระดาษที่ได้จากวัตถุดิบสดกับวัตถุดิบที่เหลือจากการผลิตเอทานอล

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากเปลือกกล้วย

1.3.2 สร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (เปลือกกล้วย) และลดการบำบัดขยะสด

1.3.3 เกิดการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอย่างคุ้มค่าและลดของเสียในกระบวนการผลิตเอทานอล

1.3.4 ได้ทางเลือกใหม่ทางด้านวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 กล้วย

กล้วยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Musa sapientum Linn. อยู่ในวงศ์ Musaceae เป็นไม้ล้มลุก มีลำต้นใต้ดิน เป็นไม้ผลที่ออกเป็นช่อ เรียกว่า เครือ แต่ละช่อย่อย เรียกว่า หวี ขยายพันธุ์ด้วยการแตกหน่อหรือแยกเหง้า ผลกล้วยสามารถนำมาเป็นอาหารแล้ว ส่วนอื่นๆของลำต้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน เช่น ใบใช้ห่อของ ปลี ใช้เป็นอาหาร ลำต้นใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้ทำเชือกประดิษฐ์หัตถกรรม และใช้ทำเป็นกระทง (http://blog.eduzones.com, 2556)

กล้วยมีการปลูกกันมากในเอเชียใต้ แม้ในปัจจุบันประเทศอินเดียเป็นประเทศที่มีการปลูกกล้วยมากที่สุดในโลก และมีพันธุ์กล้วยมากมาย ดังที่มีการกล่าวกันไว้ในหนังสือของชาวอาหรับว่า “กล้วยเป็นผลไม้ของชาวอินเดีย” ต่อมา ได้มีหมอจักรวรรดิโรมัน แห่งกรุงโรม ชื่อว่า แอนโตนิอุส มูซา (Antonius Musa) ได้นำหน่อกล้วยจากประเทศอินเดีย ไปปลูกทางตอนเหนือของประเทศอียิปต์ เมื่อประมาณ 2,000 ปีมาแล้ว หลังจากนั้น มีการแพร่ขยายพันธุ์กล้วยไปในดินแดนของประเทศแอฟริกา ที่ชาวอาหรับได้เข้าไปทำการค้าขายและพักอาศัย จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 1508 ได้มีการกล่าวถึงกล้วยว่า ใช้ในการประกอบอาหารชนิดหนึ่งของชาวอาหรับ มีชื่อว่า กาลาอิฟ (Kalaif) นอกจากใช้ในการประกอบอาหารแล้ว ชาวอาหรับยังใช้กล้วยทำยาอีกด้วย และเรียกกล้วยว่า “มูซา” ตามชื่อของหมอที่เป็นผู้นำกล้วยเข้ามาในประเทศอิยิปต์เป็นคนแรก

ประเทศไทยมีการปลูกกล้วยมาช้านาน กล้วยที่ปลูกมีมากมายหลายชนิด พันธุ์กล้วยที่ใช้ปลูกในประเทศไทยมาตั้งแต่ในสมัยโบราณนั้น มีทั้งพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิม และนำเข้ามาจากประเทศใกล้เคียง กล้วยที่รู้จักกันในสมัยสุโขทัย คือ กล้วยตานี และปัจจุบันในจังหวัดสุโขทัยก็ยังมีการปลูกกล้วยตานีมากที่สุด และมีการสันนิษฐานว่ากล้วยตานีถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่สมัยสุโขทัยตอนต้นหรือช่วงการอพยพของคนไทยมาตั้งถิ่นฐานที่สุโขทัย

ในสมัยอยุธยา ได้มีอัครราชทูตชาวฝรั่งเศส ชื่อ เดอลาลูแบร์ ได้เดินทางมาประเทศไทยในรัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช เมื่อ พ.ศ. 2230 และได้เขียนบันทึกถึงสิ่งที่เขาได้พบเห็นในเมืองไทยไว้ว่า ได้เห็นกล้วยงวงช้าง ซึ่งก็คือกล้วยร้อยหวีในปัจจุบัน ที่ส่วนใหญ่ปลูกไว้เพื่อเป็นไม้ประดับ นอกจากนี้ยังมีตำนานเล่ากันมาว่า มีการค้าขายกล้วยตีบอีกด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ได้มีการปลูกกล้วยทั้งเพื่อความสวยงาม และเพื่อการบริโภคกันมาช้านานแล้ว (http://kanchanapisek.or.th, 2556)

กล้วยมีสรรพคุณต่างๆมากมาย อย่างเช่น ผลดิบ ใช้ในการรักษาอาการท้องเดิน ท้องเสีย เนื่องจากในผลกล้วยดิบนั้นมีสารแทนนินอยู่ กล้วยน้ำว้าสุก ช่วยบรรเทาอาการเจ็บคอ หรือเจ็บหน้าอกจากการไอแห้งๆ ลดการระคายเคืองในลำคอจากอาการไอ อีกทั้งยังช่วยระงับกลิ่นปากได้ เปลือกกล้วย มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่จะทำให้เกิดหนอง และยังช่วยบรรเทาอาการคันเนื่องจากแมลงกัดต่อยด้วย (http://www.manager.co.th, 2556)

2.2 ชนิดของกระดาษ

กระดาษ (Paper) หมายถึง แผ่นวัสดุบางที่ทำจากเส้นใย (Fiber) ผสมกับสารเติมแต่ง (Additive) ต่างๆ ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป การเติมสารเติมแต่งนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติกระดาษที่ต้องการ อาจจะเติมก่อนหรือหลังการขึ้นแผ่นก็ได้ กระดาษที่ผลิตทั่วไปจะมีขนาดน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ระดับ 35-225 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษที่ผลิตระดับสูงกว่า 225 กรัมต่อตารางเมตรขึ้นไปจะถือว่าเป็นกระดาษแข็ง (สมชาติ รุ่งอินทร์, 2528)

กระดาษสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการใช้งานคือ

2.2.1 กระดาษอนามัย เช่น กระดาษชำระ กระดาษเช็ดปาก และกระดาษเช็ดมือ

2.2.2 กระดาษและกระดาษแข็งเพื่อการบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษกล่องเคลือบ กระดาษกล่อง ไม่เคลือบ กระดาษทำลูกฟูก และกระดาษเหนียว

2.2.3 กระดาษพิมพ์และเขียน เช่น กระดาษพิมพ์ กระดาษเขียน กระดาษพิมพ์ต่อเนื่อง กระดาษถ่ายเอกสาร และกระดาษอัดสำเนา

2.2.4 กระดาษสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.2.4.1 กระดาษคราฟท์ (Kraft paper) หรือกระดาษเหนียว หมายถึง กระดาษที่ผลิตจากเยื่อซัลเฟตหรือเยื่อคราฟท์ทั้งหมด หรือต้องมีเยื่อคราฟท์อย่างน้อยร้อยละ 80 กระดาษคราฟท์ที่ใช้งานทั่วไปมีทั้งประเภทไม่ฟอกสี (กระดาษสีน้ำตาล) สำหรับการใช้งานที่ต้องใช้ความแข็งแรงสูง และกระดาษคราฟท์ฟอกสีเพื่อความสวยงาม หรือเพื่อผลิตเป็นกระดาษสีสันต่างๆ

2.2.4.2 กระดาษเหนียวชนิดยืด (Stretchable paper) หมายถึง กระดาษเหนียวที่ปรับปรุงให้สามารถยืดตัวได้มากกว่าปกติ จึงสามารถทนทานแรงดึงได้สูงกว่ากระดาษเหนียวธรรมดา นิยมใช้ทำถุงเพื่อการขนส่ง

2.2.4.3 กระดาษแข็งแรงขณะเปียก (Wet strength paper) หมายถึง กระดาษเหนียวที่เติมเมลามีนฟอร์มอลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) หรือยูเรียฟอร์มอลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษแม้ขณะเปียก นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง และใช้ทำถุงเพื่อการขนส่งที่มีโอกาสเปียกน้ำสูง

2.2.4.4 กระดาษกันไขมัน (Greaseproof paper) เป็นกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านการตีบดเป็นเวลานานจนเส้นใยกระจาย และบวมน้ำมากเป็นพิเศษ ทำให้กระดาษมีความหนาแน่นสูง จึงป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดี นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง และชิ้นส่วนอะไหล่ที่มีน้ำมันเคลือบกันสนิม

2.2.4.5 กระดาษกลาซีน (Glassine) ทำจากกระดาษกันไขมันที่ผ่านการรีดเรียบร้อยด้วยลูกกลิ้งภายใต้อุณหภูมิสูงๆ ขณะกระดาษเปียกชื้น ทำให้ความหนาแน่นของกระดาษเพิ่มขึ้น และยังมีการขัดผิว ทำให้กระดาษกลาซีนมีเนื้อแน่นและผิวเรียบมันวาว นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง

2.2.4.6 กระดาษทิชชู (Tissue paper) หมายถึง กระดาษที่มีความนุ่มและบางเป็นพิเศษ น้ำหนักมาตรฐานประมาณ 17-30 กรัมต่อตารางเมตร นิยมใช้ห่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการป้องกันรอยขูดขีดผิว ห่อของขวัญหรือห่อผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เป็นการช่วยเสริมความสวยงามและความพิถีพิถัน เช่น น้ำหอม นาฬิกา และเครื่องประดับ เป็นต้น

2.2.4.7 กระดาษพาร์ชเมนท์ (Parchment paper) เป็นกระดาษที่ผ่านกระบวนการผลิตพิเศษ โดยการจุ่มกระดาษในกรดซัลฟิวริกเป็นเวลาสั้นๆ แล้วนำไปล้างและทำให้เป็นกลางก่อนจะ

นำไปอบรีดให้แห้ง ตามมาตรฐาน ASTM D722-93 กระดาษประเภทนี้จะมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และไขมันได้เป็นอย่างดี นิยมใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร รวมทั้งใช้ห่อไอศกรีม เนื้อสัตว์ต่างๆ ชา กาแฟ อาหารแช่แข็ง และใช้ทำกระดาษที่ต้องการความเหนียวพิเศษและผิวของกระดาษปราศจากฝุ่นเกาะ

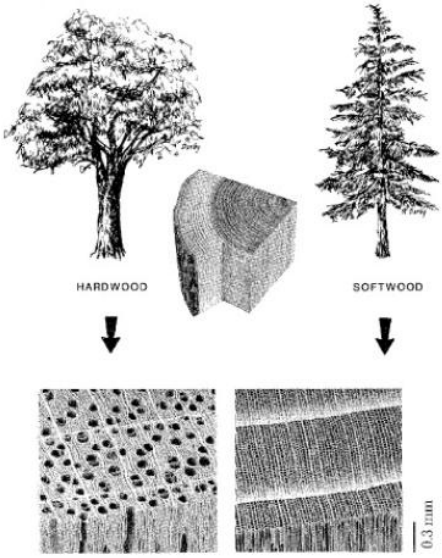
2.3 องค์ประกอบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ

องค์ประกอบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย และสารเคมีหรือสารเติมแต่ง

2.3.1 ส่วนที่เป็นเส้นใย

โดยสามารถจำแนกชนิดของไม้ที่ใช้เป็นแหล่งเส้นใยในกระบวนการผลิตกระดาษออกเป็น 2 ประเภท คือ ไม้ยืนต้น (Wood fiber) และไม้ล้มลุก (Nonwood fiber)

2.3.1.1 เส้นใยจากไม้ยืนต้น (Wood fiber) ไม้ยืนต้นเป็นแหล่งเส้นใยที่สำคัญในกระบวนการผลิตกระดาษเนื่องจากไม้ยืนต้นให้ผลตอบแทน (Yield) ในรูปของเส้นใยสำหรับกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่สูง นอกจากนี้เยื่อกระดาษจากไม้ยืนต้นจะให้กระดาษที่มีคุณภาพดีมีความแข็งแรงสูง เนื้อกระดาษเรียบเนียนสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น กระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ไม้ยืนต้นที่ใช้เป็นแหล่งเส้นใยในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) ซึ่งลักษณะโครงสร้างไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) แสดงดังภาพประกอบที่ 2-1



ภาพประกอบที่ 2-1 โครงสร้างไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง (Gullichsen and Paulapuro, 2000)

(1) ไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) เป็นไม้จำพวก coniferos หรือจำพวก gymnosperm เป็นไม้ที่ขึ้นในที่สูง อากาศเย็น โตช้า ไม่ผลัดใบ ใบมีลักษณะแคบ เรียวยาว เป็นรูปเข็ม (Needdle) เช่น ต้นสนในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ สปรู๊ซ (Spruce) และเฟอร์ (Fir) ซึ่งจะให้เส้นใยที่มีลักษณะหยาบ มีความแข็งแรง เส้นใยจากไม้ประเภทนี้จะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-5 มิลลิเมตร เยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนจะเรียกว่า เยื่อใยยาว เป็นเยื่อซึ่งมีคุณสมบัติทำให้กระดาษเหนียวและมีความแข็งแรง (จิตรัตน์, 2542) เมื่อนำมาผลิตเป็นกระดาษจะให้กระดาษที่มีความแข็งแรงสูง จึงนิยมนำมาใช้ผลิตกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์

(2) ไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) เป็นไม้จำพวก angiosperm เป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อน โตร้อน ส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบ (Deciduous) โดยทั่วไปมีใบกว้าง เช่น ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) กระถินเทพา (Acacia) เบิร์ช (Birch) และแอสแพน (Aspen) เป็นต้น เส้นใยที่ได้จากไม้เหล่านี้จะมีลักษณะเล็ก ละเอียด ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเรียกว่า เยื่อใยสั้น ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้กระดาษทึบแสง และหน้ากระดาษเรียบ (ปิยะนันท์, 2539 และ จิตรัตน์, 2542) เมื่อนำมาผลิตเป็นกระดาษ จะให้กระดาษที่มีผิวเรียบจึงนิยมนำมาใช้ผลิตเป็นกระดาษสำหรับพิมพ์เขียน

2.3.1.2 เส้นใยจากไม้ล้มลุก (Nonwood fiber) ไม้ยืนต้นมักจะมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาการเพาะปลูกที่ยาวนาน ทำให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบที่เป็นเส้นใยสำหรับกระบวนการผลิตกระดาษ ดังนั้นจึงมีการนำเส้นใยจากไม้ประเภทอื่นมาใช้ทดแทนไม้ยืนต้น โดยเฉพาะเส้นใยจากวัชพืชและพืชทางการเกษตรต่างๆ เช่น ต้นข้าว ไม้ไผ่ ปอกระเจา ปอแก้ว และปอสา เป็นต้น

เส้นใยจากพืชทางการเกษตรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ลำต้นข้าวโพด เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นเส้นใยที่ได้จากการเพาะปลูกพืชเส้นใยโดยตรง ซึ่งจะมีส่วนประกอบของเซลลูโลสในปริมาณที่สูง เช่น ปอกระเจา ปอชวา ฝ้าย ป่าน เป็นต้น ซึ่งพืชเหล่านี้มีลักษณะของเส้นใยที่คล้ายกับเส้นใยในไม้เนื้อแข็ง แต่มีความแตกต่างกันตรงที่เส้นใยของพืชเหล่านี้มีความหนาของผนังเซลล์ที่บางกว่าและมีเซลล์พาเรนไคมา (Parenchyma) และเวสเซล (Vessel) เป็นรูปทรงกระบอก

2.3.2 สารเคมี/สารเติมแต่ง

ส่วนมากเป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษซึ่งมีหลายชนิด สารเคมีเหล่านี้ที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

2.3.2.1 สารกันซึม (Sizing agent) เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการซึมน้ำได้ดีขึ้น กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่าย เช่น กระดาษชำระและกระดาษซับ การเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่กระดาษ เมื่อกระดาษสัมผัสจะไม่เปียกหรือซับน้ำทันที สารกันซึมแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ชันสน (Rosin) เป็นสารหลัก ต้องทำการย่อยโมเลกุลให้เล็กลง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟและเติมสารส้ม (Alum) ลงไปด้วยเพื่อเป็นตัวเชื่อมให้เส้นใยกับชันสนสามารถยึดติดกันได้ และสามารถทำให้กลุ่มฟังก์ชันของชันสนที่ไม่เข้ากับน้ำ (Hydrophobic) เคลื่อนตัวไปอยู่ที่ผิวกระดาษได้

กลุ่มที่ 2 ได้แก่สารประเภท Alkyl ketene dimer (AKD), Alkyl succinic anhydride (ASA) ซึ่งไม่ต้องผ่านการย่อยโมเลกุลให้เล็กลง และสารเคมีกลุ่มนี้ทำให้กระดาษที่ได้มีสภาพเป็นด่าง

2.3.2.2 สารเติมเต็ม (Filler) เป็นผงแร่สีขาว ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านทัศนศาสตร์และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษ ตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอน ผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มเนื้อที่ผิวภายในกระดาษ โดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศและผงแร่กับเส้นใย ทำให้ค่าการกระเจิงแสง (Light scattering) ของกระดาษเพิ่มขึ้น กระดาษจะมีค่าความขาวสว่างและความทึบแสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมจะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยกระดาษ สารเติมเต็มที่ใช้ได้แก่

ดินขาว (Clay) มีสมบัติเป็นกลาง ใช้ร่วมกับสารกันซึมได้ทั้ง 2 กลุ่ม

แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) มีสมบัติเป็นด่าง สามารถใช้ได้กับสารกันซึมในกลุ่มที่ 2 เท่านั้น

ติตาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) และผงสีอื่นๆ ใช้ได้กับสารกันซึมทั้ง 2 กลุ่ม

แป้งมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงละเอียด เวลาใช้จะผสมกับน้ำพ่นเป็นฝอยลงบนน้ำเยื่อบนเครื่องเดินแผ่น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ผิวกระดาษ ทำให้เวลาพิมพ์ผิวกระดาษไม่หลุดง่าย นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มน้ำหนักกระดาษ ความขาวและความมันวาวด้วย

สารสี เพื่อย้อมสีกระดาษตามต้องการ โดยเฉพาะกระดาษประเภทผิวกล่อง ตัวอย่างสารสีที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ Pimura Red และ Brown เป็นต้น

สารเพิ่มความแข็งต่อแรงดึง (Tensile strength) เป็นสารประเภทยางไม้ ที่ขึ้นในทะเลทราย เป็นผงสีเหลืองอ่อนละลายน้ำได้ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ได้แก่ Diasol grar gum Meyproid และแป้งดัดแปรประจุบวก เป็นต้น (พรทวี พึ่งรัศมี และอรัญ หาญสืบสาย, 2537)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้

2.4.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccarides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันของ β-D-glucopyanose ต่อกันเป็นพอลิเมอร์ มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปและสารละลายด่าง สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กับกรดได้ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างและให้ความแข็งแรงกับเส้นใย สูตรโมเลกุลของเซลลูโลสคือ

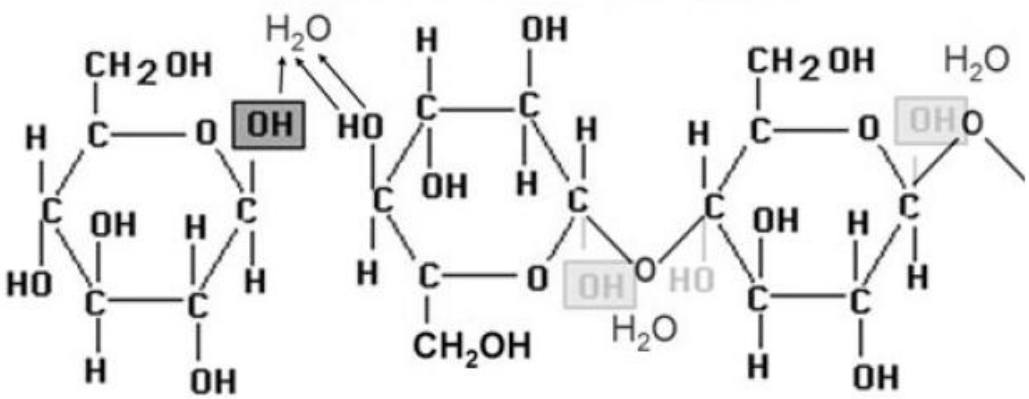
$(C_6H_{12}O_5)_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง โครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังภาพประกอบที่ 2-2

เซลลูโลสแบ่งตามความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) แอลฟา-เซลลูโลส (α-cellulose) คือ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5%

2) เบต้า-เซลลูโลส (β-cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด

3) แกมม่า-เซลลูโลส (γ-cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนโดยใช้แอลกอฮอล์

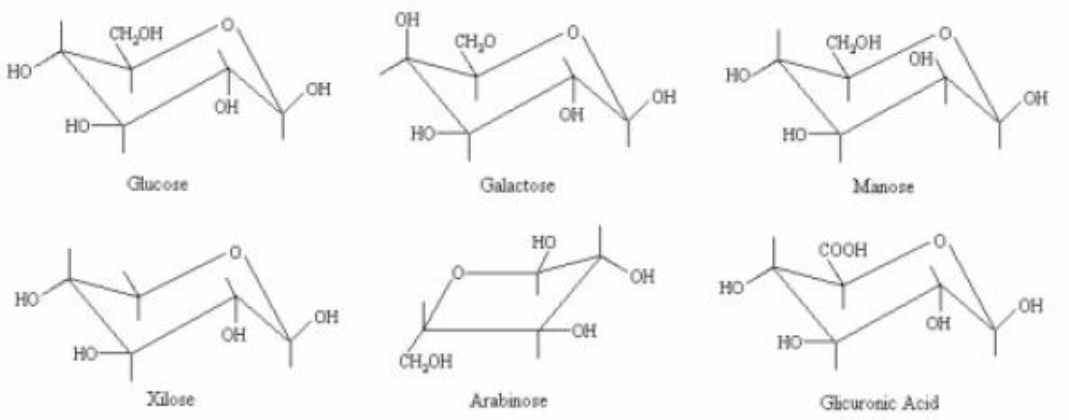


ภาพประกอบที่ 2-2 โครงสร้างของเซลลูโลส

โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นไปได้ทั้งเรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline) และแบบไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) รวมกันในสัดส่วนต่างๆ กัน ซึ่งมีผลทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการดูดซึม (Absorption) การพองตัว (Swelling) และการยืดหยุ่น (Stress-strain)

2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดเดียวกับเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส อะราบิโนส ไซโลส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลส โครงสร้างส่วนใหญ่จะไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นจึงดูดซึมน้ำได้ดี ซึ่งจะมีผลให้เส้นใยเกิดการพองตัวได้รวดเร็ว ซึ่งง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยให้เส้นใยมีคุณสมบัติการยืดหยุ่นเพิ่มอีกด้วย มักจะพบอยู่รวมกับสารอื่นๆ ในเยื่อใยของพืช เช่น ลิกนิน และเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ได้แก่ ไซเคน (Xylan) เฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ได้แก่ กลูโคแมนแนน (Glucomannan) โดยเฮมิเซลลูโลส จะทำหน้าที่เป็นสารยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกันและให้ความแข็งแรงกับเส้นใย พบมากใน แกลบ ซังข้าวโพด เฮกโซเซน โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสแสดงดังภาพประกอบที่ 2-3

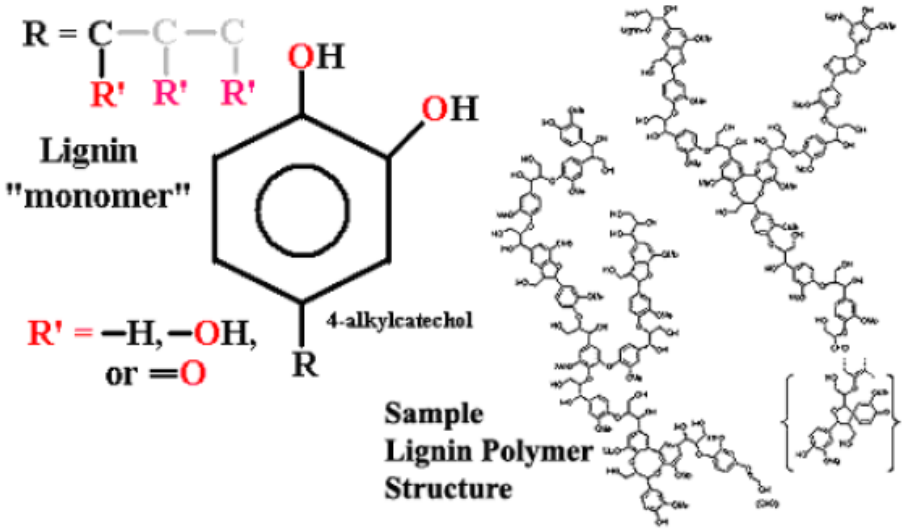


ภาพประกอบที่ 2-3 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส (http://cheresearch.engin.umich.edu/, 2004)

2.4.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มี

ลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในเชื้อราลิกนิน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินสูงทำหน้าที่เป็นสารยึดติดหรือทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยและให้ความแข็งแรงกับเนื้อเยื่อ (Tissue) ของไม้ และช่วยทำให้กระดาษมีความทึบแสงดีเหมาะสำหรับกระดาษที่ใช้พิมพ์สองด้าน แต่ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจะต้องกำจัดลิกนินออกไป เนื่องจากเป็นสาเหตุทำให้กระดาษมีสีคล้ำและมีความแข็งแรงลดต่ำลง โครงสร้างของลิกนินแสดงดังภาพประกอบที่ 2-4



ภาพประกอบที่ 2-4 โครงสร้างของลิกนิน (http://palaeos.com/, 2008)

2.4.4 สารแทรก (Extractive)

สารแทรก (Extractive) คือ สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์อาจเป็นกรดหรือเป็นกลางก็ได้ มีตั้งแต่ สารไอโซพรีน เทอร์ฟีน เฮตเตอโรไซคลิก กรดเรซิน สารโพลีฟีนอลต่างๆ และอัลคาลอยด์ เป็นต้น และเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด สารประกอบเหล่านี้จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่างกันออกไป สารแทรกแบ่งออกเป็นสารแทรกที่ละลายน้ำได้ กับสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สารแทรกหลักที่ประกอบอยู่ในพืชจะเป็นพวกสารระเหย (Volatile compounds) กรดไขมัน (Fatty acids) ไข (Wax) และ

Polysaccharides และสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน (Aromatic compounds) เช่น Tannins Stilbenes Flavonoid เป็นต้น

การใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น เช่น สารแทรกพวกเทอร์ฟีนอาจใช้เป็นตัวทำละลาย ทำน้ำหอม ยา สบู่ กาว และใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ พวกโพลีฟีนอลใช้ในการฟอกหนัง สังเคราะห์กาว ส่วนพวกอัลคาลอยด์ ส่วนใหญ่มีประโยชน์ทางเภสัชกรรม

โดยทั่วไปในพืชประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 40-45 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-25 ลิกนินร้อยละ 20-30 และสารแทรกร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช ดินที่เจริญเติบโต สภาวะแวดล้อม เช่น อากาศ อุณหภูมิ เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยจากไม้และพืชทางการเกษตร แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของพืชบางชนิด (Han, 1998)

Fiber type		Chemical composition (% total)				
		Cellulose	Lignin	Pentosan	Ash	Silica
Agricultural crops	Rice	28~48	12~16	23~28	15~20	9~14
	Sugar	32~48	19~24	27~32	1.5~5	0.7~35
	Bamboo	26~43	21~31	15~26	1.7~5	0.7
	Esparto	33~38	17~19	27~32	6~8	-
	Bagasse	32~48	19~24	27~32	1.5~5	0.7~35
	Reed	44~46	22~24	20	3	3
	Hemp	57~77	9~13	14~17	0.8	-
	Kenaf	37~49	15~21	18~24	2 ~ 4	-
	Jute	41~48	21~24	18~22	0.8	-
Softwood	Coniferous	40~45	26~34	7~14	< 1	-
Hardwood	Deciduous	38~49	23~30	19~26	< 1	-

2.5 กระบวนการผลิตกระดาษ (Paper process)

การผลิตกระดาษในเชิงอุตสาหกรรมแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) วัตถุดิบหลักได้แก่ เนื้อไม้ ทั้งที่มีลักษณะแข็งเป็นก้อน เช่น ไม้สน หรือเป็นเส้น เช่นฟางข้าว จะต้องตัดให้มีขนาดพอเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตเยื่อ ถ้าเป็นไม้ที่เป็นท่อนหรือเป็นซุงจะนำไปลอกเปลือกออกก่อน หลังจากนั้นนำไปสับทำให้เป็นชิ้นไม้เล็กๆ (Chip) ชิ้นไม้เล็กๆนี้จะถูกคัดเลือกโดยผ่านตะแกรงร่อน เพื่อคัดขนาดให้ได้ขนาดที่ใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำไปเข้าหน่วยผลิตเยื่อ

2.5.2 การผลิตเยื่อ (Pulping) เป็นขั้นตอนที่ชิ้นไม้จะถูกนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ กรรมวิธีการผลิตเยื่อกระดาษสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

2.5.2.1 การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping process) การผลิตเยื่อเชิงกล หมายถึง กระบวนการผลิตเยื่อโดยการใช้พลังงานกลช่วยให้เส้นใยหลุดออกจากกันอย่างอิสระ ระหว่างกระบวนการนี้ เส้นใยจำนวนมากจะถูกขัดสีอย่างรุนแรง เป็นเหตุให้เกิดเป็นเส้นใยขนาดเล็ก (fines) ซึ่งเกิดจากการแตกหักของเส้นใยจำนวนมาก ความยาวของเส้นใยโดยเฉลี่ยของเยื่อเชิงกลในการผลิตกระดาษจะสั้นกว่าความยาวเส้นใยในเนื้อไม้และในเยื่อเคมีจากไม้ชนิดเดียวกันมาก ชนิดไม้ที่มีปริมาณสารแทรก (Wood extractive) มากจะไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเยื่อกล เพราะสารแทรกมีแนวโน้มที่จะเคลือบอยู่บนผิวหน้าของเส้นใย ทำให้ความสามารถในการเกิดพันธะของเส้นใยลดลงอย่างรุนแรง เยื่อไม้ที่ผลิตได้จากการผลิตเยื่อวิธีนี้จะมีลิกนินปนอยู่ในเส้นใยมาก ทำให้เส้นใยมีความแข็งมากกว่าเส้นใยจากเยื่อเคมีมาก เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษจะมีคุณสมบัติด้านความทึบแสงสูง แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยต่ำ จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษประเภทรับแรงสูง เยื่อชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูก จึงนำไปผลิตกระดาษที่ราคาถูกแต่คุณภาพต่ำ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ เป็นต้น

2.5.2.2 การผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semichemical pulping process) การผลิตเยื่อกึ่งเคมีเป็นการนำสารเคมีและพลังงานกลมาใช้ในการแยกเส้นใย โดยชิ้นไม้จะถูกนำไปผ่านสารเคมีบางชนิดซึ่งจะทำให้การเชื่อมประสานกันของเส้นใยในเนื้อไม้อ่อนตัวลง เพื่อสะดวกในการแยกเส้นใยออกจากกันใน

ขั้นตอนการใช้พลังงานกล ผลผลิตของเยื่อไม้ที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะได้ผลผลิตมีค่าประมาณร้อยละ 70-80 สำหรับเยื่อไม้ที่ไม่ผ่านการฟอกสี เยื่อประเภทนี้ยังคงมีปริมาณลิกนินอยู่บ้างแต่น้อยกว่าเยื่อเชิงกล ดังนั้นเยื่อที่ได้จากวิธีนี้เมื่อนำไปผลิตเป็นกระดาษ จะได้กระดาษที่มีความแข็งแรงมากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงกล เยื่อประเภทนี้นิยมนำมาผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษสมุด

2.5.2.3 การผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulping process) เป็นกระบวนการที่ละลายเอาลิกนิน ซึ่งเป็นสารเชื่อมเส้นใยออกมา เส้นใยจะแยกออกจากกันโดยไม่ถูกทำลาย ในระหว่างการแยกเยื่อพบว่า มีสารในเนื้อไม้มากกว่าครึ่งถูกละลายออกมาคงเหลือไว้แต่เซลลูโลส ที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใย การกำจัดลิกนินออกไปทำให้เส้นใยมีผนังที่นิ่มขึ้นและสามารถสานตัวกันได้ดี เมื่อนำมาผลิตกระดาษ เส้นใยส่วนมากจะมีการยุบตัวเปลี่ยนรูปร่างจากแบบท่อมาเป็นรูปร่างแบน แบบริบบิ้น ซึ่งรูปร่างแบบริบบิ้นนี้ จะมีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นกว่าแบบท่อ บางวิธีการแยกเยื่อ จะมีการปรับปรุงให้ได้ผลผลิตเยื่อมากกว่าร้อยละ 50 โดยการลดการละลายของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสลง อย่างไรก็ตามเส้นใยที่มีลิกนินและเฮมิเซลลูโลสมากขึ้นนี้ จะมีลักษณะแข็ง ลิกนินที่หลงเหลือในไม้เป็นสารที่ว่องไวต่อแสงมาก หลังจากแยกเยื่อ ลิกนินบางส่วนยังคงเหลืออยู่ในเยื่อ ซึ่งจะเปลี่ยนสีมาเป็นสีน้ำตาล เห็นได้จากเยื่อซัลเฟต เมื่อกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ในขั้นตอนการฟอกเยื่อ เส้นใยจะเปลี่ยนมาเป็นไม่มีสี ซึ่งมีแนวโน้มในการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังการใช้งานน้อย และสามารถฟอร์มเป็นแผ่นกระดาษที่มีความขาวสว่าง โดยมีความทนทานต่อแสงสูง การแยกเยื่อทางเคมีนั้นมีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้ในการแยกเยื่อ 3 วิธีด้วยกัน คือ

1) กระบวนการด่าง (Alkaline pulping process) เป็นกระบวนการที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการแยกเส้นใยออกมา กระบวนการนี้จึงสามารถเรียกอีกอย่างได้ว่า กระบวนการโซดา ผลผลิตของเยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ เยื่อที่ได้มีสีคล้ำ กระบวนการนี้นิยมใช้กับไม้เบญจพรรณต่างๆ และไม้ล้มลุก

2) กระบวนการซัลไฟต์ (Sulfite pluping process) กระบวนการนี้ใช้กรดซัลฟิวรัส (Sulphurous acid) หรือสารไบซัลไฟต์ (Bisulphite) ผสมกับชิ้นไม้ แล้วให้ความร้อนประมาณ 140 องศาเซลเซียส ทำให้ลิกนินถูกแยกออกมา หลังจากนั้นเยื่อจะถูกนำไปล้างด้วยน้ำ แล้วนำไปฟอกสี

จากนั้นค่อยนำไปขึ้นรูปแผ่นกระดาษต่อไป เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะประกอบด้วยเซลลูโลสบริสุทธิ์ แต่ความแข็งแรงของเยื่อจะน้อยกว่าเยื่อที่ได้จากกระบวนการคราฟท์ โดยทั่วไปจะไม่ใช้กระบวนการซัลไฟต์กับไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน

3) กระบวนการคราฟท์ (Kraft process) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเยื่อคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) และโซเดียมซัลไฟล์ (Sodium sulfide, Na_2S) เยื่อที่ได้มีความแข็งแรงสูง สามารถใช้ได้กับไม้ทุกชนิด เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้เมื่อยังหากยังไม่ผ่านการฟอกสีจะมีสีน้ำตาลเข้ม แต่ก็สามารถฟอกสีให้ได้ค่าความขาวสว่างสูงสุดได้ง่ายซึ่งง่ายกว่าเยื่อที่ได้จากกระบวนการโซดา แต่การฟอกเยื่ออาจจะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงเล็กน้อย

2.5.3 การฟอกเยื่อ (Bleaching) เป็นการทำให้เยื่อมีความขาวเหมาะกับการใช้พิมพ์ การฟอกเยื่อสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.3.1 การฟอกให้ขาวโดยไม่ละลายสารในเยื่อออก (Yield preserving or Lignin bleaching) เป็นการฟอกขาวโดยการเปลี่ยนโครงสร้างของสารที่ทำให้เกิดสีในเยื่อ ให้เป็นโครงสร้างที่ดูดกลืนแสงน้อยลง ได้แก่ การฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และไดไทโอไนท์ (Dithionite) ส่วนใหญ่ใช้ในการฟอกเยื่อไม่บดหรือเยื่อจากกระบวนการเชิงกล

2.5.3.2 การฟอกให้ขาวโดยสลายสารที่ทำให้เกิดสีในเยื่อ (Lignin removal) การฟอกเยื่อแบบนี้เหมาะสำหรับการฟอกเยื่อที่ผลิตด้วยกระบวนการเคมี ซึ่งจะมีสีคล้ำกว่าเยื่อที่ได้จากกระบวนการอื่น แต่มีลิกนินซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีในเยื่ออยู่ในปริมาณน้อย เมื่อแยกลิกนินออกแล้วทำให้ผลผลิตเยื่อลดลงเล็กน้อย การฟอกเยื่อแบบนี้ใช้คลอรีนและสารประกอบของคลอรีนเป็นพื้นฐาน ส่วนใหญ่เป็นการฟอกหลายขั้นตอน

2.5.4 การเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation)

มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยให้เหมาะสมแก่การเดินแผ่น และเพื่อให้ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติตามต้องการในการผลิต โดยการบดเยื่อและการผสมสารปรับแต่งต่างๆ จะมีขั้นตอนดังนี้

2.5.4.1 การตีเยื่อให้กระจายในน้ำ (Pulping and defibring) โดยใช้อุปกรณ์ตีเยื่อ (Hydrapulper) เพื่อแยกเส้นใยออกจากกันและกระจายในน้ำอย่างสม่ำเสมอ

2.5.4.2 การบดเยื่อ (Beating or refining) เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย เมื่อนำเส้นใยไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ

2.5.4.3 การผสมน้ำเยื่อกับสารเติมแต่ง (Blending of furnish ingredient) เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติของน้ำเยื่อให้ถูกต้องตรงกับชนิดของกระดาษที่จะผลิต เช่น สารต้านการซึมน้ำ เป็นต้น

2.5.4.4 การทำความสะอาดเยื่อ (Cleaning) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ เช่น การร่อนผ่านตะแกรง การสลัดเหวี่ยงด้วยไซโคลน เป็นต้น

2.5.4.5 การควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (Consistency) เพื่อให้เยื่อมีคุณสมบัติคงที่ตลอดกระบวนการผลิต เช่น การใช้หม้อกรองเพื่อควบคุมความเข้มข้นของเยื่อ

2.5.5 การทำแผ่นกระดาษด้วยมือแบบพื้นบ้าน

2.5.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ต้องผ่านการคัดเลือกมาอย่างดีแล้ว ซึ่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ต้องสะอาด ไม่มีเชื้อราและสิ่งสกปรกต่างๆ ติดมากับวัตถุดิบ นำวัตถุดิบมาตัดไม่ให้เกินเส้นผ่าศูนย์กลางของหม้อต้มเยื่อ จากนั้นนำวัตถุดิบไปแช่น้ำไว้เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้วัตถุดิบอ่อนตัว ชุ่มน้ำ จะทำให้สารเคมีซึมเข้าไปในเยื่อได้ดี และยังช่วยเอาสิ่งสกปรกออก เช่น เศษดิน ฝุ่น และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ออกไป การแช่อาจจะแช่น้ำธรรมดาในถังแช่โดยให้น้ำขังหรือใช้วิธีให้น้ำไหลเข้าและไหลออกอย่างช้าๆ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้วัตถุดิบไม่มีกลิ่นเหม็นและสะอาดมากขึ้น และยังมีวิธีการแช่วัตถุดิบในด่างโดยที่ยังไม่มีการต้ม โดยใส่ด่างลงในน้ำแช่วัตถุดิบเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นก็นำวัตถุดิบที่ได้มาต้มกับโซดาไฟ (NaOH) เพื่อให้เส้นใยที่มีอยู่ในพืชแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวและสลายสิ่งต่างๆที่มีอยู่ในพืชออกไป วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ หนา ควรบีบ ทุบ หรือตัดเพื่อให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้โซดาไฟสลายได้ดีขึ้น ปริมาณโซดาไฟที่ควรใช้ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 8-15 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักวัตถุดิบแห้ง ในการต้มมีปัจจัยอยู่ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณโซดาไฟที่ใช้ อุณหภูมิ และเวลาในการต้ม ทั้ง 3 ปัจจัยนี้ต้องพิจารณาว่าให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ เนื่องจากการใช้โซดาไฟมากเกินไปจะทำให้กระดาษที่

ได้ไม่แข็งแรง ตัวอย่างเช่น ปอสาควรใช้ปริมาณโซดาไฟร้อยละ 7-8 กาบกล้วยใช้ปริมาณโซดาไฟร้อยละ 10 ใบสับปะรดใช้ใช้ปริมาณโซดาไฟร้อยละ 15 เป็นต้น

2.5.5.2 การล้างเยื่อ เมื่อต้มวัตถุดิบแล้วจะได้เยื่อที่ยังมีโซดาไฟอยู่ ควรล้างออกให้หมด สังเกตได้จากเมื่อจับเยื่อจะไม่ลื่นมือและน้ำล้างเยื่อจะใส ในการล้างเยื่อนี้เราจะคัดแยกเยื่อที่ไม่เปื่อยออกไปด้วย เยื่อเหล่านี้ไม่สามารถนำไปทำกระดาษได้ การคัดแยกเยื่อทำได้โดยดึงตามแนวตั้งและแนวขวางหากสามารถดึงและฉีกออกได้ง่ายแสดงว่าเยื่อนั้นสามารถใช้ได้

2.5.5.3 การฟอกเยื่อ เป็นการทำให้เยื่อที่จะนำมาใช้ทำแผ่นกระดาษมีความขาวเพิ่มขึ้น สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สลายตัวได้เร็ว ในการฟอกเยื่อแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณสารเคมีต่างกัน ตัวอย่างเช่น เยื่อปอสาใช้ ปริมาณสารเคมีร้อยละ 2-4 โดยน้ำหนัก เยื่อสับปะรดใช้ร้อยละ 6 เยื่อกล้วยใช้ร้อยละ 12 เป็นต้น อุณหภูมิที่ใช้ในการฟอกคือ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เยื่อแต่ละชนิดจะได้สีจากการฟอกที่แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ต่างกัน

2.5.5.4 การกระจายเยื่อ (ตีเยื่อ) การกระจายเยื่อเป็นการทำให้เยื่อที่ประกอบด้วยเส้นใยหลายๆ เส้นหลุดออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ระยะเวลาในการกระจายเยื่อขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโซดาไฟที่ใช้ในการต้ม ถ้ากระจายเยื่อแล้วเยื่อยังเป็นกระจุกของเส้นใยแสดงว่าเราใช้ความเข้มข้นของสารเคมีน้อยเกินไป ระยะเวลาในการกระจายเยื่อก็มีผลต่อเส้นใยเช่นกัน ถ้าใช้เวลาสั้นๆ เส้นใยจะกระจายกันไม่ทั่วถึง วิธีการกระจายเยื่อแบบดั้งเดิมจะใช้การทุบด้วยไม้ หรือค้อนไม้ให้เยื่อแตกกระจาย หรือการนำเยื่อใส่ถุงไนลอนตาข่าย ขนาดรูตาข่ายประมาณมุ้งลวด หรือใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้

2.5.5.5 การทำแผ่นกระดาษ ในการทำแผ่นกระดาษเป็นการเทเยื่อที่ได้จากการกระจายเยื่ออย่างดีแล้ว ลงไปในตะแกรงไนลอนที่ใช้ทำแผ่นกระดาษ ตะแกรงนี้จะลอยน้ำ เมื่อเทเยื่อลงไปเยื่อก็จะลอยน้ำอยู่บนตะแกรง จากนั้นก็ทำการเกลี่ยเยื่อในตะแกรงให้มีความสม่ำเสมอกันทั้งแผ่น หรือที่ชาวบ้านเรียกกันว่า “แตะ” แต่ถ้านำเยื่อที่กระจายดีแล้วใส่ในอ่างผสมกับน้ำในปริมาณที่มากพอและเหมาะสม แล้วใช้ตะแกรงช้อนเยื่อขึ้นมา เรียกว่าวิธีการทำแผ่นกระดาษแบบ “ช้อนเยื่อ” โดยในการช้อนจะต้องให้เยื่อกระจายสม่ำเสมอ และนำไปตากแดด เมื่อเยื่อแห้งแล้วก็ค่อยๆ ลอกกระดาษออกจาก

ตะแกรง ในการตากแดดเส้นใยบางชนิดจะมีการหดหรือย่น อย่างเช่น เยื่อจากสับปะรด กล้วย และผักตบชวา ดังนั้นจึงควรนำไปตากแดดพอหมาดๆ แล้วนำเข้ามาจากในที่ร่ม

2.6 ความเหมาะสมของเส้นใยในการผลิตกระดาษ

การเลือกเส้นใยเพื่อผลิตกระดาษ จะเลือกจากหน้าที่การใช้งานของกระดาษเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตาม ความเหมาะสมทางเศรษฐกิจก็มีความสำคัญ จะเห็นได้ว่า ข้อดีของราคาที่ต่ำกว่าสามารถทดแทนข้อเสียในการทำหน้าที่บางข้อของกระดาษได้ ดังนั้นเส้นใยที่มีความเหมาะในการผลิตกระดาษตามการใช้งานแต่ละกลุ่ม ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

2.6.1 กระดาษพิมพ์เขียน (Printing and writing paper)

เส้นใยที่เล็กจะให้ข้อดีในการผลิตกระดาษที่ มีความทึบ ความขาวสว่าง ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษที่ดี และมีผิวหน้าที่เรียบ เยื่อเคมีฟอกจากไม้เนื้อแข็งจะเหมาะสมมาก ถึงแม้กระดาษจะมีความแข็งแรงต่ำ แต่โดยมากก็เป็นที่ยอมรับได้ และสามารถปรับปรุงความแข็งแรง โดยการทำการป้องกันการซึมที่ผิวกระดาษ (surface sizing) สำหรับกระดาษเพื่อการพิมพ์ที่มีราคาถูก เยื่อเชิงกลมีความเหมาะสมมาก เพราะเส้นใยที่แข็งแรง ไม่ยุบตัว และมีอนุภาคเล็กๆอยู่มาก โดยเฉพาะเยื่อที่มีลิกนิน จะทำให้ผิวหน้าจำเพาะเพื่อการกระจายแสงสูง (light-scattering surface) โดยสามารถยอมรับความแข็งแรงของกระดาษที่ต่ำได้ ความแข็งแรงต้องการเพียงแค่เพื่อให้เดินแผ่นกระดาษบนเครื่องผลิตกระดาษเป็นไปอย่างราบรื่น ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยการเติมเยื่อเคมีเส้นใยยาวลงไปในน้ำเยื่อ การผลิตกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานต่ำที่สุด (lowest basis weight) จะใช้เยื่อ TMP สำหรับกระดาษพิมพ์เขียนเกรดดี ที่ทำจากเยื่อไม้ยูคาลิปตัส โดยมีการเติมเยื่อใยยาวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงด้วยเช่นกัน ข้อเสียของเยื่อเชิงกล คือ เส้นใยที่หยาบและคงรูป จะให้ผิวหน้ากระดาษที่หยาบ ซึ่งสามารถลดปัญหานี้ได้ โดยการรีดกระดาษ (Calendaring) ด้วยเครื่องรีดกระดาษแบบธรรมดา (Machine Calendaring) หรือเครื่องรีดกระดาษแบบพิเศษ (Super Calendaring) หรือใช้การเคลือบผิวกระดาษ (Pigment Coating)

2.6.2 กระดาษเพื่อการบรรจุภัณฑ์ (Packaging paper and board)

เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของกระดาษในระดับสูง การมีพันธะระหว่างเส้นใยมากๆ จึงมีความสำคัญ ซึ่งเยื่อคราฟท์ให้ได้ดีที่สุด การเสียสมบัติเรื่องการกระจายของแสงในเนื้อกระดาษ เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ก็ไม่สำคัญมากนัก สำหรับกระดาษกลุ่มนี้ เยื่อคราฟท์ที่มีสีน้ำตาลเข้มก็ยังเป็นที่ยอมรับ ถ้าไม่มีปัญหาในเรื่องของการใช้จ่ายเยื่อก็อาจได้รับการฟอกสีและเส้นใยที่หยาบมากจะให้ผลดี เพราะมักจะมาควบคู่กับความแข็งแรงของเส้นใยที่สูง โดยทั่วไปนิยมนำมาใช้ในการผลิตกระดาษผิวกล่อง (Linerboard) เยื่อเชิงกลจึงไม่เหมาะต่อการผลิตกระดาษกลุ่มนี้ เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงที่ต่ำเกินไป ถึงแม้เยื่อจะมีราคาถูกก็ไม่สามารถทดแทนคุณภาพที่ต้องการได้ สำหรับผลิตภัณฑ์เพื่อการบรรจุที่มีการออกแบบโครงสร้าง เช่น กระดาษกล่องลูกฟูก จะมีการนำเยื่อเชิงกลกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Pulp) สำหรับการผลิตกระดาษทำลอนลูกฟูก (Corrigate medium or fluting) ซึ่งเป็นชั้นกระดาษที่อยู่ด้านในของกระดาษลูกฟูก กระดาษลอนลูกฟูกนี้ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก แต่วัตถุประสงค์หลักที่ต้องการ คือ ทำให้ชั้นทั้งสองของผิวกระดาษกล่อง ซึ่งมีความแข็งแรงมากนี้ ให้แยกออกจากกันอย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.3 กระดาษเพื่อการซึมซับ (Absorpting paper)

กระดาษในกลุ่มนี้ ควรมีพื้นที่ผิวและปริมาตรของกระดาษที่มาก เส้นใยมีพันธะระหว่างกันน้อย อย่างไรก็ตามในเวลาเดียวกัน ก็ต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรักษาความแข็งแรงของกระดาษเมื่อเปียก เยื่อเคมีจะมีความเหมาะสม เพราะจะให้เส้นใยที่มีความนุ่มและจำนวนเส้นใยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักสูง เนื่องจากมีการผลิตเยื่อต่ำทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีมาก เยื่อที่หยาบกว่าของไม้เนื้ออ่อนจะให้ผิวหน้ากระดาษที่แข็งกระด้างกว่าไม้เนื้อแข็งที่ให้เส้นใยที่บางและนุ่ม กระดาษเพื่อการซึมซับจะให้ความสำคัญกับความนุ่มเป็นอย่างมาก กระดาษเช็ดหน้าจึงต้องทำเป็น 2 ชั้น โดยชั้นที่ต้องสัมผัสกับผิวหน้าผู้ใช้ จะเป็นกระดาษที่ทำจากเยื่อยูคาลิปตัสจะให้ความนุ่มสูงสุด

2.7 คุณสมบัติของกระดาษ

ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากกระดาษมีมากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดย่อมต้องการกระดาษที่มีสมบัติแตกต่างกันไป สมบัติของกระดาษเป็นตัวกำหนดประเภทของกระดาษให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน และยังเป็นตัวบ่งชี้ความเหมือน และความแตกต่างกันของกระดาษแต่ละชนิด สมบัติของกระดาษสามารถแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

2.7.1 สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural properties) กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมิได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเติมแต่งอุดช่องว่าง ระหว่างเส้นใยลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษจึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวในแนวขนานของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษด้วย ซึ่งประกอบด้วย

2.7.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight หรือ Gramage) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นกรัมต่อตารางเมตรตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้หน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางฟุต หรือปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ Tappi ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า “แกรมเมจ” (gramage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน

2.7.1.2 ความหนา (Caliper) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (Inches) หรือมิล (Mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (Micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (Millimeter) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้ ความหนาแน่นปกติได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร สำหรับในวงการกระดาษจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักมาตรฐานได้

เป็นความหนาแน่นเสมือน (Apparent density) ซึ่งเป็นการเทียบหาความหนาแน่นของกระดาษที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานเดียวกัน อาจมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน

2.7.1.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation) หมายถึง ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกัน ในแต่ละบริเวณของกระดาษ นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาษสำหรับพิมพ์ เมื่อนำกระดาษที่มีเนื้อไม่สม่ำเสมอ (Wild formation) ไปพิมพ์จะให้คุณสมบัติที่ไม่ดี ความไม่สม่ำเสมอกันของเนื้อกระดาษเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่างๆ ที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันในขนาดรูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสงและองค์ประกอบทางเคมี

2.7.1.4 ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน (Two-sideness) สองด้านของผิวกระดาษที่กล่าวถึง คือ ด้านตะแกรง (Wire side, WS) และด้านสักหลาด (Felt side, FS) ด้านตะแกรงหมายถึง ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับด้านตะแกรงหรือเป็นด้านบนเวลาทำแผ่นกระดาษ ที่จริงแล้วควรเรียกว่าด้านบน (Top side) มากกว่า ในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นจะมีการสั่นสะเทือนของเครื่องเพื่อไม่ให้เส้นใยจับกลุ่มกันและในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นนี้ น้ำเยื่อจะเริ่มก่อตัวเป็นแผ่นด้วยกระบวนการกรองและมีการแยกน้ำออก

2.7.2 สมบัติเชิงกลของกระดาษ (Mechanical properties)

สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งเป็นสิ่งที่ระบุว่ากระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งาน กระดาษจะตอบสนองแรงที่มากระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาได้ในรูปของสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้นในการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสมบัติเชิงกลของกระดาษด้วย ซึ่งประกอบด้วย

2.7.2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) คือ ความแข็งแรงต่อแรงเค้นที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว (Tensile stress) ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญ

ของกระดาษในระบบการพิมพ์ป้อนม้วนมากกว่ากระดาษในระบบการพิมพ์แบบป้อนแผ่น เนื่องจากการพิมพ์ในระบบป้อนม้วนกระดาษต้องได้รับแรงดึงตึงตลอดเวลา หากกระดาษที่ใช้มีความแข็งแรงต่อแรงดึงน้อยอาจจะทำให้เกิดการขาดของกระดาษในระหว่างการพิมพ์ได้ นอกจากนี้กระดาษที่ต้องนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ก็จำเป็นต้องมีความแข็งแรงต่อแรงดึงด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปอาจมีแรงดึงกระทำต่อกระดาษไม่มากก็น้อย

2.7.2.2 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) หมายถึง ความต้านทานต่อแรงที่กระทำกับพื้นที่หนึ่งตารางเมตรของกระดาษในแนวตั้งฉากก่อนที่กระดาษจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล (kPa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.7.2.3 ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด (Tearing strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือกรัม (gram) กระดาษที่จำเป็นต้องตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาด ได้แก่ กระดาษทำถุง กระดาษพิมพ์และเขียน

2.7.2.4 ความแข็งตึง (Stiffness) หมายถึง ความต้านทานของกระดาษต่อการโค้งที่เกิดจากน้ำหนักของตัวกระดาษเอง หรือแรงอื่นที่ทำต่อกระดาษนั้น

2.7.2.5 ความแข็งแรงต่อการพับ (Folding strength) หมายถึงการพับไปพับมา (Double folds) ของชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็นจำนวนครั้ง หรือ log 10 ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวขนานเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง ความทนทานต่อการพับขาดจะเป็นการวัดที่รวมความต้านแรงดึง การยืดตัว การแยกชั้นของกระดาษและความต้านทานแรงกด ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษ

2.7.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (Optical properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์อย่างเดียวได้ แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตวิทยาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาใน

การสังเกตและสมองตัดสินการรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์และแปลผลของการสะท้อนแสงหรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

2.7.4 สมบัติการต้านทานของกระดาษ (Resistance properties)

การดูดซับน้ำ (Adsorption) หมายถึง ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษในพื้นที่ 1 ตารางเมตรภายในระยะเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระดาษและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูป ถ้าผลิตภัณฑ์มีค่าดูดซับน้ำ (Adsorption) มากจะมีผลให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษและผลิตภัณฑ์เยื่อขึ้นรูปลดลง วิธีทดสอบเรียกว่า “คอบบ์ เทส” (Cobb Test) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Cobb sizing tester โดยมีมาตรฐานที่ใช้ทดสอบได้แก่ ISO 535, ASTM D 2045, TAPPI T 411

2.8 การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ

การปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ เพื่อเพิ่มความสามารถของกระดาษให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกระดาษพิมพ์เขียน (Writing and printing paper) กระดาษบรรจุภัณฑ์ (Packaging paper) และกระดาษดูดซับ (Absorption paper) ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษบรรจุภัณฑ์ มี 3 วิธี

2.8.1 การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยวิธีทางกล

2.8.1.1 การบดเยื่อ (Refining หรือ Beating) การบดเยื่อเป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมน้ำเยื่อเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อในการผลิตกระดาษ การบดเยื่อในอดีตจะใช้เครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นครก และสาก (Morter and hammer) จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า การบดเยื่อ (Beating) ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยในการบดเยื่อเพิ่มมากขึ้น จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า Refining ส่วนเครื่องจักรที่ใช้บดเยื่อจะเรียกว่า Refiner

การบดเยื่อเป็นกระบวนการแปลงสภาพทางกล (Mechanical modification) ของเยื่อในการเตรียมน้ำเยื่อเพื่อขึ้นรูปกระดาษ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกลโดยการบดหรือการปั่นจะส่งผล

ให้โครงสร้างผนังเซลล์ (Cell wall) เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีผลต่อคุณภาพกระดาษทั้งทางกลและทางแสง (Optical properties) โดยการบดเยื่อจะส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น มีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความทึบแสง (Opacity) แต่จะทำให้การระบายน้ำในขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษช้าลง การบดเยื่อลักษณะนี้จะใช้พลังงานสูงมาก (Whitter R.L., 1970)

การบดเยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมทางเคมี (Chemical pulps) จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างไป เนื่องจากลิกนิน (Lignin) ในเยื่อได้ถูกกำจัดหรือแปลงสภาพให้มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำมากขึ้น (Hydrophilic) ส่งผลให้เส้นใยสามารถที่จะอุ้มน้ำได้ พองตัว และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของเยื่อกระดาษที่แข็งแรงและหนาแน่นมากขึ้นจากแรง Capillary forces และ Pressing ดังนั้น การบดเยื่อที่ผ่านการเตรียมเยื่อทางเคมีจะส่งผลให้การเชื่อมติดกันของเยื่อดีขึ้น ความแข็งแรงของกระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปจะสูงขึ้น ขณะที่จะลดการทึบแสงของกระดาษลง (Noland W.J., 1970)

เครื่องบดเยื่อ (Refiner หรือ Beater) มีอยู่หลายประเภท เช่น Valley beater, Lampen mill, Jokro mill, Escher Wyss Klein refiner, PFI mill หรือ PFI mill จัดเป็นเครื่องบดเยื่อในระดับห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีการวัดและการประเมินระดับการบดเยื่อจะนิยมวัดด้วยดัชนี “Freeness” โดยเป็นการวัดการต้านทานต่อการไหลของน้ำเยื่อภายใต้สภาวะที่กำหนดในหน่วยปริมาตร เช่น มิลลิเมตร ซึ่งนิยมใช้วิธีของ Canadian standard Freeness (CFS) และ Schoper Riegler (° SR) การวัด “Freeness” โดยวิธีดังกล่าว อุตสาหกรรมนิยมใช้ในขั้นตอนในการผลิตเยื่อเพื่อควบคุมคุณภาพการบดเยื่อก่อนที่จะมีการขึ้นรูปกระดาษ

นอกจากการวัด Freeness แล้วอาจวัดอัตราการไหลของเยื่อ (Drainage time) ตามวิธี T221 on-88 ของมาตรฐาน TAPPI Standard เป็นวิธีวัดความเฉื่อยของน้ำเยื่อ (Slowness)

2.8.1.2 การขัดผิวกระดาษ (Supercalendering) กระดาษที่ผ่านการรีดผิวหรือผ่านการเคลือบผิวมาแล้วเป็นกระดาษที่มีความเรียบและความมันวาวในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มความมันวาวของกระดาษให้มีมากยิ่งขึ้น กระดาษจะถูกนำมาขัดผิวโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “ซูเปอร์คาร์แลน-เดอร์ (Supercalender)” ซึ่งเป็นอุปกรณ์ต่อแยกออกจากเครื่องผลิตกระดาษ อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยลูกกลิ้งขัดผิวจำนวนมาก มีลักษณะเป็นกระบอกเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง โดยมีลูกกลิ้งที่ทำ

จากเหล็กกล้าขัดมันเรียงสลับกับลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยกระดาษหรือฝ้าย เมื่อสายของแผ่นกระดาษผ่านเข้าไประหว่างลูกกลิ้ง แรงกดอัดระหว่างกลิ้งที่กระดาษได้รับมีผลให้เส้นใยเซลลูโลสอัดตัวกันได้มากขึ้น และทำให้กระดาษมีผิวที่เรียบมากขึ้น อันเป็นผลทำให้ความมันวาวของกระดาษเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่กระดาษได้รับการขัดผิว

2.8.1.3 การเคลือบผิวกระดาษ (Coating) เป็นขั้นตอนสำหรับเคลือบผิวกระดาษด้วยสารตัวเติม โดยมีสารยึดตัวเติมให้ติดบนผิวกระดาษได้ การเคลือบผิวจะช่วยให้กระดาษมีผิวหน้าที่เรียบขึ้น ทำให้สภาพที่พิมพ์ได้ของกระดาษดีขึ้น กระดาษที่ผ่านการเคลือบผิวมีชื่อว่า “กระดาษเคลือบผิว (Coated paper)” ซึ่งการเคลือบผิวอาจเป็นแบบ เคลือบด้านเดียว (1-Side coating) หรือเคลือบสองด้าน (2-Side coating) ของกระดาษ และอาจเคลือบด้าน (Matt coating) หรือเคลือบมัน (Gloss coating) ก็ได้ ทั้งนี้การเคลือบด้านหรือเคลือบมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่ใช้ ความมันวาวของกระดาษที่นำมาเคลือบผิว และวิธีการที่ใช้ในการเคลือบผิวเป็นสำคัญ ทั้งนี้อุปกรณ์ในการเคลือบผิวกระดาษอาจเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องผลิตกระดาษหรือแยกออกมาต่างหากก็ได้ สารเคลือบผิว (Surface coating) เป็นวัสดุที่เมื่อทำการเคลือบลงบนพื้นผิวใดๆ แล้ว จะเกิดเป็นฟิล์มที่มีการยึดเกาะกันระหว่างสารเคลือบผิวด้วยกันเองและระหว่างสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ทำการเคลือบ

วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว คือ

1) เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่างๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่เคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำและสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ สารเคลือบผิวยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขัดสีได้มากขึ้น และอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

2) เพื่อตกแต่งให้ดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิว อาจมาจากสี (Color) จากความมันเงา (Gloss) จากลวดลายตกแต่ง (Texture) ความสว่าง (Brightening) หรือจากทั้งหมดรวมกัน

3) เพื่อจุดประสงค์พิเศษ เช่น การปรับปรุงกระดาษเพื่อต้องการให้กระดาษมีคุณสมบัติของการป้องกันจุลินทรีย์ เชื้อรา หรือทำความสะอาดด้วยตัวเอง เป็นต้น

การใช้สารเคลือบผิวโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมกระดาษ การเคลือบจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษทั้งทางกายภาพและทางกล โดยจะทำให้มีความเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานไขมันหรือไอน้ำ และเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษอีก

ส่วนประกอบของสารเคลือบผิวมี ดังนี้ (อรอุษา สรวารี, 2539)

(1) สารยึด (Binders) เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดของสารเคลือบผิว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางเกาะติดแนบกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ (Substrate) และทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ของสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน สารยึดส่วนใหญ่เป็นสารพวกเรซิน (Resin) การทำให้สารเคลือบผิวติดแน่นและมีความสวยงามทนทาน ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมี และทางฟิสิกส์ของสารยึด โดยสารยึดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า สารเคลือบชนิดนี้ควรใช้งานประเภทใด

(2) ตัวทำละลาย (Solvents) เนื่องจากสมบัติความเป็นของเหลวของตัวทำละลายจึงทำให้สารเคลือบผิวมีความสามารถในการไหล และระเหยไปหลังจากที่ส่วนประกอบอื่นๆ ทำปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์ม ตัวทำละลายมีหน้าที่ปรับความหนืดและช่วยในการผสมส่วนประกอบต่างๆ สารเคลือบผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมีมากมายหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้ตัวทำละลายจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ความสามารถในการละลายสารยึด
- กรรมวิธีในการเคลือบ
- อัตราความเร็วในการแห้งของฟิล์มสารเคลือบผิว
- ความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น สารที่ระเหยออกมาต้องไม่เป็นมลพิษต่อสุภาพและสิ่งแวดล้อม

(3) ผงสี (Pigments) เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดเฉดสีและความทึบแสง ช่วยในการปิดบังพื้นผิว นอกจากนี้ในบางกรณียังทำหน้าที่พิเศษอื่นๆ เช่น ต้านทานการกัดกร่อนหรือการทนไฟ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบผิวบางประเภทไม่จำเป็นต้องใส่ผงสี เช่น วาร์นิช (Varnish) และแลกเกอร์ (Lacquer)

(4) สารเติมแต่ง (Additives) คือ สารผสมพิเศษที่ใส่ลงไปในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารเคลือบผิว ประกอบด้วย

- พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ช่วยลดความเปราะและเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มสารเคลือบผิวเมื่อแห้ง เพื่อให้สามารถทนแรงกระแทกและแรงดัดโค้ง
- สารป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ (Bacteriacide) ส่วนใหญ่ใช้ในสีน้ำพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้สีภายในภาชนะบรรจุเสื่อมคุณภาพเนื่องจากแบคทีเรีย
- สารป้องกันเชื้อรา (Fungicide) ใช้ในสีน้ำพลาสติกและสีน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการขยายพันธุ์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเชื้อรา
- สารกันการเกิดฟอง (Defoamer) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศทั้งในระหว่างขั้นตอนการผลิต การบรรจุและการใช้งาน
- สารข้น (Thickerner) เพื่อปรับความข้นหนืดของสารเคลือบขณะขั้นตอนการใช้งาน
- สารเร่งแห้ง (Driers) ช่วยเร่งการแห้งของสารเคลือบผิว

2.8.2 การปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษด้วยวิธีการทางเคมี

ความต้านทานการซึมน้ำ (Water resistance) เป็นการปรับปรุงสมบัติของกระดาษให้มีความสามารถต้านทานการซึมผ่านของของเหลวได้ดีขึ้น และเพิ่มสมบัติเชิงฟิสิกส์บางประการ ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1) Internal sizing เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษในขั้นตอนเตรียมน้ำเยื่อเป็นการใส่สารเคมีลงไปในน้ำเยื่อ เช่น Rosin ทำให้มุมสัมผัสของของเหลวเพิ่มขึ้น จึงต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ดี

2) Surface sizing เป็นการเคลือบผิวของกระดาษด้วยสารพอลิเมอร์ เช่น แป้ง หรือสตาร์ท จะเติมลงไปหลังการขึ้นรูปแผ่นกระดาษแล้วโดยส่วนใหญ่มักใช้อนุภาคแป้งเข้าไปอุดร่องรอยพื้นผิวที่ไม่เรียบ การปรับปรุงสมบัติกระดาษทางเคมี ให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงผิวกระดาษให้เรียบและแข็งแรงขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับงานเขียนและงานพิมพ์ ช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษ ความเข้มขนของสารละลายแป้งที่ใช้ในการฉาบผิว

กระดาษอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 2-15 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องฉาบผิวที่ใช้และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Maurer, 2001) โดยทั่วไปแล้วแป้งดิบจากธรรมชาติมีความหนืดสูงมากเกินไปสำหรับใช้ในขั้นตอนการฉาบผิวกระดาษ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความหนืดของแป้งลงก่อนที่จะนำไปใช้ได้ ซึ่งการลดความหนืดของแป้งนี้ อาจทำได้ที่โรงงานผลิตกระดาษเองโดยการใช้เอนไซม์หรือใช้ความร้อนร่วมกับสารเคมี (Thermochemical conversion)

2.8.3 การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยการใช้เทคโนโลยี

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว นวัตกรรมทางด้านบรรจุภัณฑ์ก็มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเทคโนโลยี เช่น การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้กับกระดาษเพื่อปรับปรุงให้กระดาษมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้น การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ เช่น Plasma treatment : Inductively coupled plasma (ICP) using SF_6 gas (Sulphur hexafluoride)

พลาสมา (Plasma) หมายถึง ก๊าซที่ถูกไอออนไนซ์ (Ionize gas) ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ ทำให้เกิดประจุบวกและลบในปริมาณที่เท่าๆกัน โดยการให้ไฟฟ้ากับก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอมและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) คุณสมบัติของกระดาษที่ผ่านกระบวนการ Plasma treatment จะป้องกันน้ำได้ ป้องกันฝุ่นได้ ไม่ติดไฟ และเป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

2.9 กระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวล

กระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ที่สำคัญแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

2.9.1 การปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment)

เนื่องจากเซลลูโลสที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลอยู่ในรูปที่เป็นผลึกของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) กับลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งส่วนที่นำมาใช้จริง คือ ส่วนของเซลลูโลส เท่านั้น ขั้นตอนแรกจึงต้องแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบก่อน เพราะส่วนประกอบทั้งสองทำให้พื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ลดลง ซึ่งลิกนินจะเป็นตัวยับยั้ง

การทำงานของเอนไซม์ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไม่ดีเท่าที่ควร และยังเป็นอุปสรรคต่อการหมัก (Fermentation) ด้วย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนการผลิตเอทานอล คือ เพื่อแยกลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออก และเป็นการปรับโครงสร้างของเซลลูโลสให้อยู่ในสภาพเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาการย่อยด้วยเอนไซม์ (ฉัตรชัย ไกรสรพงษ์, 2548)

2.9.2 การย่อยหรือไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

2.9.2.1 การย่อยทางเคมี

เป็นวิธีการย่อยเซลลูโลสเพื่อให้ได้กลูโคสโดยตรง ซึ่งสามารถใช้กรดเข้มข้น หรือกรดเจือจาง แต่จะได้ผลผลิตค่อนข้างน้อย เพราะน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อและกรดอาจทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลสทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่ต้องการ สำหรับกรดที่ใช้ ได้แก่ กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 70 ขึ้นไป กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 40 ขึ้นไป กรดซัลฟิวริกเจือจางร้อยละ 1 เป็นต้น และต้องใช้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 140-160 องศาเซลเซียส ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดรุนแรงและไม่เฉพาะเจาะจง โดยภาชนะที่ใช้ต้องทนต่อการกัดกร่อน

2.9.2.2 การย่อยโดยใช้เอนไซม์

เอนไซม์จะทำปฏิกิริยาย่อยสลายเซลลูโลสให้ผลผลิตเป็นน้ำตาล การเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์เป็นปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรง และจำเพาะเจาะจงต่อสารประกอบเซลลูโลสมาก ทำให้ไม่สูญเสียกลูโคสระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ทำให้ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ แต่จะใช้เวลานานกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการย่อยทางเคมี เอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการย่อยสลายเซลลูโลส คือ เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในจุลินทรีย์หลายชนิด แบคทีเรียที่นิยมนำมาใช้ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส คือ *Trichoderma viride* หรือภายหลังจัดอยู่ใน *T. reessi* (ตรีรัตน์ ชมประยูร และ ศิวนันท์ วัฏฏกะโปดก, 2549)

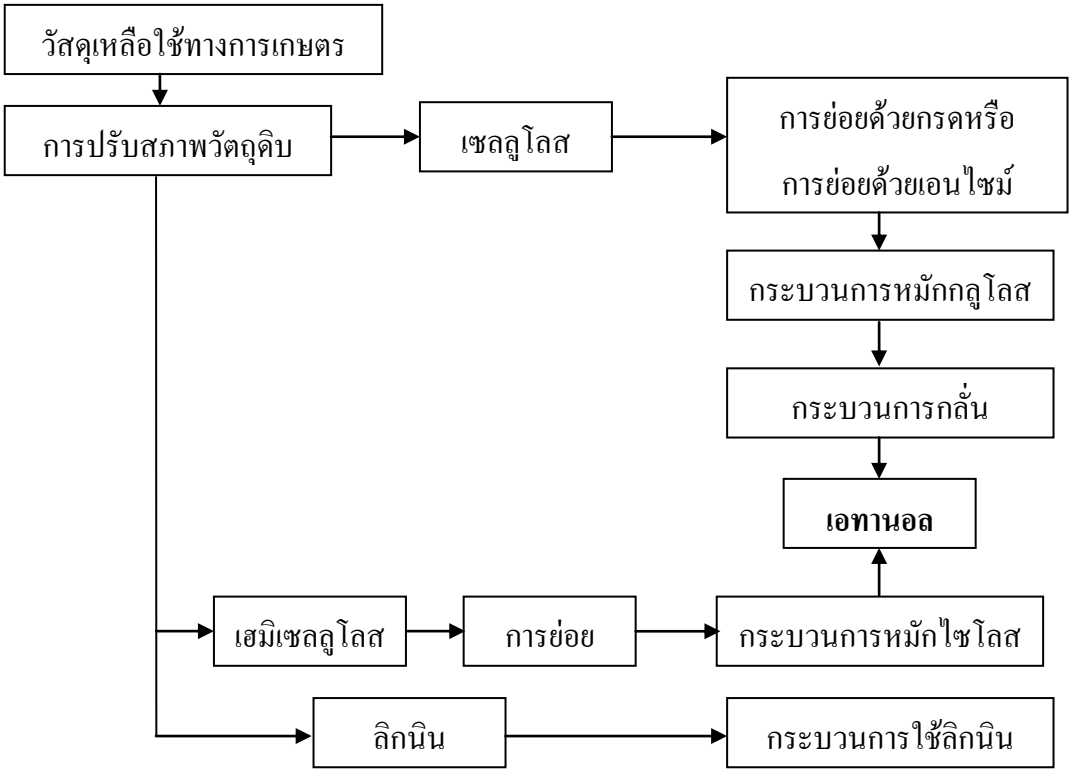
2.9.3 การหมักเอทานอล (Ethanol Fermentation)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นเอทานอลโดยใช้ยีสต์ ยีสต์สายพันธุ์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ Saccharomyces Cerevisiae กระบวนการหมักสามารถทำได้ทั้งกระบวนการแบบกะ (Batch) และกระบวนการแบบต่อเนื่อง (Continues) ซึ่งมีทั้งการใช้ยีสต์ใหม่และยีสต์รีไซเคิล สารที่ผ่านกระบวนการหมักนี้ใช้เวลา 48 – 72 ชั่วโมง จะมีความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายร้อยละ 8 – 11 โดยปริมาตร ความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายที่ใช้ในกระบวนการหมักต่างกันจะทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้มีค่าต่างกัน เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จาก

กระบวนการหมักมีค่าสูง ก็จะลดค่าใช้จ่ายในการกลั่นแยกเอทานอล โดยปฏิกิริยาเคมีแสดงได้ดังสมการที่ (2-1) (บุณยพัต สุภานิช, 2546)

$$\underset{\text{(น้ำตาล)}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{yeast}} \underset{\text{(เอทานอล)}}{2C_2H_5OH} + 2CO_2 \qquad (2\text{-}1)$$

ตัวอย่างขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทเซลลูโลส แสดงดังภาพประกอบ 2-5



ภาพประกอบที่ 2-5 กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุประเภทเซลลูโลส (กรมการพลังงานทหาร, 2554)

2.10 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM)

วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวหรือ RSM เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบหุ่นและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น เป็นการพัฒนา เพิ่มประสิทธิภาพและหาสภาวะที่เหมาะสม ประกอบด้วยกลุ่มของตัวแปรตามหลักคณิตศาสตร์และสถิติ ใช้หลักการเหล่านี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและตัวแปรอิสระ โดยประกอบขึ้นจากตัวแปรอิสระซึ่งอาจมีตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลของตัวแปรอิสระจากผลการทดลองมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ในรูปผลตอบสนองของโครงสร้างพื้นผิว การออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค RSM มีขั้นตอนดังนี้

การกำหนดตัวแปรที่จะศึกษาประกอบด้วยตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งกระบวนการทางเคมีและชีวเคมีที่มีผลกระทบจากตัวแปรต่างๆ มากมาย เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่จะระบุผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้จากทุกตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ความจำเป็นที่เลือกตัวแปรบางตัวที่มีผลกระทบโดยตรง ในการทดลองมีความสำคัญที่ระบุตัวแปรอิสระ จะสามารถกำหนดทิศทางในการพัฒนาระดับความสำคัญของตัวแปรได้ เพราะจะเกี่ยวข้องต่อความสำเร็จในการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยตรง ผลการทดลองของตัวแปรอิสระแสดงในการพล็อตพื้นผิว (Surface plot) และมีการพล็อตแบบโครงร่าง (Contour plot) โดยการพล็อตแบบโครงร่างจะแสดงรูปร่างและตำแหน่งของการพล็อตพื้นผิวได้แม่นยำขึ้น การ Regression analysis แบบจำลองของสมการกำลังสอง (Quadratic equation) ดังสมการ 1 โดยที่ค่า Y เป็นตัวแปรตาม b_0, b_i, b_{ii} และ b_{ij} เป็นค่าสัมประสิทธิ์แบบจุดตัด (Intercept) สัมประสิทธิ์เชิงเส้น (Interaction) ตามลำดับ ขณะที่ X_i และ X_j เป็นตัวแปรอิสระ ($i \neq j$) สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์จำนวน 3 ตัวแปร

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2$$

$$+ b_{12}X_1X_2 + b_{23}X_2X_3 + b_{13}X_1X_3 \qquad (2\text{-}4)$$

วิธีการพื้นผิวผลตอบสนองมีประโยชน์มากเมื่อเปรียบเทียบกับการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีดั้งเดิม ได้แก่ การออกแบบด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองมีจำนวนชุดการทดลองน้อย

กว่าวิธีดั้งเดิม ซึ่งแบบดั้งเดิมจะมีจำนวนการทดลองที่มากกว่าเพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมของระบบ แต่วิธีการตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวมีความเป็นไปได้ที่เจอผลกระทบภายใน (Interactive effect) จากตัวแปรอิสระจากกระบวนการทางชีวเคมี ในสมการอย่างง่ายของวิธีการตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวจะเพิ่มความเข้าใจผลที่เกิดจากการผสมกันของตัวแปรอิสระต่างๆ จึงกล่าวได้ว่าเทคนิค RSM เป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์มากต่อการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทางชีวเคมีและกระบวนการทางเคมี (Nuran B., 2007)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วันทนี (2517) ได้ทำการศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากตัวอย่างปอกะสาโดยใช้ส่วนที่เป็นเปลือกล้วน ส่วนที่เป็นเนื้อไม้ล้วน และใช้ทั้งต้นคือส่วนที่มีเนื้อไม้ปนกับเปลือก โดยทำการผลิตตามวิธีซัลเฟต โซดา และกึ่งเคมี (Natral-sulphite semichemical) เมื่อได้เยื่อมาแล้วทำการฟอกเยื่อด้วยวิธีฟอกหลายขั้นตอน และได้ศึกษาคุณสมบัติของเยื่อฟอกและเยื่อที่ไม่ได้ทำการฟอก ผลการทดลองพบว่า ปอกะสาที่มีอายุ 3 ปี ให้เยื่อปริมาณสูงสุด ส่วนเยื่อที่ผลิตตามกรรมวิธีซัลเฟตที่ได้จากการใช้ปอกะสาทั้งต้นที่มีอายุ 2 ปี มีคุณภาพดีที่สุด ปริมาณและคุณภาพของเยื่อที่ผลิตได้จากปอกะสาทั้งต้นและจากส่วนที่เป็นเนื้อไม้แตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนเยื่อที่ได้จากการผลิตตามกรรมวิธีกึ่งเคมีมีปริมาณสูงกว่าและมีคุณภาพดีกว่าเยื่อที่ได้จากกรรมวิธีโซดา เยื่อที่ผลิตจากเปลือกปอกะสาจะมีความเหนียวมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีแรงต้านทานการฉีกขาดสูงมาก ซึ่งอาจเหมาะสำหรับการทำกระดาษบางชนิดพิเศษได้ และจากการฟอกขาวเยื่อพบว่า เยื่อจากปอกะสาที่มีอายุน้อยกว่าจะฟอกได้เยื่อที่มีสีขาวสูงกว่าเยื่อจากปอกะสาที่มีอายุมากกว่า

บวร (2518) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะเส้นใยจากใบสับปะรด พบว่าปริมาณเส้นใยในใบสับปะรดที่ได้จากการทดลองมีประมาณร้อยละ 2.73 ไมครอน ตามรายงานบางฉบับกล่าวว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 2.5-3.2 และในใบสับปะรดประกอบด้วยเส้นใยที่มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3.94 มิลลิเมตร ความกว้างประมาณ 10 ไมครอน ความหนาของผนังเส้นใยประมาณ 2.2 ไมครอน ใยสับปะรดมีปริมาณลิกนิน (Lignin) และเอลฟาเซลลูโลส (Alpha-cellulose) ต่ำ แต่มีเพนโตซาน (Pentosans) และมีสารจำพวกละลายน้ำได้ในปริมาณสูง เยื่อโซดาและโมโนซัลไฟล์จากเส้นใยที่แยก

แล้วให้กระดาษที่มีแรงฉีกขาด (Tearing Strength) และค่าความยืดตัว (Elongation) สูง เทียบได้กับเยื่อเคมีชนิดใยยาวบางชนิด ส่วนค่าแรงดึงขาด (Tensile Strength) ค่อนข้างต่ำ เยื่อที่ผลิตจากเส้นใยที่แยกโดยวิธี Cold Soda และเยื่อที่บดใน Valley beater มีค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดและความยืดหยุ่นตัวสูงเช่นเดียวกัน เส้นใยที่ผ่านการบดจะทำให้ค่าแรงฉีกขาดและคุณสมบัติอื่นๆ เช่น Drainage และความขาวสว่าง (Brightness) ของเยื่อต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และเมื่อนำเส้นใยจากเยื่อสับปะรดมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ พบว่า เยื่อที่ผลิตได้มีความแข็งแรงเหมาะที่จะนำไปผลิตกระดาษหลายชนิด เช่น กระดาษเหนียวสำหรับใช้ทำถุง กระดาษฟอกขาวสำหรับพิมพ์หรือเขียน อย่างไรก็ตามกระดาษที่ผลิตจากใบสับปะรดมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ

Ververis และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาหาขนาดของเส้นใย ปริมาณลิกนิน และเซลลูโลสของพืชล้มลุกและวัสดุเศษเหลือจากการเกษตร และหาปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาผลิตกระดาษ พืชที่ทำการศึกษาได้แก่ ปอแก้ว (Kenaf) กก (Giant reed) หญ้าสวิตซ์แกรส (Switchgrass) หญ้ามิสแคนทัส (Miscanthus) คอทตอน (Cotton) พบว่า หญ้ามิสแคนทัส หญ้าสวิตซ์แกรส และคอทตอน มีเส้นใยสั้นกว่าปอแก้วและกก ซึ่งหญ้าสวิตซ์แกรสและหญ้ามิสแคนทัสมีสัดส่วนความบาง (Slenderness ratio) ดี ซึ่งเหมาะสมในการนำมาผลิตที่ใช้ในการพิมพ์หรือเขียน แม้ว่าจะมีความยืดหยุ่นและค่า Runkel ต่ำ แต่ก็สามารถนำไปทำเป็นกระดาษหนังสือพิมพ์ได้ และในการผลิตเยื่อกระดาษจากการผสมหญ้ามิสแคนทัสและหญ้าสวิตซ์แกรส หรือเยื่อกระดาษรีไซเคิลเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และพบว่า ปอแก้วและกกให้ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบไม้อ่อนและไม้แข็ง (Derived value) เพื่อใช้ประเมินความเหมาะสมของวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษได้ดีที่สุด ซึ่งจะได้ว่าปอแก้วเหมาะสำหรับผลิตกระดาษได้หลายชนิด ส่วนหญ้ามิสแคนทัส หญ้าสวิตซ์แกรส และคอทตอนเหมาะสำหรับผลิตกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์และเขียน

กัญญ์สิรี และวีรยุทธ (2548) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากผลตาลโตนด ศึกษาคุณสมบัติของเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยผลตาลโตนดด้วยวิธีคราฟท์ (Kraft process) วิธีกรด (Acid process) และวิธีด่าง (Soda process) และเปรียบเทียบคุณภาพของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อทั้งสามวิธี พบว่าการผลิตเยื่อกระดาษจากผลตาลโตนดด้วยวิธีกรดโดยใช้กรดไนตริกความ

เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ต้มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะให้คุณภาพของเยื่อกระดาษที่ดีที่สุด คือ จะให้ค่าความสว่าง ดัชนีค่าต้านทานแรงดึง และค่าต้านทานการซึมน้ำ สูงสุด คือร้อยละ 39.78 0.013 กิโลนิวตันเมตรต่อกรัม และ 185.2 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่กระดาษที่ผ่านการย่อยโดยวิธีด่างที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 4 ต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และวิธีคราฟท์ที่มีค่า active alkali ร้อยละ 20 และ 25 ต้มที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตเยื่อสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.46 21.42 และ 21.55 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณผลผลิตเยื่อจากวิธีกรดเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักจะให้ปริมาณผลผลิตที่ต่ำสุดคือร้อยละ 9.91 สำหรับการทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำ (Cobb $_{120}$ test) เยื่อกระดาษที่ผลิตโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก จะมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 337.8 191.0 และ 185.2 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ขณะที่เยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีคราฟท์และวิธีด่างไม่สามารถต้านทานการซึมน้ำได้ และการปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ปรับปรุงด้วยชันสนและสารส้ม ในการผลิตกระดาษนั้นจะผลิตด้วยอัตราส่วนเยื่อต่อชันสนต่อสารส้ม เท่ากับ 3:1:1.4 ซึ่งจะให้ค่าต้านทานการซึมน้ำ ค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงและค่าความสว่างที่เหมาะสมที่สุด และชันสนควรมีปริมาณของแข็งร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

Ververis และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้าในพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ และหาปริมาณที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษจากสาหร่ายน้ำจืด (Freshwater algal biomass) เปลือกส้ม (Orange peels) และเปลือกมะนาว (Lemon peels) จากการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ พบว่า ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้าของเปลือกส้มมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกวัดได้จาก Aravantinos-Zafiris เปลือกมะนาวมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่าเปลือกมะนาวและสาหร่าย ปริมาณลิกนินมีต่ำกว่าเปลือกส้มแต่สูงกว่าในสาหร่ายน้ำจืด จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณลิกนินยิ่งมีน้อยยิ่งดี เนื่องจากจะทำให้กระดาษมีความแข็งแรง ในสาหร่ายน้ำจืดมีปริมาณเซลลูโลสเป็นครึ่งหนึ่งของเปลือกส้มและเปลือกมะนาว และมีปริมาณเซลลูโลสมากกว่าสาหร่ายน้ำเค็มร้อยละ 1 และสาหร่ายน้ำจืดมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเปลือกส้มและเปลือกมะนาว ส่วนปริมาณลิกนินในสาหร่ายน้ำจืดนั้นมี

ค่าน้อยที่สุด และจากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการทำเยื่อกระดาษพบว่า เมื่อเติมเยื่อสาหร่ายน้ำจืดลงไปจะเป็นการเพิ่มความต้านทานต่อแรงดึง (Breaking length) ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณโปรตีนในเซลล์สาหร่ายที่มีมากถึงร้อยละ 45 ของน้ำหนักแห้ง รวมทั้งมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเปลือกส้มและเปลือกมะนาว อีกทั้งยังมีความต้านทานต่อแรงเฉือน แต่จะทำให้ค่าความสว่างลดลง ส่วนเปลือกส้มและเปลือกมะนาวจะให้ผลที่คล้ายๆกัน คือ เมื่อเติมทั้งสองลงไปในขั้นตอนการทำกระดาษจะไม่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึง มีค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุ ความต้านทานต่อแรงเฉือน และความสว่างต่ำกว่ากระดาษธรรมดา

ธนธร และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อในวัชพืช 3 ชนิด คือ ต้นหญ้าแฝก (Vetiver grass) ต้นธูปฤาษี (Cattail) และผักตบชวา (Water hyacinth) เพื่อผลิตแผ่นกระดาษและกระดาษทำลูกฟูก โดยการต้มด้วยระบบปิดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีปริมาณเป็นร้อยละ 10 ของต้นธูปฤาษี ร้อยละ 16 สำหรับต้นหญ้าแฝกและผักตบชวาของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง และมีการผสมสารเติมแต่ง จากนั้นนำมาทดสอบโดยใช้การวิธีวิเคราะห์ทางเคมี คือ TAPPI TEST METHOD พบว่า ผักตบชวามีเถ้าซิลิกา ไข เบต้าเซลลูโลส แกมมาเซลลูโลส และลิกนินมาก คือมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 17.9, 24.1, 12.7, 18.5 และร้อยละ 24.1 ตามลำดับ ทำให้มีความสามารถในการละลายได้ดี ต้นหญ้าแฝกมีปริมาณเพนโตซานมากเท่ากับร้อยละ 32.4 เมื่อนำไปฟอกจะมีความขาวมากกว่าต้นธูปฤาษีและผักตบชวา ส่วนต้นธูปฤาษีมีปริมาณอัลฟาเซลลูโลสมากที่สุด คือร้อยละ 46.9 ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด และจากการทดสอบคุณสมบัติของกระดาษพบว่ากระดาษจากต้นธูปฤาษีมีความหนา ปริมาณความชื้นและความต้านทานแรงฉีกขาดสูงที่สุด กระดาษจากเยื่อหญ้าแฝกมีความขาวและความต้านทานแรงดึงสูงสุด แต่มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด และกระดาษจากเยื่อผักตบชวามีความต้านทานแรงดันทะลุสูงที่สุด และเมื่อผสมเยื่อทั้งสามชนิดในการทำกระดาษพบว่ากระดาษลูกฟูกทั้งหมดมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ดีเมื่อเทียบกับกระดาษจากเยื่อรีไซเคิล และกระดาษที่ผสมระหว่างเยื่อหญ้าแฝกร้อยละ 25 เยื่อธูปฤาษีร้อยละ 25 และเยื่อผักตบชวาร้อยละ 50 มีคุณสมบัติดีที่สุด เพราะมีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนเฉลี่ย 260 นิวตัน และค่าต้านทานแรงกด

ลอนลูกฟูกเฉลี่ย 223 นิวตัน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องกระดาษทำลูกฟูก (มอก. 321-2530)

วุฒินันท์ (2552) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษเปลือกสบู่ดำที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรม โดยใช้เปลือกต้นสบู่ดำอายุ 2 ปี ประกอบด้วย เปลือกโคนต้น, เปลือกกลางต้น, เปลือกปลายต้น และเปลือกทั้งต้น ต้มด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเปลือกแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และฟอกด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 15 สารโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 2 สารแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 0.05 และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมตัวอย่างกระดาษด้วยมือแบบไทย และทดสอบคุณสมบัติของกระดาษตามวิธีมาตรฐานของ TAPPI ผลการศึกษากระดาษเปลือกสบู่ดำส่วนกลางลำต้น พบว่ามีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมกับการใช้งานหัตถกรรม สมบัติเชิงกลของกระดาษจากเปลือกสบู่ดำส่วนกลางลำต้น ประกอบด้วย น้ำหนักมาตรฐาน 78.45 กรัมต่อตารางเมตร ความต้านทานการหักพับ 238.77 ความต้านทานแรงดึง 22.19 นิวตันเมตรต่อกรัม ความต้านทานแรงฉีกขาด 0.023 $N.m^2/g$ ความต้านทานแรงดันทะลุ 1.59 $kPa.m^2/g$ ความเรียบ 5.24 วินาที ความขาวสว่างร้อยละ 67.28 ความหนา 0.146 มิลลิเมตร และความชื้นร้อยละ 6.46

Sanchez และคณะ (2010) ทำการศึกษาลักษณะของเยื่อที่ผลิตจาก Hesperaloe funifera ซึ่งเยื่อและกระดาษได้มาจากวัตถุดิบของกระบวนการโซดาแอนทราควิโนน เอทาโนลามีน เอทิลลีนไกลคอล และไดทิลลีนไกลคอล ซึ่งจะแยกของแข็งออกจากของเหลว ซึ่งของเหลวที่ได้จะมีลิกนินละลายอยู่มาก และถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิง ศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมีของ Hesperaloe funifera ซึ่งประกอบด้วย ลิกนินร้อยละ 7.3 แอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 40.9 และโฮโล-เซลลูโลสร้อยละ 76.5 พบว่าเยื่อนี้มีสัดส่วนของลิกนินและแอลฟาเซลลูโลสใกล้เคียงกับวัตถุดิบอื่นๆที่ใช้ในการผลิตเยื่อ เช่น Kenaf Bagasse เป็นต้น เยื่อ Hesperaloe ได้จากการต้มกับสารละลายโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 และสารละลายแอนทราควิโนนร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส

เวลา 30 นาที ซึ่งได้คุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อดีที่สุด คือ ผลได้ของเยื่อร้อยละ 48.3 ความหนืด 737 ml/g เลขแคปปา 15.2 ดัชนีความต้านทานแรงดึง 83.6 Nm/g Stretch 3.8% และ tear 3.2 mNm^2/g

Lopez และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการผลิตเยื่อและกระดาษจาก Leucaen diversifolia ซึ่งเป็นต้นไม้ที่เจริญเติบโตในแถบเมดิเตอเรเนียน ที่มีอายุ 2-3 ปี ในการผลิตเยื่อนั้นจะใช้วิธีโซดาเอทานอล (Soda-ethanol) ซึ่งสภาวะที่ทำการศึกษาคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์ร้อยละ 12-22 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 30-60 โดยปริมาตร ความเข้มข้นของแอนทราควิโนนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 170-190 องศาเซลเซียส เวลา 40-75 นาที อัตราส่วนระหว่างของเหลวต่อเยื่อเป็น 8:1 จากนั้นนำเยื่อที่ผ่านการล้างไปขึ้นรูปเป็นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษตามมาตรฐาน Tappi 205 sp 75 พบว่าอายุของ Leucaen diversifolia ที่นำมาผลิตเยื่อกระดาษได้ดีที่สุดมีอายุ 2 ปี เนื่องจากมีค่าแคปปา (Kappa number) 17.4 ความหนืดของเยื่อ 881 cm^3/g และมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 79.9 และจากการผลิตเยื่อด้วยวิธีโซดาเอทานอลพบว่าที่สภาวะ 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 17 และเวลา 60 นาที และความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 45 ทำให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมของกระดาษ คือมีผลได้ร้อยละ 49.7 มีค่าความสว่างร้อยละ 41 ดัชนีความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile index) 17.4 kN.m/kg ดัชนีความต้านทานแรงดันกดทะลุของกระดาษ (Burst index) 0.68 $MPa.m^2/kg$ และ Tear inex 1.03 $N.m^2/kg$

Feria และคณะ (2012) ได้ทำการผลิตเยื่อกระดาษจาก Leucaena leucocephala K360 โดยวิธีโซดาแอนทราควิโนน (Soda-entraquinone) สภาวะที่ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 169-185 องศาเซลเซียส เวลา 90-150 นาที ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 21-29 โดยน้ำหนัก และใช้ความเข้มข้นของแอนทราควิโนนร้อยละ 0.1 ใช้อัตราส่วนระหว่างของเหลวกับเยื่อเป็น 8:1 ซึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยอื่นๆที่ทำการศึกษาที่อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อเยื่อในช่วง 7-10 กิโลกรัม ต่อเยื่อ 1 กิโลกรัม และทำการขึ้นรูปกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปตามมาตรฐาน Tappi T 205 sp-06 และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษที่ผลิตได้ จากการศึกษาองค์ประกอบของ Leucaena leucocephala K360 มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 37.2 ลิกนินร้อยละ 24.1 และเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 19.9 เมื่อทำ

การต้มด้วยสารละลายโซดาไฟพบว่า ที่สภาวะ 185 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 21 ให้กระดาษที่มีคุณสมบัติทางกายภาพดี คือ มีดัชนีความต้านทานแรงดึง 12.12 N.m/g ดัชนีความต้านทานแรงดันกดทะลุของกระดาษ 0.38 kPa.m^2/kg Tear inex 1.29 mN.m^2/kg และค่าแคปปา 20.5

2.12 ขอบเขตของงานวิจัย

(1) ใช้เปลือกกล้วยน้ำว้าห่าม (อายุ 2 – 4 วัน หลังการเก็บเกี่ยว) และผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลจากเปลือกกล้วยห่ามด้วยยีสต์ขนมปังเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

(2) ศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของกระดาษที่ได้จากวัตถุดิบสดกับวัตถุดิบเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเอทานอล

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ (Raw material)

เปลือกกล้วย (banana Peels) ห่าม หลังการเก็บเกี่ยว 2-3 วัน ดังภาพประกอบที่ 3-1

ภาพประกอบที่ 3-1 กล้วยน้ำว้า

3.1.2 สารเคมี (Chemical reagents)

- เดคาไฮโดรแนฟทาลีน (Decahydronapthalene)
- กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid ; H_2SO_4)
- ชันสน (Rosin)
- โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง (Sodium chloride; NaCl)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide ; NaOH)
- น้ำกลั่น
- น้ำส้มสายชู
- สารส้ม (Aluminium sulfate)
- อะซิโตน (Acetone)

3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- Aspirator
- Crusible
- Microwave
- กะละมัง
- กระดาษ pH
- กระดาษกรอง
- กระบอกตวง
- โกร่งบดยา
- ขวดน้ำกลั่น
- ขวดปรับปริมาตร
- เครื่องกรองสุญญากาศ
- เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- เครื่องปั่น
- เครื่องวัดกรดด่าง
- จานเพาะเชื้อ
- ช้อนตักสาร
- ตู้ควัน
- ตู้อบ
- ถุงมือยาง
- แท่งแก้วคน
- ปิเปต
- ฟอร์เซป
- หม้อ
- หลอดหยด

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาหาองค์ประกอบของลิกนินและเซลลูโลสในวัตถุดิบ

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ส่งวิเคราะห์ที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน ด้วยวิธี AOAC 1990 มีขั้นตอนดังนี้ (แสดงขั้นตอนดังภาพประกอบที่ 3-2)

(1) นำตัวอย่างมา 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลาย Acid Detergent 100 มิลลิลิตร

(2) เติมสาร Decahydronapthalene ปริมาณ 2 มิลลิลิตร จากนั้นต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำ Crusible เปล่าที่ผ่านการอบจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นค่า W1

(3) นำตัวอย่างที่ผ่านการต้มแล้วมากรองผ่าน Crusible แล้วล้างด้วยน้ำร้อนและอะซิโตน (Acetone) ประมาณ 2-4 ครั้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W2

(4) นำตัวอย่างไปหยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก ให้ตัวอย่างชุ่มตลอดเวลา โดยหยดแล้วกวนตลอดเวลา เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำร้อนจนเป็นกลาง pH 7 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W3

(5) นำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า W4 แล้วนำมาคำนวณตามสมการที่ (3.1), (3.2) และ (3.3)

$$ADF = \frac{W2-W1}{S} \times 100 \qquad (3.1)$$

$$L = \frac{(W3-W4)}{S} \times 100 \qquad (3.2)$$

$$C = ADF - L \qquad (3.3)$$

โดยที่ ADF = ปริมาณเส้นใยทั้งหมด (ร้อยละ)

L = ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)

C = ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ)

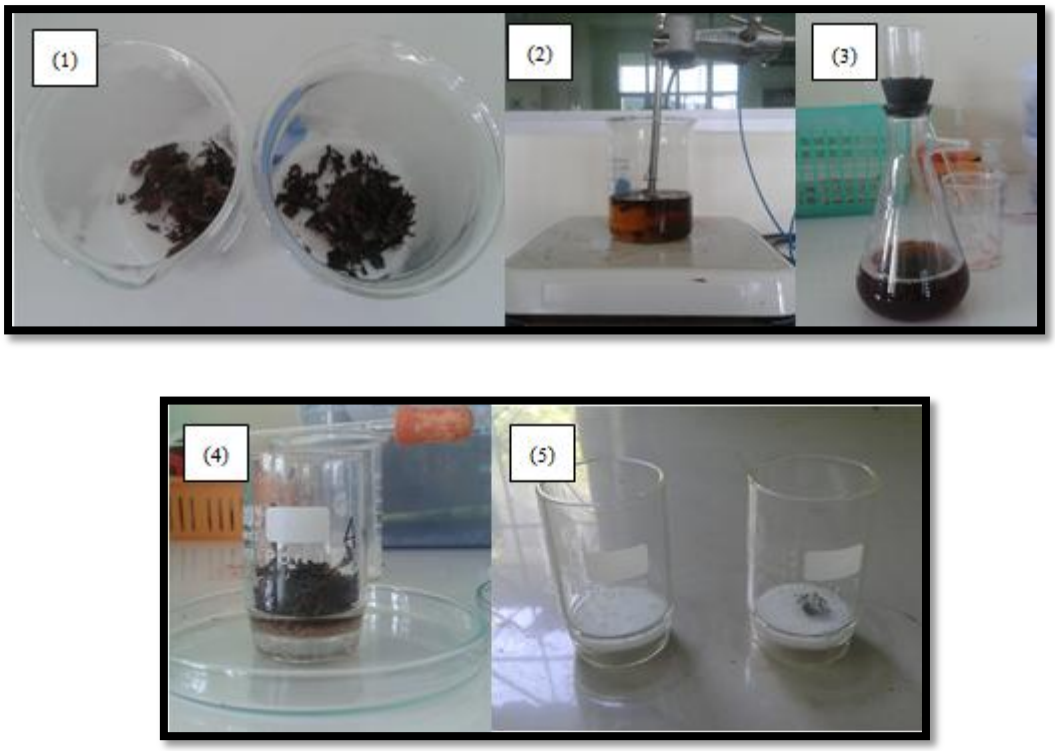
W1 = น้ำหนักครูซิเบิลเปล่า (กรัม)

W2 = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังผ่านสารละลาย (กรัม)

W3 = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังผ่านกรดซัลฟิวริก (กรัม)

W4 = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

S = น้ำหนักตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 3-2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน

3.2.2 การผลิตเยื่อกระดาษ

3.2.2.1 การผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการโซดา (soda process)

ซึ่งมีปัจจัยในการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลา โดยใช้โปรแกรม response surface methodology (RSM) ในการออกแบบสภาวะการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-1

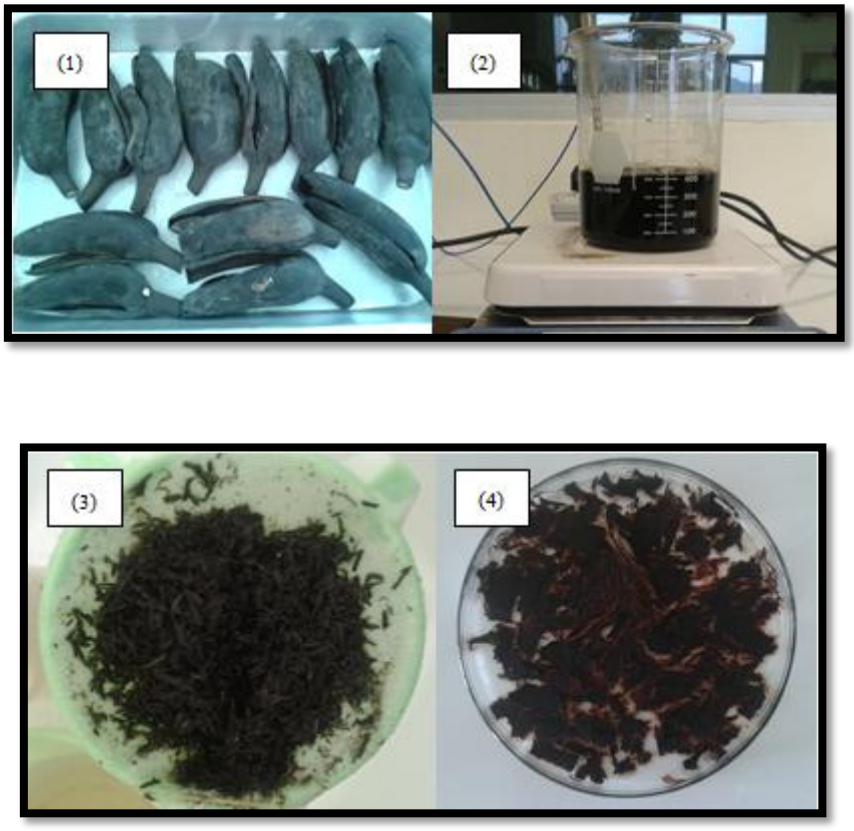
การทำกระบวนการโซดา แสดงดังภาพประกอบที่ 3-3

(1) นำวัตถุดิบคือเปลือกกล้วยสดห่าม แล้วเอาสิ่งสกปรกออก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(2) นำมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 1-3 โมลต่อลิตร (Molar) ในอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 ซึ่งอุณหภูมิในการให้ความร้อนอยู่ในช่วง 80-110 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการต้ม 40-80 นาที

(3) นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนมีสภาวะเป็นกลาง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนความชื้นเหลือร้อยละ 10

(4) คำนวณหาปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน ดังสมการที่ (3.1)-(3.3)



ภาพประกอบที่ 3-3 ขั้นตอนการต้มเยื่อด้วยวิธีโซดา (Soda Process)

ตารางที่ 3-1 สภาวะการทดลองจากการออกแบบโดยโปรแกรม RSM

การทดลองที่	ความเข้มข้น NaOH	อุณหภูมิ	เวลา
	โมลต่อลิตร	องศาเซลเซียส	นาที
1	2.6	86	48
2	2	95	60
3	3	95	60
4	2	95	60
5	2	80	60
6	2	95	80
7	2	95	40
8	2	110	60
9	1.4	104	72
10	1.4	86	48
11	2.6	104	48
12	2.6	86	72
13	1.4	104	48
14	2	95	60
15	1	95	60
16	2.6	104	72
17	1.4	86	72

3.2.2.2 การผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล

1) การผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Heater) แสดงดังภาพประกอบที่ 3-4 มีขั้นตอนดังนี้

- การปรับสภาพวัตถุดิบ (Preteatment) นำเปลือกกล้วยมาหั่นให้มีความยาว 2 เซนติเมตร จากนั้นหั่นในแนวขวางตามลักษณะความยาวของเส้นใย และนำมาต้มในสารละลายเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในอัตราส่วน เกลือ 90 กรัม ต่อ น้ำ 3 ลิตร ต่อ เปลือกกล้วย 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกน้ำเกลือออก

- การย่อย (Hydrolysis) เป็นการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Heater) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกกล้วยต่อน้ำส้มสายชูต่อน้ำเป็น 1:0.03:3

- การหมัก (Fermentation) การหมักวัตถุดิบหลังการย่อย ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาของนายอับดุลลาตีฟ ดอรอแม (อับดุลลาตีฟ, 2557) วัตถุดิบหลังการย่อยด้วยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม หมักด้วยยีสต์ขนมปังที่ร้อยละ 6 อุณหภูมิห้อง พีเอชเริ่มต้น 5.4 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แยกผลผลิตส่วนของแข็งเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ

ภาพประกอบที่ 3-4 ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (heater)

2) การผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ

- การปรับสภาพวัตถุดิบ (Preteatment) นำเปลือกกล้วยมาหั่นให้มีความยาว 2 เซนติเมตร จากนั้นหั่นในแนวขวางตามลักษณะความยาวของเส้นใย และนำมาต้มในสารละลายเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในอัตราส่วน เกลือ 90 กรัม ต่อ น้ำ 3 ลิตร ต่อ เปลือกกล้วย 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกน้ำเกลือออก

- การย่อย (Hydrolysis) เป็นการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 465 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที ใช้อัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อน้ำส้มสายชูต่อน้ำเป็น 1:0.06:3

- การหมัก (Fermentation) การหมักวัตถุดิบหลังการย่อย ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาของนายอับดุลลาตีฟ ดอรอแม (อับดุลลาตีฟ, 2556) วัตถุดิบหลังการ

ย่อยด้วยการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ หมักด้วยยีสต์ขนมปังร้อยละ 3 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้น 4.8 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แยกผลผลิตส่วนของแข็งเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ

ภาพประกอบที่ 3-5 ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยโดยใช้ไมโครเวฟ

3.2.3 การทำแผ่นเยื่อกระดาษ

3.2.3.1 การทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้าน แสดงขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 3-6 โดยมีขั้นตอนการทำดังนี้

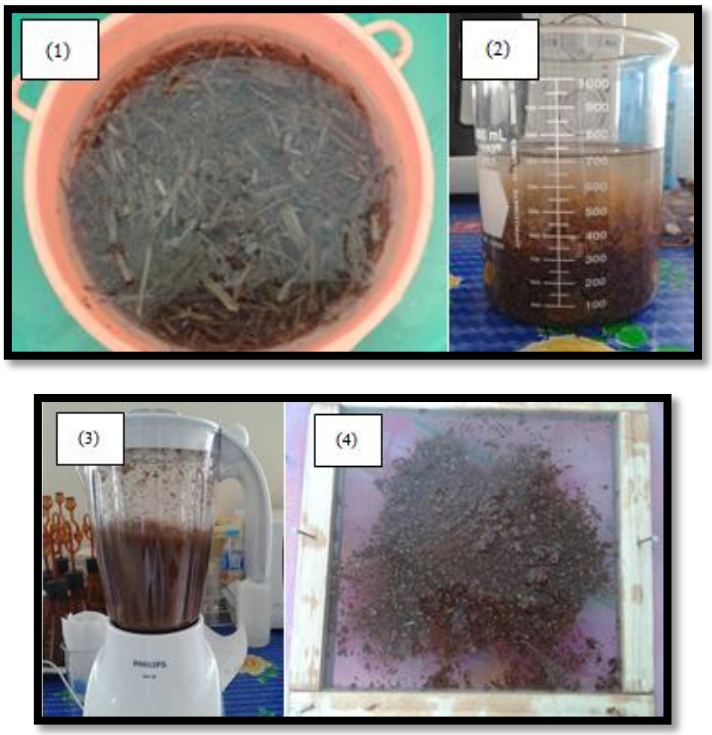
1) นำผลผลิตเยื่อที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการโซดา และของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล ล้างจนน้ำล้างเป็นกลาง

และคำนวณเยื่อที่จะต้องใช้ในการทำแผ่นเยื่อกระดาษ กำหนดให้แผ่นเยื่อกระดาษที่ต้องการผลิตมีเส้นใย 100 กรัมต่อตารางเมตร

2) นำผลผลิตเยื่อให้แต่ละแบบในปริมาณที่มีเซลลูโลสตามต้องการมาผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร ลงในเครื่องปั่น (ต่อกระดาษ 1 แผ่น) โดยทำการทดลองให้แผ่นเยื่อมีขนาด 25×25 ตารางเซนติเมตร ซึ่งต้องใช้เยื่อ 520 กรัม สำหรับเยื่อแบบไมโครเวฟ

3) ทำการปั่นกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่น จนเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 2 นาที ปั่นด้วยระดับความเร็วปานกลาง (เบอร์ 1)

4) นำน้ำเยื่อเทลงบนตะแกรงไนลอนที่ลอยน้ำอยู่ในกะละมัง ทำการเกลี่ยเยื่อให้สม่ำเสมอ แล้วยกตะแกรงขึ้น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง หรือมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ใช้เวลาอบประมาณ 2 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ 3-6 การทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้านโดยใช้ตะแกรงไนลอน

ผลการทดลอง พบว่าแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้ เนื่องจากได้แผ่นที่มีช่องว่างและเยื่อไม่ผสานกัน เพื่อแก้ปัญหาการไม่เป็นแผ่นและไม่ผสานกันของเยื่อ จะทำการตำเยื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันและเกลี่ยเยื่อโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศแสดงขั้นตอนดังหัวข้อที่ 3.2.3.2

3.2.3.2 การทำแผ่นเยื่อกระดาษโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ

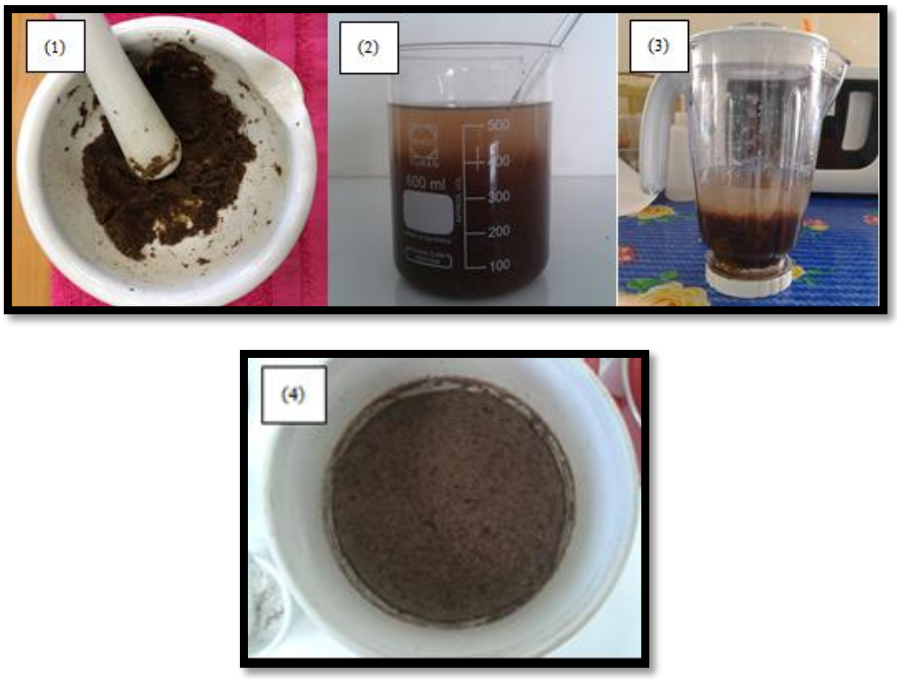
แสดงดังภาพประกอบที่ 3-7 มีขั้นตอนการทำดังนี้

1) นำผลผลิตเยื่อที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการโซดา และของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล ล้างจนน้ำล้างเป็นกลาง และคำนวณเยื่อที่จะต้องใช้ในการทำแผ่นเยื่อ กำหนดให้แผ่นเยื่อที่ต้องการผลิตมีเส้นใย 100 กรัมต่อตารางเมตร

2) คำนวณปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการทำแผ่นเยื่อกระดาษ ตามพื้นที่ของกระดาษกรอง (122.72 ตารางเซนติเมตร) แล้วนำมาตำให้ละเอียด

3) นำเยื่อที่ได้มาผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร ทำการปั่นกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่น จนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศกรองจนมองไม่เห็นน้ำ ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

4) นำกระดาษกรองที่มีเยื่อไปอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้พอหมาดๆ มีความชื้นประมาณร้อยละ 30 เพื่อให้สามารถลอกกระดาษกรองได้ จากนั้นนำแผ่นเยื่อไปวางผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน เพื่อลดการหดตัวเมื่อ เยื่อแห้งจะเกิดการหดตัวเนื่องจากเปลือกกล้วยเป็นพืชล้มลุก



ภาพประกอบที่ 3-7 ขั้นตอนการทำแผ่นโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ

ผลการสังเกตพบว่า แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้มีความแห้ง เปราะ และหดงอ แตกหักได้ง่าย ซึ่งไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึง และคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อกระดาษได้ จึงทำการปรับเปลี่ยนการทดลองโดยทดลองเพิ่มปริมาณเซลลูโลสจาก 100 กรัมต่อตารางเมตร เป็น 120 กรัมต่อตารางเมตร แต่ไม่ได้ช่วยลดการแห้งเปราะและหดงอได้ จึงทำการปรับวิธีการทำแห้ง โดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง เพื่อให้เหลือความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 20 และนำมาวางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยเอาบีกเกอร์ทับไว้เพื่อป้องกันการหดงอ

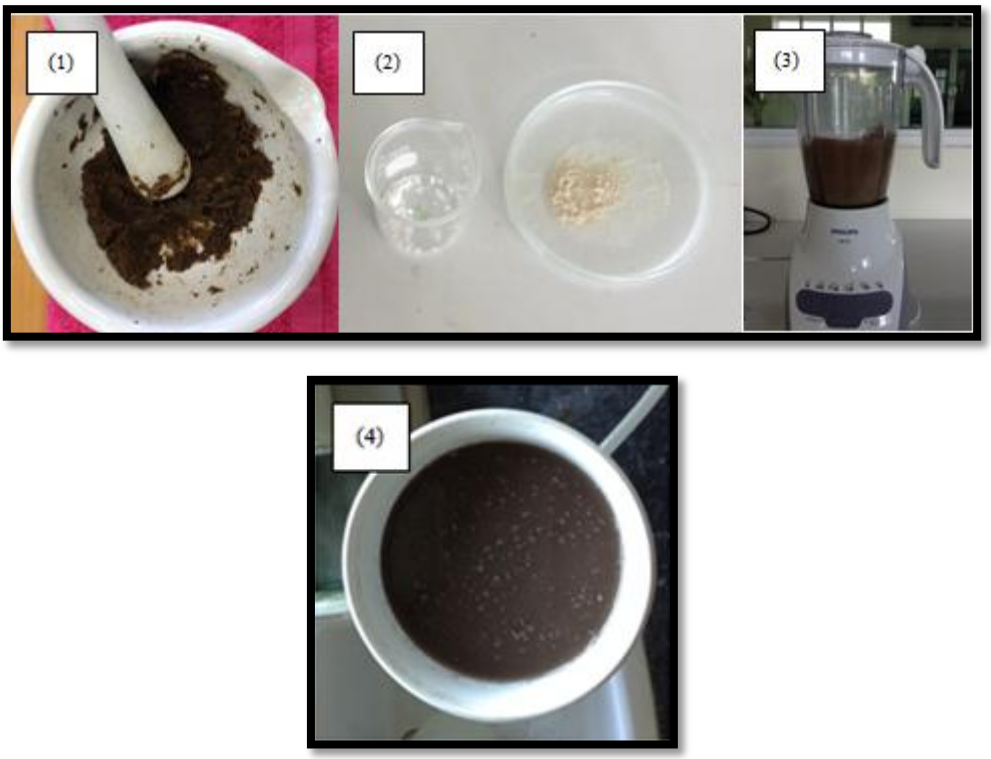
3.2.4 ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานการซึมน้ำโดยการเติมชันสน (Rosin) และสารส้ม (Aluminium sulfate, Alum) แสดงขั้นตอนดังภาพประกอบที่ 3-8 และมีขั้นตอนดังนี้

1) นำผลผลิตเยื่อที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากกิจกรรมที่ 2 และผลผลิตจากกิจกรรมที่ 3 มาตำให้ละเอียด จากนั้นคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องการใช้ทั้งหมด (กำหนดให้แผ่นเยื่อกระดาษที่ต้องการผลิตมีเส้นใย 100 กรัมต่อตารางเมตร)

2) เตรียมน้ำ 500 มิลลิลิตร ใส่เยื่อที่คำนวณแล้วลงในน้ำที่เตรียมไว้ เตรียมสารส้มและชันสน อัตราส่วนของเยื่อต่อสารส้มต่อชันสนเป็น 3:1.4:0.5 ถึง 3:1.4:2.0 นำสารส้มมาละลายด้วยน้ำกลั่น ชันสนละลายด้วยเอทานอลมี (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95) จากนั้นทำการปั่นกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้จนเป็นเนื้อเดียวกัน

3) นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้การกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ด้วยกระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร

4) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ความชื้นร้อยละ 20) แล้วค่อยๆลอกเยื่อออกจากกระดาษกรองนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ คือ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความต้านทานการซึมน้ำ และความต้านทานแรงดึง



ภาพประกอบที่ 3-8 ขั้นตอนในการขึ้นรูปกระดาษ

3.2.5 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อกระดาษ

3.2.5.1 น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อกระดาษ

จากการกำหนดพื้นที่ของกระดาษ 1 แผ่น ให้มีพื้นที่ 122.72 ตารางเซนติเมตร มาชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Mono Bloc รุ่น Mettler toledo

3.2.5.2 ความหนาของแผ่นเยื่อกระดาษ

ใช้ไมโครมิเตอร์วัดความหนาของแผ่นเยื่อ 5 จุด ที่แตกต่างกัน จากนั้นนำมาเฉลี่ยหาค่าความหนาของแผ่นเยื่อ

3.2.5.3 การดูดซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษ (Cobb value) แสดงขั้นตอนดังภาพประกอบ ที่ 3-9 มีขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งน้ำหนักแผ่นเยื่อกระดาษ

2) นำแผ่นเยื่อวางลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จับเวลา 2 นาที

3) นำกระดาษซับน้ำวางไว้ แล้วคีบแผ่นเยื่อขึ้นจากบีกเกอร์วางบนกระดาษซับน้ำ แล้วนำกระดาษซับน้ำอีกแผ่นวางบนแผ่นเยื่อตัวอย่าง ใช้ลูกกลิ้ง กลิ้งไปมา 1 ครั้ง โดยไม่ต้องออกแรงกด นำแผ่นเยื่อไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณค่าการดูดซึมน้ำ แสดงดังสมการที่ (3.4)

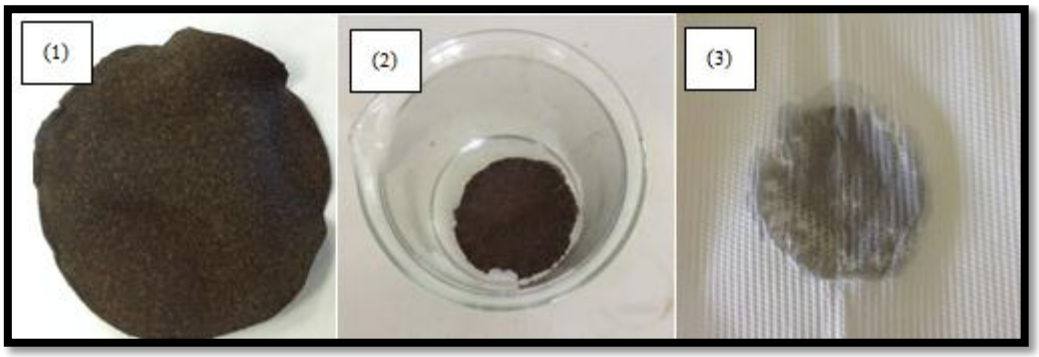
<u>สูตรการคำนวณ</u>

$$\text{การดูดซึมน้ำ (Cobb value)} = (W2-W1)/ A \qquad (3.4)$$

โดยที่ W1 = น้ำหนักแผ่นเยื่อก่อนทดสอบ

W2 = น้ำหนักแผ่นเยื่อหลังทำการทดสอบ

A = พื้นที่ของแผ่นเยื่อ



ภาพประกอบที่ 3-9 ขั้นตอนการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ

3.2.5.4 ความต้านแรงดึงของแผ่นเยื่อกระดาษ แสดงขั้นตอนดังภาพประกอบ ที่ 3-10 มีขั้นตอนดังนี้

1) ตัดตัวอย่างแผ่นเยื่อให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร และมีความยาวประมาณ 7-9 เซนติเมตร ตัดชิ้นส่วนให้ได้ตัวอย่างละ 3 ชิ้นทดสอบ

2) นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง LLOYD โดยจับชิ้นทดสอบด้วยปากจับของเครื่อง ให้มีระยะห่างระหว่างปากจับ 50 มิลลิเมตร ดึงชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็ว 25 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นทดสอบขาด

3) บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดขณะที่ชิ้นทดสอบขาด การคำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึง แสดงดังสมการที่ (3.5)

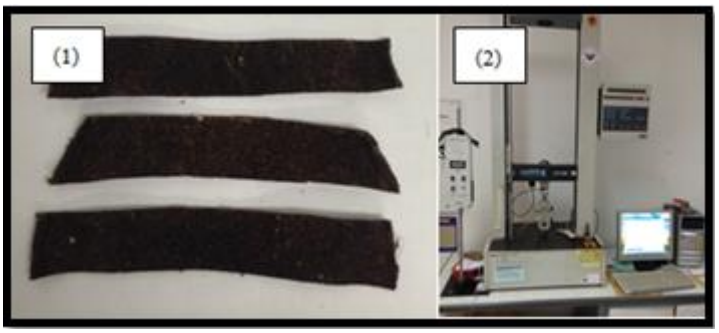
$$\text{ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)} = F/(W \times T) \qquad (3.5)$$

โดยที่

F = แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด

W = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

T= ความหนาของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบที่ 3-10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่อง LLOYD

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของเปลือกกล้วยน้ำว้า

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของวัตถุดิบ

องค์ประกอบ	เยื่อโซดา	เยื่อ microwave	เยื่อ heater
	ร้อยละโดยน้ำหนัก		
โปรตีน	1.31	5.44	5.62
ไขมันดิบ	27.34	18.49	16.54
ความชื้น	30.12	10.31	26.39
เถ้า	2.98	6.21	2.67
เส้นใยดิบ	0.62	0.48	0.64
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	38.25	59.57	48.78
พลังงาน	404.30 Kcal	426.37 Kcal	366.46 Kcal

เนื่องจากเซลลูโลสบางส่วนจะอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต และหากคิดเป็นฐานแห้งจะพบว่า ผลผลิตเหลือของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลยังคงมีเซลลูโลสอยู่ และกระบวนการผลิตเอทานอลคล้ายกับกระบวนการผลิตเยื่อ เนื่องจากช่วยลดองค์ประกอบอื่นๆ ออกจากวัตถุดิบ (เปลือกกล้วย) และช่วยให้มีเซลลูโลสมากขึ้น แม้ว่าจะมีความสามารถในการผลิตเยื่อหรือทำให้ได้เซลลูโลสน้อยกว่าวิธีการผลิตเยื่อโดยตรงอย่างวิธีกระบวนการโซดา

4.2 การผลิตเยื่อกระดาษ

4.2.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการโซดา (Soda Process)

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกกล้วยน้ำว้าสด ด้วยกระบวนการโซดา ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่เป็นพืชล้มลุก ซึ่งกล้วยน้ำว้าที่นำมาศึกษาก็เป็นพืชล้มลุก ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการศึกษาได้มีการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม RSM ซึ่งเป็นโปรแกรมทางสถิติ ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจ และสามารถหาจุดที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ สภาวะที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปริมาณเซลลูโลสที่ได้ ซึ่งเป็นผลตอบสนองที่สำคัญในการศึกษา ในการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม RSM ได้มีการกำหนดช่วงของตัวแปรต้นที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (X_C) 1-3 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ (X_T) 80-110 องศาเซลเซียส และเวลา (X_t) 40-80 นาที ซึ่งจะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 17 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และแสดงปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการทดลองและปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรม

จากผลการทดลองที่ใช้โปรแกรม RSM ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของเซลลูโลสมากที่สุด สามารถจำลองสมการแบบการทดลอง Quadratic Model เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสกับปัจจัยต่างๆ แสดงดังสมการที่ 4-1 และทดสอบความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างเซตคำตอบกับเซตของตัวแปรต้นที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถพิจารณาค่าความแปรปรวน (P value) หากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรต้นนั้นมีความสำคัญส่งผลต่อตัวแปรตาม และหากค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.1 แสดงว่าตัวแปรนั้นไม่มีอิทธิพลที่ส่งผลต่อตัวแปรตามเปลี่ยนไป ตัวแปรนั้นจึงสามารถตัดออกได้

$$\text{เซลลูโลส (ร้อยละ)} = 120.69 - 11.12X_C - 4.84X_T + 4.06X_t - 2.2X_C^2 + 0.02X_T^2 - 0.01X_t^2 + 0.71\,X_CX_T - 0.67X_CX_t - 0.01X_TX_t \quad (4.1)$$

จากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณเซลลูโลสที่สภาวะต่างๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองและเพื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่าเหมาะสมหรือไม่ ผลการดำเนินการแสดงดังตารางที่ 4-2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลอง มีค่า

เท่ากับร้อยละ 93 ซึ่งค่า R^2 ที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งจะบอกความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ได้ และหากค่า R^2 มีค่าใกล้เคียงกับค่า R^2 adjusted แสดงว่าแต่ละเทอมในแบบจำลองที่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าปริมาณเซลลูโลส แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นตัวแบบอธิบายผลการทดลอง

ตารางที่ 4-2 ปริมาณเซลลูโลส ที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากการคำนวณหรือทำนายด้วยสมการแบบจำลองจาก RSM

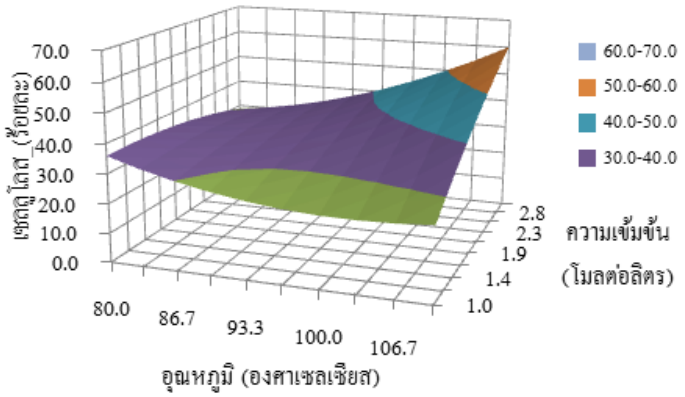
ลำดับ	สภาวะ			เซลลูโลสจากการทดลอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เซลลูโลสจากการทำนาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
	ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (โมลต่อลิตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)		
1	2.6	86	48	32	31
2	2.0	95	60	33	34
3	3.0	95	60	38	39
4	2.0	95	60	33	34
5	2.0	80	60	33	35
6	2.0	95	80	40	37
7	2.0	95	40	21	24
8	2.0	110	60	47	45
9	1.4	104	72	35	37
10	1.4	86	48	23	21
11	2.6	104	48	49	47
12	2.6	86	72	33	32
13	1.4	104	48	20	22
14	2.0	95	60	37	34
15	1.0	95	60	27	25
16	2.6	104	72	40	43
17	1.4	86	72	38	41

จากแบบจำลองที่ได้จากโปรแกรม RSM สามารถทำนายสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการโซดาเพื่อให้ได้ปริมาณเซลลูโลสมากที่สุด คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน 40 นาที ได้ผลการทำนายปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 66 จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายไปทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการแบบจำลอง พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 60 น้อยกว่าค่าจากการทำนายเล็กน้อยและมากกว่าที่ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4-2) จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการโซดา

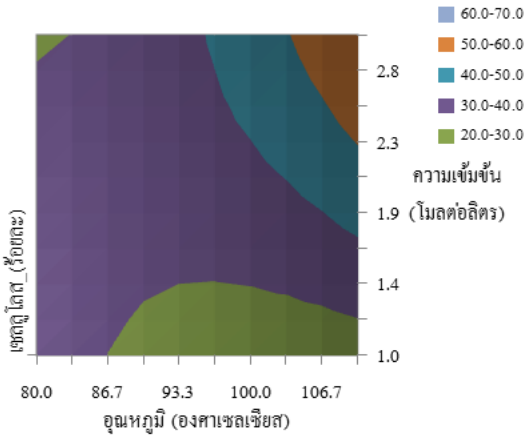
ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยสำคัญต่อผลได้ปริมาณเซลลูโลส โดยการใช้วิธีการโซดา

การวิเคราะห์อิทธิพลและความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ต่อปริมาณเซลลูโลส สามารถวิเคราะห์ได้จากพื้นผิวตอบสนองของปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 ซึ่งประกอบด้วย ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลา ถูกประเมินในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และนำเสนอในรูปกราฟพื้นผิวตอบสนองซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟ 3 มิติ (Surface plot) และกราฟโครงร่าง (Contour plot) ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองของปัจจัยที่มีความแตกต่างกัน กราฟพื้นผิวตอบสนองสามารถนำมาใช้ในการอธิบายอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และผลของตัวแปรทั้ง 3 แสดงดังภาพประกอบที่ 4-1 ถึง 4-3

(1) ผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิ



(ก)

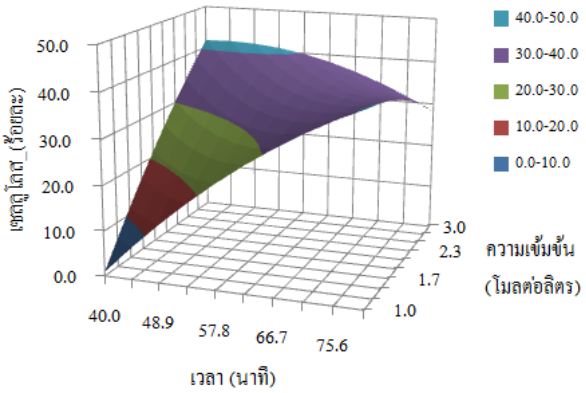


(ข)

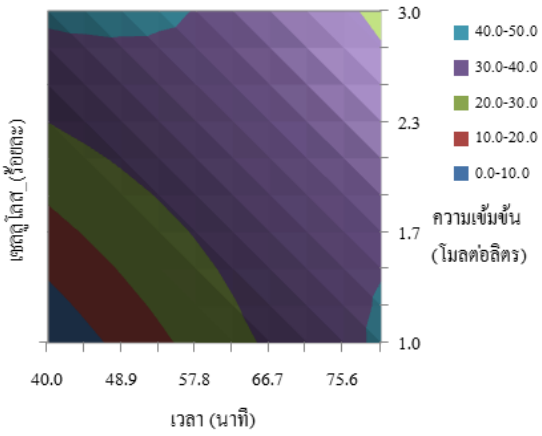
ภาพประกอบที่ 4-1 (ก) กราฟพื้นผิว และ (ข) กราฟโครงร่าง แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิต่อปริมาณเซลลูโลส

ภาพประกอบที่ 4-1 (ก) และ (ข) แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิ ต่อปริมาณเซลลูโลส พบว่าที่อุณหภูมิสูง 110 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจาก 1.0 - 3.0 โมลต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากขึ้นช่วยให้การดึงองค์ประกอบลิกนินและองค์ประกอบอื่นๆ ออกจากเซลลูโลสได้มากขึ้น

(2) ผลของความเข้มข้นและเวลา



(ก)

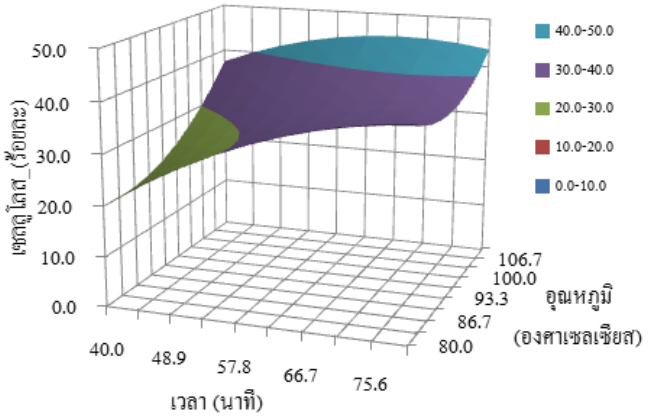


(ข)

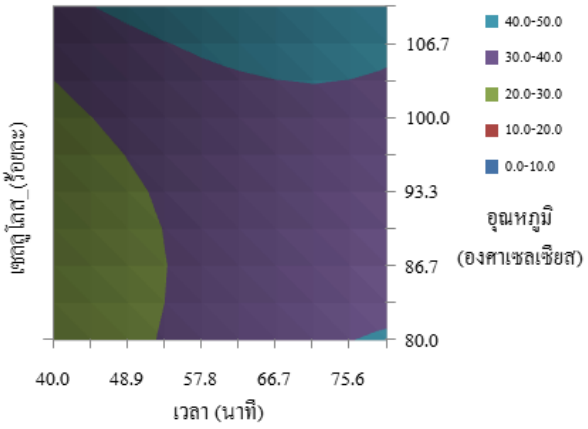
ภาพประกอบที่ 4-2 (ก) กราฟพื้นผิว และ (ข) กราฟโครงร่าง แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาต่อปริมาณของเซลลูโลส

กราฟพื้นผิวและกราฟโครงร่างจากภาพประกอบที่ 4-2 (ก) และ (ข) แสดงปฏิสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาต่อปริมาณเซลลูโลส จะเห็นได้ว่าที่เวลา 40-57 นาที เป็นเวลาที่ค่อนข้างเหมาะสมให้ปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าช่วงอื่นเมื่อเทียบกับเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงเวลามีผลน้อยต่อปฏิกิริยาการผลิตเซลลูโลส และ 40 นาที เพียงพอแล้วต่อการทำปฏิกิริยา และปริมาณเซลลูโลสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนถึงความเข้มข้นสูงสุดที่ 3 โมลต่อลิตร

(3) ผลของอุณหภูมิและเวลา



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 4-3 (ก) กราฟพื้นผิว และ (ข) กราฟโครงร่าง แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณเซลลูโลส

กราฟพื้นผิวและกราฟโครงร่างจากภาพประกอบที่ 4-3 (ก) และ (ข) แสดงปฏิสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณเซลลูโลส จะเห็นได้ว่าปริมาณเซลลูโลสมีค่ามากเมื่อเวลาตั้งแต่ 45 นาทีขึ้นไป (45-80 นาที) และเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ก็จะยิ่งทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ภายใต้ช่วงที่ศึกษาซึ่งอุณหภูมิสูงสุดคือ 110 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ให้เซลลูโลสเหมาะสมคือ 100-110 องศาเซลเซียส

ผลของปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 3 สรุปได้ว่า ความเข้มข้นมีผลต่อการได้เซลลูโลสมากที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ และที่มีผลน้อยคือเวลา การใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากจะให้เซลลูโลสมาก ในการศึกษานี้คือควรใช้ 3 โมลต่อลิตร และอุณหภูมิควรใช้อุณหภูมิสูง 100-110 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาในการให้ความร้อนแค่ 40 นาทีก็เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ช่วงสภาวะนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดลิกนินและองค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาล เพื่อสามารถผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยสดให้ได้มากที่สุด ภายใต้ช่วงตัวแปรที่กำหนดศึกษาซึ่งเป็นช่วงเดียวกับงานวิจัยอื่นที่ใช้ผลิตเซลลูโลสจากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ (กัญญ์สิรี, 2548)

4.2.2 ผลการผลิตเยื่อจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล

ตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณเซลลูโลสจากผลผลิตของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล

วิธีการย่อยให้ความร้อน	ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ไมโครเวฟ	11
ฮีทเตอร์	7

จากการศึกษาการหาปริมาณเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอ-ทานอล พบว่าวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Microwave) มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 11 ซึ่งมากกว่าปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Heater) ซึ่งได้เพียงร้อยละ 7 อาจเนื่องจากการย่อยให้ความร้อนด้วยฮีทเตอร์ ต้องใช้เวลานานกว่าการใช้ไมโครเวฟในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณเท่าๆกัน จึงทำให้องค์ประกอบของเปลือกกล้วยที่เป็นเซลลูโลสบางส่วน เปลี่ยนโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรต และอาจเนื่องจากการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟสามารถกำจัดลิกนินและองค์ประกอบอื่นได้ดีกว่าจึงคงไว้ซึ่งเซลลูโลสมากกว่า อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ให้ด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดึงลิกนินออกจากเซลลูโลส จึงทำให้การย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสามารถกำจัดลิกนินได้ดีกว่า

จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณเซลลูโลสของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด พบว่าวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลทั้ง 2 แบบ มีปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่าวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการโซดามาก เนื่องจากกระบวนการผลิตเอทานอลไม่ใช่วิธีผลิตเยื่อหรือเซลลูโลสโดยตรง และเป็น

กระบวนการซึ่งทำให้เซลลูโลสบางส่วนถูกย่อยเป็นน้ำตาล จึงมีเซลลูโลสเหลืออยู่น้อยกว่า ซึ่งจะส่งผลผลต่อการทำแผ่นเยื่อกระดาษต่อไป เนื่องจากในการผลิตกระดาษนั้นต้องการเซลลูโลสเป็นตัวหลัก แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้สนใจเรื่องการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลและเปลือกกล้วยก็ไม่ใช่วัตถุดิบที่เหมาะต่อการทำกระดาษ เนื่องจากเป็นพืชล้มลุก จึงมีเส้นใยอ่อน ไม่แข็งแรง จึงเป็นแค่การศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำไปผลิตเป็นแผ่นเยื่อกระดาษและเปรียบเทียบกับแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดาที่เป็นการผลิตเยื่อหรือเซลลูโลสโดยตรง

4.3 การทำแผ่นกระดาษ

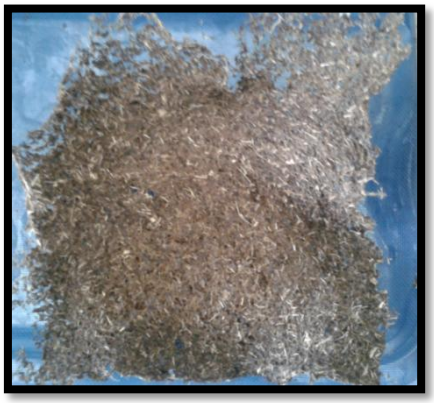
4.3.1 การทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้าน

1) แผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากของของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ

ภาพประกอบที่ 4-4 แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากการทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้านด้วยเยื่อไมโครเวฟ

ผลของการทำแผ่นเยื่อกระดาษด้วยมืออย่างง่ายแบบพื้นบ้านจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล แสดงแผ่นเยื่อดังภาพประกอบที่ 4-4 และ 4-5

2) แผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากของของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทา-นอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบฮีทเตอร์



ภาพประกอบที่ 4-5 แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากการทำแผ่นด้วยมือแบบพื้นบ้านด้วยเยื่อฮีทเตอร์

จากการทดลองการทำแผ่นเยื่อกระดาษจากกระบวนการหมักเอทานอลทั้งสองแบบพบว่า แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม เยื่อสามารถประสานกันเป็นแผ่นได้มากกว่าแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ แต่การกระจายเยื่อของแผ่นเยื่อกระดาษทั้งสองชนิดก็ยังไม่สม่ำเสมอ แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จึงมีความหนาไม่เท่ากันทั่วทั้งแผ่น จากการสังเกตเกิดจากเยื่อที่ได้ยังคงมีลักษณะเป็นชิ้นของเปลือกกล้วยที่ยังคงมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตและลิกนินอยู่มาก และตะแกรงไนลอนแม้จะหาวิธีการขึงให้ตึงหลายแบบแล้วก็ยังเกิดการหย่อน และแม้จะเปลี่ยนจากตะแกรงไนลอน เป็นตะแกรงมุ้งลวดก็ทำแผ่นเยื่อได้ไม่ดีเช่นกัน ไม่สามารถกระจายเยื่อให้สม่ำเสมอได้ ซึ่งเยื่อที่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นนี้ทำให้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อกระดาษได้ จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนการทดลอง โดยการตำเยื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนและทำแผ่นเยื่อกระดาษโดยกรองผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ ซึ่งให้เยื่อกระจายบนกระดาษกรองแทนการทำแผ่นบนตะแกรงไนลอน

4.3.2 การทำแผ่นเยื่อกระดาษโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ

1) ศึกษาการทำแผ่นเยื่อกระดาษบนกระดาษกรองจากเยื่อที่ได้จากกระบวนการโซดา โดยไม่เติมสารเติม กำหนดให้แผ่นเยื่อกระดาษมีปริมาณเซลลูโลส 100 กรัมต่อตารางเมตรต่อแผ่น

(1) (2)

(3) (4)

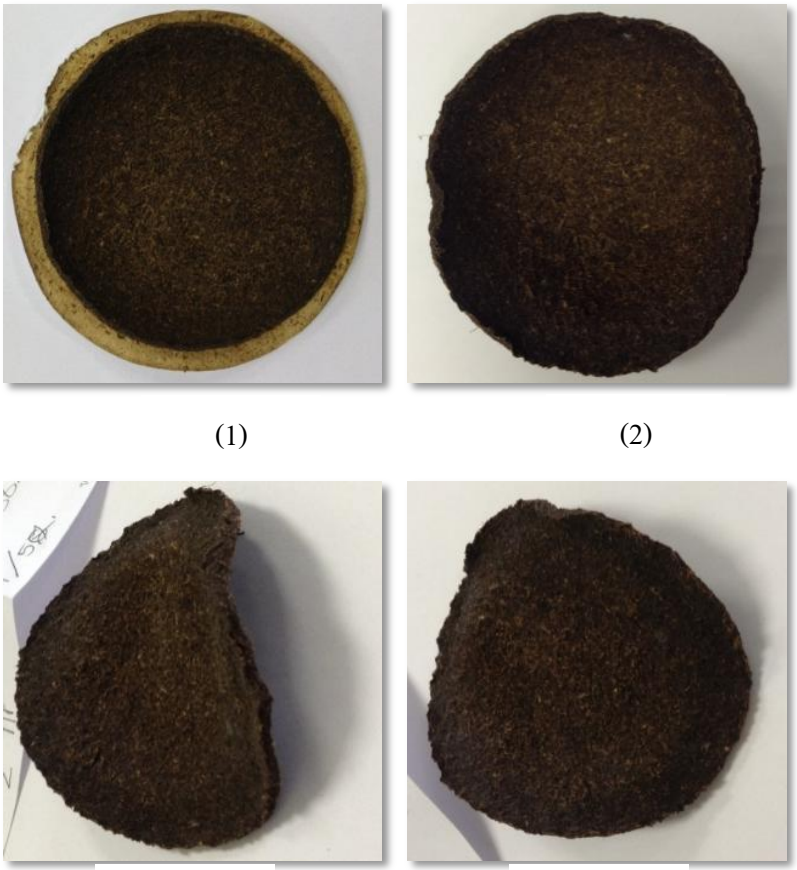
ภาพประกอบที่ 4-6 ลักษณะแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา (1) หลังการอบ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (มีความชื้นร้อยละ 20) และ (2) เมื่อวางให้แห้งที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 วัน (3) เมื่อผ่านไป 2 วัน (4) เมื่อผ่านไป 3 วัน

แผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา จะมีลักษณะบางและมีความเหนียว มีความยืดหยุ่น เมื่อลองทำการดึงด้วยมือ ไม่ขาดออกจากกันง่าย เนื่องจากจากการทดลองหาปริมาณเซลลูโลสเยื่อที่ได้จากวิธีโซดาให้ปริมาณเซลลูโลสสูงกว่าเซลลูโลสที่ได้จาก

เปลือกกล้วยที่ผ่านกระบวนหมักเอทานอล อีกทั้งวิธีนี้เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับผลิตเยื่อที่ใช้กันโดยทั่วไป จึงเหมาะสมที่จะผลิตเยื่อเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นเยื่อกระดาษได้ สามารถนำแผ่นเยื่อที่ผลิตไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้

จากภาพประกอบที่ 4-6 จะพบว่าเมื่อแผ่นเยื่อโซดานี้แห้งมากขึ้น หรือตั้งทิ้งไว้นานขึ้น แผ่นเยื่อจะหดตัว แต่เยื่อมีการยึดเกาะกันดีอย่างสม่ำเสมอ และแห้งเหนียว สามารถคลี่ออกให้เป็นแผ่นเรียบได้ จึงสามารถนำแผ่นเยื่อไปวิเคราะห์ค่าสมบัติมาตรฐานได้

2) ศึกษาการทำแผ่นเยื่อกระดาษบนกระดาษกรองจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยไม่เติมสารเติม กำหนดให้แผ่นเยื่อกระดาษมีปริมาณเซลลูโลส 100 กรัมต่อตารางเมตรต่อแผ่น



(1) (2)

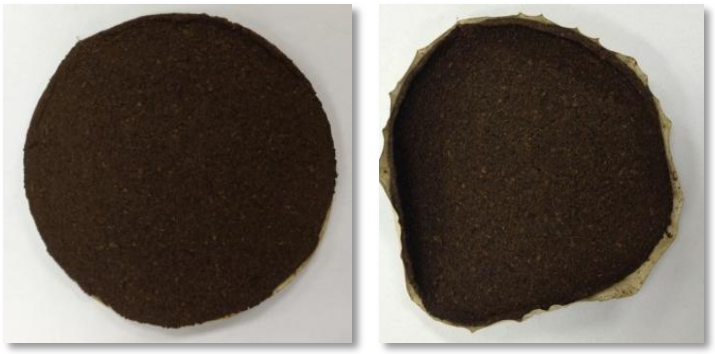
(3) (4)

ภาพประกอบที่ 4-7 ลักษณะแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (1) หลังการอบ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ความชื้นร้อยละ 20) และ (2) เมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 วัน (3) เมื่อผ่านไป 2 วัน (4) เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน

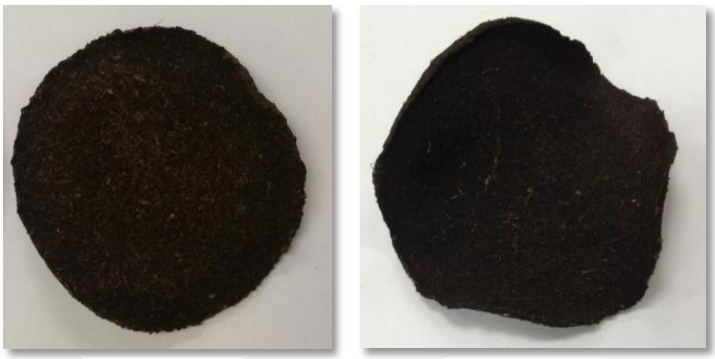
แผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (ภาพประกอบที่ 4-7) เมื่อตั้งแผ่นเยื่อให้แห้งมากขึ้นจะเกิดการหดตัวเช่นกัน และมีลักษณะหนา แข็ง ไม่มีความยืดหยุ่น เมื่อลองทำการงอด้วยมือ จะแตกหักจากกัน เนื่องจากมีความเปราะ และไม่สามารถตัดชิ้นแผ่นเยื่อไปวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงได้

เนื่องจากผลผลิตเหลือทิ้งนี้ยังมีองค์ประกอบของแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตอยู่มาก ทำให้เกิดการเปราะหักง่าย และได้แผ่นเยื่อที่มีสีดำกว่าแบบเยื่อโซดา เนื่องจากยังมีองค์ประกอบของลิกนินอยู่มากกว่า

3) ศึกษาการทำแผ่นเยื่อกระดาษบนกระดาษกรองจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Heater) โดยไม่เติมสารเติม กำหนดให้แผ่นเยื่อกระดาษมีปริมาณเซลลูโลส 100 กรัมต่อตารางเมตรต่อแผ่น



(1) (2)



(3) (4)

ภาพประกอบที่ 4-8 ลักษณะแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (1) หลังการอบ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ความชื้นร้อยละ 20) และ (2) เมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องผ่านไป 1 วัน (3) เมื่อผ่านไป 2 วัน (4) เมื่อผ่านไป 3 วัน

จากการทดลองแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จะมีลักษณะของแผ่นเยื่อคล้ายกับแผ่นเยื่อที่ผลิตจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ คือมีลักษณะหนาและแข็ง ไม่มีความยืดหยุ่น เมื่อลองทำการงอด้วยมือ จะแตกออกจากกัน เนื่องจากมีความเปราะ และไม่สามารถตัดไปวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงได้

จากการทดลองนี้ผลที่ได้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อกระดาษได้ จึงได้ปรับปรุงการทำแผ่นเยื่อ โดยทดลองเพิ่มปริมาณเยื่อเพื่อให้มีเซลลูโลสมากขึ้นจาก 100 กรัมต่อตางรางเมตร เป็น 120 กรัมต่อตารางเมตร เพื่อลดช่องว่างระหว่างแผ่น และการมีเซลลูโลสมากขึ้นอาจทำให้แผ่นเยื่อยึดติดกันดีขึ้น ซึ่งผลของการเพิ่มปริมาณเยื่อแสดงดังภาพประกอบที่ 4-9

(1) (2)

ภาพประกอบที่ 4-9 ลักษณะแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จาก (1) กระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (2) กระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม และเพิ่มปริมาณเซลลูโลสเป็น 120 กรัมต่อตารางเมตร

เมื่อทำการทดลองทำแผ่นเยื่อกระดาษโดยการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสให้มากขึ้นจาก 100 กรัมต่อตารางเมตร เป็น 120 กรัมต่อตารางเมตร ผลพบว่าแผ่นเยื่อที่ได้มีลักษณะหนามากขึ้นและมีความงอมากขึ้นทำให้ไม่สามารถจะลอกแผ่นเยื่อออกจากกระดาษกรองได้ และไม่สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติได้ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเยื่อไม่สามารถช่วยให้ได้แผ่นเยื่อกระดาษมีสมบัติดีขึ้น จึงได้เลือกทำการทดลองที่ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัมต่อตารางเมตรเช่นเดิม และจากการสังเกตสามารถหาวิธีปรับปรุงโดยได้ปรับเปลี่ยนวิธีการอบแผ่นเยื่อเพื่อให้แผ่เยื่อมีลักษณะที่ดีขึ้น เมื่อได้เยื่อกระดาษที่ผ่านการกรองแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเยื่อมีความชื้น

ไม่เกินร้อยละ 20 แล้วทำการแกะแผ่นเยื่อออกจากกระดาษกรอง ก่อนจะนำไปวางที่อุณหภูมิห้อง พร้อมใช้บีกเกอร์หรือวัตถุที่แสงสามารถส่งถึงทับแผ่นเยื่อไว้จนแห้ง ซึ่งจากการปรับเปลี่ยนวิธีการทำนี้ ส่งผลให้ได้แผ่นเยื่อกระดาษที่มีลักษณะดีขึ้น ไม่หดงอและสามารถตัดกระดาษไปวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงได้ ซึ่งกระดาษที่ตัดไปวิเคราะห์มีลักษณะดังภาพประกอบที่ 4-10

(1)

(2)

(3)

ภาพประกอบที่ 4-10 ลักษณะของชิ้นแผ่นเยื่อกระดาษตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึง ด้วยเครื่อง LLOYD (1) กระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา (2) กระดาษที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (3) โดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4-4 คุณสมบัติของแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา

ตัวอย่าง เยื่อ:ชันสน: สารส้ม	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตาราง มิลลิเมตร)	ความต้านทาน แรงดึง (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
ไม่เติมสารเติม	1.26	0.2	1.62×10^{-4}	9.155
3:1.4:0.5	1.55	0.35	1.20×10^{-4}	8.243
3: 1.4:1.0	1.63	0.39	0.93×10^{-4}	7.732
3: 1.4:1.5	1.84	0.42	0.51×10^{-4}	7.300
3: 1.4:2.0	2.87	0.48	0.42×10^{-4}	6.616

ตารางที่ 4-5 คุณสมบัติของแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ตัวอย่าง	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตาราง มิลลิเมตร)	ความต้านทาน แรงดึง (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
ไม่เติมสารเติม	6.65	1.26	8.3×10^{-4}	4.226
3: 1.4:0.5	7.54	1.33	3.5×10^{-4}	3.550
3: 1.4:1.0	7.93	1.41	3.0×10^{-4}	2.906
3: 1.4:1.5	8.63	1.52	2.8×10^{-4}	1.432
3: 1.4:2.0	8.89	1.68	2.3×10^{-4}	0.833

ตารางที่ 4-6 คุณสมบัติของแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Heater)

ตัวอย่าง	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตาราง มิลลิเมตร)	ความต้านทานแรงดึง (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
ไม่เติมสารเติม	4.89	2.20	8.9×10^{-4}	2.613
3: 1.4:0.5	5.00	2.27	4.2×10^{-4}	2.000
3: 1.4:1.0	5.50	2.33	3.9×10^{-4}	1.846
3: 1.4:1.5	6.50	2.38	3.4×10^{-4}	1.820
3: 1.4:2.0	6.64	2.42	2.8×10^{-4}	1.318

จากการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 พบว่า

น้ำหนักมาตรฐาน จากการศึกษาพบว่าแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลมีน้ำหนักมาตรฐานมากกว่าแผ่นเยื่อที่ได้จากเยื่อที่ได้ผ่านกระบวนการโซดา เนื่องจากเยื่อที่ผ่านการหมักเอทานอลยังคงมีสารประกอบอื่นๆ เหลืออยู่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ลิกนิน เพราะในขั้นตอนกระบวนการหมักเอทานอลเป็นการหมักโดยใช้สารอินทรีย์ และเยื่อหลังกระบวนการหมักเอทานอลนี้ก็ไม่ได้นำมาผ่านกระบวนการโซดาก่อนทำแผ่นเยื่อกระดาษ จึงยังมีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช้เส้นใยอยู่มาก เมื่อกำหนดให้การทำแผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อแต่ละแบบมีปริมาณเซลลูโลสเท่ากันจึงทำให้ต้องใช้เยื่อที่ได้จากการหมักเอทานอลในปริมาณมากกว่า ส่งผลให้ได้น้ำหนักมาตรฐานต่อแผ่นมากกว่า

ความหนา แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลมีความหนามาก เนื่องจากแผ่นเยื่อที่ทำ ใช้วิธีการทำแผ่นโดยใช้การกรองไม่ได้มีการใช้เครื่องรีดแผ่นกระดาษ จึงทำให้มีความหนามาก

ความสามารถในการดูดซับน้ำของกระดาษ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตแผ่นเยื่อกระดาษอย่างง่ายจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล และสนใจการปรับปรุงคุณภาพเบื้องต้นที่สำคัญของแผ่นเยื่อกระดาษกระดาษคือ ความต้านทานการซึมน้ำ จึงได้

ใช้สารเติมประเภทสารกันซึม ซึ่งคือ ยางสน (Rosin) และสารส้ม (Alum) เพื่อให้แผ่นเยื่อมีการดูด-ซึมน้ำได้น้อยลง เนื่องจากสภาวะที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง แผ่นเยื่อกระดาษจะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่สูงซึ่งจะส่งผลให้แผ่นเยื่อมีความแข็งแรงลดลง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อใส่สารเติมทั้งสองชนิด การดูดซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษมีค่าน้อยลงเมื่อใส่สารเติมมากขึ้น แสดงว่าสารเติมทั้งสองช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านความต้านทานการซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษได้จริง

สำหรับค่าความต้านทานแรงดึง พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษทั้ง 3 ชนิด มีค่าน้อย เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาศึกษาเป็นพืชล้มลุก ที่มีเส้นใยอ่อน ไม่แข็งแรง จึงเป็นแนวโน้มที่เป็นไปได้ และเมื่อมีการเติมสารเติมมากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากเมื่อมีการเติมสารเติมลงไปมีผลให้อัตราส่วนของเยื่อมีปริมาณน้อยลง จึงทำให้ความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสารเติมมากขึ้น ดังนั้นต้องมีการใส่สารเติมเพื่อเพิ่มความต้านทานแรงดึง เช่น แป้งดัดแปรประจุบวก เป็นต้น แต่ผู้วิจัยต้องการศึกษาแค่ความเป็นไปได้ในการทำกระดาษอย่างง่ายจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล และยังไม่ได้มุ่งที่จะทำการผลิตเป็นกระดาษประเภทใด จึงแค่ทำการวัดค่าไว้เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเพิ่มเติมได้ต่อไป

4.5 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา กระดาษห่อพัสดุ กระดาษห่อของขวัญ และกระดาษ A4

เนื่องจากไม่สามารถหามาตรฐานหรือเกณฑ์ในการตัดสินว่ากระดาษที่ผลิตขึ้นสามารถนำมาพัฒนาเป็นกระดาษประเภทอะไร จึงได้นำกระดาษที่มีอยู่ในท้องตลาดมาวัดคุณสมบัติ โดยเลือกศึกษากระดาษที่ผลผลิตของงานวิจัยน่าจะสามารถพัฒนาได้คือ กระดาษสา กระดาษห่อ-พัสดุ กระดาษห่อของขวัญ และกระดาษ A4 (70 gram) ลักษณะของกระดาษแต่ละประเภทแสดงดังภาพประกอบที่ 4-11 (1) - (4) และผลของการวิเคราะห์สมบัติแสดงค่าดังตารางที่ 4-7

(1) กระดาษสา

(2) กระดาษห่อพัสดุ

(3) กระดาษห่อของขวัญ

(4) กระดาษ A4

ภาพประกอบที่ 4-11 ลักษณะของกระดาษที่นำมาเปรียบเทียบกับกระดาษที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4-7 คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา กระดาษห่อพัสดุ กระดาษห่อของขวัญ และกระดาษ A4

กระดาษ	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	ความต้านทานแรงดึง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
กระดาษสา	0.29	0.11	0.22×10^{-4}	9.917
กระดาษห่อพัสดุ	1.15	0.17	0.87×10^{-4}	37.059
กระดาษห่อของขวัญ	0.82	0.07	0.66×10^{-4}	25.865
กระดาษพิมพ์เขียน (70 gram)	0.83	0.11	1.09×10^{-4}	41.654

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความต้านทานการซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากการทดลองกับกระดาษสา กระดาษห่อพัสดุ กระดาษห่อของขวัญ กระดาษ A4 พบว่า

แผ่นเยื่อกระดาษจากกระบวนการโซดา ที่มีการเติมสารเติมในอัตราส่วนของ เยื่อ: ยางสน:สารส้ม เป็น 3:1.4:1 มีค่าการดูดซับน้ำของกระดาษใกล้เคียงกับกระดาษห่อพัสดุ แต่เมื่อดูน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความต้านทานแรงดึง พบว่ายังไม่เหมาะสม ควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้ให้มีค่าใกล้เคียงกับกระดาษห่อพัสดุ

แผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนแบบฮีทเตอร์และแบบไมโครเวฟ ที่ไม่มีการเติมสารกันซึม มีค่าการดูดซับน้ำของแผ่นเยื่อใกล้เคียงกับกระดาษ A4 มากที่สุด แต่เมื่อดูน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความต้านทานแรงดึง พบว่าต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติให้มีค่าใกล้เคียงกับกระดาษพิมพ์เขียนหรือกระดาษ A4 และต้องทำการฟอกสี

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแผ่นเยื่อกระดาษ จากน้ำหนักมาตรฐานกระดาษที่ได้จากเยื่อโซดา มีค่าน้ำหนักมาตรฐานและความหนาใกล้เคียงกันกับกระดาษห่อพัสดุ ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษ ผลจากการเติมสารกันซึมสามารถทำให้ผลผลิตที่ได้จากเยื่อโซดา มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่ากระดาษทั้ง 3 ประเภท ซึ่งหมายความว่าแผ่นเยื่อที่ได้จากเยื่อโซดาที่เติมสารกันซึมมีค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำดีกว่ากระดาษห่อพัสดุ กระดาษห่อของขวัญ และกระดาษ A4 ส่วนความต้านทานแรงดึงเยื่อโซดาสามารถใช้ทดแทนกระดาษสาได้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดึง

เนื่องจากผลของการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นกระดาษห่อพัสดุ โดยสมบัติที่มีความใกล้เคียงมากที่สุด คือ สมบัติความสามารถในการดูดซึมน้ำ ดังนั้นจึงจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษห่อพัสดุและแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา แผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อโซดา และแผ่นเยื่อกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอล

แผ่นเยื่อกระดาษ	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม)	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตารางมิลลิเมตร)	ความต้านทานแรงดึง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
กระดาษห่อพัสดุ	1.15	0.17	0.871×10^{-4}	37.059
กระดาษจากเยื่อโซดา*	2.87	0.48	0.42×10^{-4}	6.616
กระดาษจากเยื่อไมโครเวฟ*	8.89	1.68	2.3×10^{-4}	0.833
กระดาษจากเยื่อฮีทเตอร์*	6.64	2.42	2.8×10^{-4}	1.318

* ผลผลิตแผ่นเยื่อกระดาษโดยใช้สารเติมด้วยอัตราส่วนของเยื่อ:สารส้ม:ชันสน เท่ากับ 3:1.4:2

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากการทดลองกับกระดาษห่อพัสดุ พบว่าหากต้องการพัฒนาแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตจากกระบวนการโซดาให้เป็นกระดาษห่อพัสดุไม่ต้องทำการใส่สารป้องกันการซึมน้ำเพิ่มแล้ว ส่วนแผ่นเยื่อกระดาษจากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอล (เยื่อไมโครเวฟและเยื่อฮีทเตอร์) จะต้องเติมสารป้องกันการซึมน้ำเพิ่มอีกเล็กน้อย โดยแผ่นเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ทั้ง 3 แบบ จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง (เช่น ผสมแป้งดัดแปรประจุบวก หรือผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยปรับปรุงในเรื่องคุณสมบัติน้ำหนักมาตรฐานด้วย) และต้องใช้เครื่องรีดกระดาษ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความหนาเหมือนกระดาษห่อพัสดุ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

5.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

จากกผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ พบว่าเมื่อคิดองค์ประกอบทางเคมีเป็นฐานแห้งผลผลิตเหลือของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลยังคงมีเซลลูโลสอยู่ เนื่องจากเซลลูโลสบางส่วนจะอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต แม้ปริมาณเซลลูโลสที่ได้จะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับเซลลูโลสที่ได้จากเยื่อที่ผ่านกระบวนการโซดา แต่ก็สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเยื่อกระดาษได้

5.1.2 การเปรียบเทียบปริมาณเซลลูโลสจากวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด

จากการศึกษาหาปริมาณเซลลูโลสในเยื่อจากกระบวนการโซดา สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสมากสุด ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลต่อลิตร อุณหภูมิในการต้ม 110 องศาเซลเซียส เวลาในการต้ม 40 นาที ได้ปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 60 ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นก็มีไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสามารถนำมาผลิตเยื่อกระดาษได้ และปริมาณเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลทั้ง 2 วิธี คือให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่ได้มีค่าร้อยละ 11 และร้อยละ 7 ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากกระบวนการโซดา แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลมาเพิ่มมูลค่า และลดของเสียจากกระบวนการ จึงได้นำมาหาความเป็นไปได้ในการทำกระดาษ

5.1.3 การทำแผ่นเยื่อกระดาษ

แผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการโซดา และแผ่นเยื่อกระดาษที่ได้จากของแข็งเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลโดยการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและฮีทเตอร์ ที่มีการเติมสารเติมในอัตราส่วนของ เยื่อ:ยางสน:สารส้ม เป็น 3:1.4:2 มีค่าการดูดซับน้ำของกระดาษใกล้เคียงกับกระดาษห่อพัสดุมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำกระดาษโดยใช้การกรองสุญญากาศ ในการลอกกระดาษกรองออกจากแผ่นเยื่อควรจะอบให้แผ่นเยื่อมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 เนื่องจากหากมีความชื้นมากเกินไป เมื่อลอกกระดาษกรองออกแผ่นเยื่อจะไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ และหากมีน้อยเกินไป แผ่นกระดาษกรองก็จะติดอยู่กับแผ่นเยื่อทำให้ไม่สามารถลอกออกจากแผ่นเยื่อได้

2. เพื่อเพิ่มลักษณะที่ดีให้กระดาษควรมีการผสมเยื่อจากการทดลองกับเยื่อปอสา หรือเยื่อที่มีเส้นใยเป็นหลัก เพื่อความแข็งแรงของกระดาษที่ได้ให้ดียิ่งขึ้น

3. สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษโดยการเติมแป้งดัดแปรประจุบวก อีกทั้งยังช่วยในการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของกระดาษให้มีความเรียบ และมันวาว

4. สามารถทำการฟอกสีเยื่อกระดาษโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้กระดาษมีความขาวสว่างมากขึ้น

5. ควรจะนำผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลมาผ่านกระบวนการโซดาก่อนที่จะนำไปทำแผ่นกระดาษ เพื่อกำจัดองค์ประกอบอื่นๆของวัตถุดิบ ให้มีปริมาณเส้นใยมากขึ้น แม้ว่าการนำมาผ่านกระบวนการโซดาก่อนนั้นจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย แต่ทำให้สามารถใช้ผลผลิตเหลือทิ้งหลังกระบวนการหมักเอทานอลมาทำเป็นกระดาษได้ดียิ่งขึ้น และในกระบวนการโซดานั้นอาจจะลดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลา และอุณหภูมิ ทำให้สามารถลดพลังงานและค่าใช้จ่ายได้ดีกว่าการผ่านกระบวนการโซดาโดยใช้วัตถุดิบเปลือกกล้วยสด

เอกสารอ้างอิง

กรมการพลังงานทหาร. การผลิตเอทานอลจากของเสียการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร. Available online: http://www1.mod.go.th/opsd/dedweb/.../etanol%20home%20page.doc. 8 ธันวาคม 2556.

กล้วย. Available online: http://blog.eduzones.com/futurecareer/34527. 5 กันยายน 2556.

กัญญ์สิรี จุฑามณี และวีรยุทธ ศรีสุข. 2548. โครงงานนักศึกษา. การผลิตกระดาษจากเส้นใยตาลโตนด.

จิตรัตน์ ศรีสุโขทัย. 2542. ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชุมชนและสิ่งแวดล้อมจากการผลิตกระดาษสา. ในเอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. หน้า 57.

ฉัตรชัย ไกรสรพงษ์. 2548. งานวิจัยการผลิตเอทานอลจากกากของเสียการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร กรมพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร.

ดอกเบี้ยธุรกิจ. อุตสาหกรรมกระดาษ. Available online: http://tupi.co.th/TH/2011/02/อุตสาหกรรมกระดาษปี-54. 22 พฤศจิกายน 2554.

ตรีรัตน์ ชมประยูร และ ศิวนันท์ วัฏฏกะโปดก. 2549. การผลิตเอทานอลจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. โครงงานนักศึกษา ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ธนธร, สุชปา และนิทัศน์. 2007. Development of paper pulp from local weed for alternative corrugated Packaging. 33rd Congress on Science and Technology of Thailand. 2550.

บวร วัฒนเสรี. 2518. การศึกษาการทดลองทำเยื่อกระดาษจากใยสับปะรด. กองการวิจัยวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม.

บุณยพัต สุภานิช. 2546. การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันสำปะหลังและประเมินเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์. รายงานการวิจัย ปี พ.ศ. 2546 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประวัติของกล้วย. Available online: http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=30&chap=6&page=t30-6-infodetail01.html. 5 กันยายน 2556.

ปิยะนันท์ สุวรรณเมนะ. 2539. ลู่ทางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจากการมีขอบเขตการค้า

เสรีอาเซียน (สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ). ฝ่ายแผนงานเศรษฐกิจรายสาขา สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. หน้า 101.

พรทวี พึ่งรัศมี และ อรัญ หาญสืบสาย. 2537. สาระน่ารู้เรื่องกระดาษพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

ฤธรรมรง ปลัดสงคราม. 2555. อิทธิพลของอัลคินิล ซัลซินิก แอนไฮไดรด์ แป้งดัดแปรประจุบวกและกรดซัลฟิวริกต่อการผลิตกระดาษจากต้นพังแหรและฐูปฤาษี. วิทยานิพนธ์หลักสูตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วันทนี สาตราคม. 2517. การศึกษาเกี่ยวกับการทำกระดาษจากปอกะสา. กองการวิจัยวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม.

วุฒินันท์ คงทัด. 2552. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษเปลือกสบู่ดำที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรม"สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. ความสำคัญของกระดาษ. Available online: www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK2/chapter5/t2-5l4.htm. 21 พฤศจิกายน 2554.

สมชาติ รุ่งอินทร์. 2528. ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทดสอบเยื่อกระดาษ และคำอธิบายศัพท์ ในการทดสอบ. ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 9

สรรพคุณของกล้วย. Available online: http://www.manager.co.th/travel/viewnews.aspx?NewsID=9560000093550. 5 กันยายน 2556.

อรอุษา สรวารี. 2539. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิชและแลกเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

อับดุลลาตีฟ ดอรอแม. 2556. การผลิตเอทานอลจากเปลือกกล้วยน้ำว้า. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Feria M.J., Garcia J.C., Diaz M.J. and Lopez L. 2012. Optimization the soda-AQ process for cellulose pulp production and energy content of black liquor form L. leucocephala K360. Bioresource Technology. Vol. 120. p. 173-179.

Gullichsen J. and Paulapuro H. 2000. Chemical pulping. Papermaking Science and Technology, Book 6). P. 497. Fapet Oy, Helsinki, Finland.

Han J.S. 1998. Properties of nonwood fibers. In proceedings of Korean society of wood science and Technology annual meeting Part of this paper was presented as Fiber Property Comparison at the TAPPI 1998. North American Nonwood Symposium at Atanata GA. 17-18 February 1998. p. 3-12.

Lopez F., Gercia J.C., Perez A., Garcia M.M., Feria M.J. and Tapias R. 2010. Leucaena Diversifolia a new raw material for paper production by soda-ethanol pulping process. Chemical Engineering Research and Design. p. 1-9.

Noland W.J. 1970. Lignin. Hand book of pulp and paper technology. Van Nostrand Reinhold Company Press. New York. p. 135-143.

Nuran B. 2007. THE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY. Department of Mathematical Sciences Indiana University of South Bend.

Sanchez R., Rodriguez A., Navarro E., Conesa J.A. and Jimenez L. 2010. Use of Hesperaloe funifera for the production of paper and extraction of lignin for synthesis and fuel gas. BIOMASS AND BIOENERGY 34. p. 1471-1480.

Ververis G. and Christodoulakis S. 2014. Fiber dimentions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. Industrial crops and products. Vol. 19 p. 245-254.

Ververis G., Danielidis H., Santas and Corleti. 2007. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some oganic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. Bioresource Technology. Vol.98. p.296-301.

University of Michigan. 2004. Available online: http://cheresearch.engin.umich.edu/ savage/ energy.html. 4 มีนาคม 2557.

Whitter R.L. and Teng J. 1970. Cellulose Chemistry. Hand book of pulp and paper technology. Van Nostrand Reinhold Company Press. New York. p. 13-14.

Write T. 2008. Lignin structure. Available online: http://palaeos.com/plants/glossary/glossaryL.html. 4 มีนาคม 2557.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลเบื้องต้นของสารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ เป็นของแข็งลักษณะผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ น้ำหนักโมเลกุล 40.01 เป็นด่างแก่ จุดหลอมเหลว 318 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 2.13 ละลายน้ำได้ดีและเกิดความร้อนสูง และมีควันหรือละอองสาร เมื่อถูกความชื้นจะเยิ้มได้ง่าย สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการณ์มักอยู่ในรูปของแข็งเป็นเม็ด (pellets) ทางอุตสาหกรรมอาจอยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำชนิดเข้มข้น เป็นแผ่นหรือเป็นแท่ง ทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือของสาร และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ง่ายเกิดโซเดียมคาร์บอเนต ลักษณะของโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงดังภาพประกอบที่ ก-1

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมผ้า พลาสติก สีย้อม ฟอกย้อม แร่ โลหะ ทำแม่พิมพ์ เป็นสารเคมีสำคัญ สำหรับผลิตสบู่ กระดาษ ใยสังเคราะห์ และใช้ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนให้บำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อให้เป็นกลาง และการล้างพื้นผิวต่างๆให้สะอาด โดยเฉพาะการล้างไขมันออก

อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อรุนแรง โดยทำปฏิกิริยากับโปรตีนและไขมัน ทำให้บริเวณนั้นอ่อนนุ่มกลายเป็นวุ้นหรือเจลาตินและสบู่ เนื้อเยื่อถูกทำลายหรือถูกกัดลึกลงไป ซึ่งการทำลายอาจต่อเนื่องหลายวัน ล้างน้ำออกได้ยาก

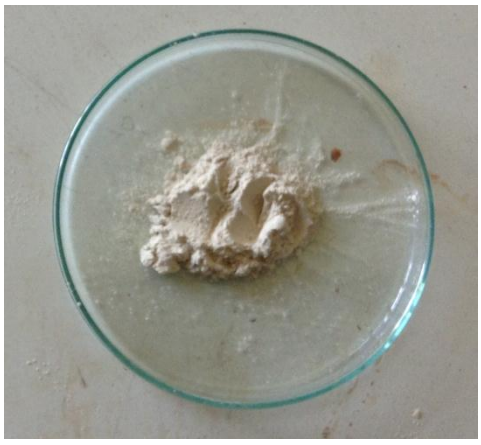
การหายใจเอาไอหรือละอองสารทำให้ระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนบน ทำให้จาม ปวดคอ น้ำมูกไหล ปอดอักเสบรุนแรง หายใจขัด การสัมผัสถูกผิวหนังจะระคายเคืองรุนแรง เป็นแผลไม้และพุพองได้ การกลืนกินทำให้แสบไหม้บริเวณปาก คอ กระเพาะอาหาร เกิดแผลและเลือดออกในกระเพาะอาหาร อาเจียน ท้องร่วง เสียชีวิตได้ หากสัมผัสถูกตาจะมีฤทธิ์กัดกร่อน ระคายเคืองรุนแรง เป็นแผลไหม้ อาจทำให้มองไม่เห็นจนถึงขั้นตาบอดได้

โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับโลหะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ไวไฟ และต้องหลีกเลี่ยงความชื้น ฝุ่น น้ำ กรด ของเหลวไวไฟ ไตรคลอโรเอทิลีน ซึ่งอาจเกิดไฟไหม้หรือระเบิดได้

ภาพประกอบที่ ก-1 ลักษณะของโซเดียมไฮดรอกไซด์

2. ชันสน

ชันสนหรือยางสน เป็นยางเหนียวสีน้ำตาลแดงที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และหมู่คาร์บอกซิลกรุ๊ป ลักษณะของชันสนแสดงดังภาพประกอบที่ ก-2 ชันสนจะได้จากการกลั่นจากยางสน มีลักษณะคล้ายน้ำผึ้ง เหนียว เมื่อแห้งจะเป็นก้อนมันวาว จะไม่ละลายน้ำ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ใช้เป็นส่วนผสมในสารกันน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมของแลคเกอร์ ใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมกระดาษ



ภาพประกอบที่ ก-2 ลักษณะของชันสน

3. สารส้ม

สารส้ม (Ammonium sulfate, Alum) สูตรทางเคมี $Al_2(SO_4)_3.nH2O$ หมายถึงเกลือเชิงซ้อน (ผลึกเกลือ) ของสารประกอบที่มีธาตุอะลูมิเนียม และซัลเฟตเป็นส่วนประกอบหลัก ลักษณะของสารส้มแสดงดังภาพประกอบที่ ก-3 สารส้มมีสมบัติละลายน้ำได้ดี มีรสเปรี้ยวและฝาด ใช้ประโยชน์ในกระบวนการทำน้ำประปา ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ การฟอกหนัง และยังเป็นส่วนผสมของตัวยาบางชนิด การนำสารส้มมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษ เช่น ใช้ในการทำความสะอาดน้ำ ปรับความเป็นกรดด่าง และใช้ป้องกันการดูดซึมน้ำ เนื่องจากสารส้มจะช่วยในการยึดจับกับสารกันซึม ช่วยส่งเสริมการทำงานของยางสนให้มีประสิทธิภาพ และยังช่วยยึดสารเติมแต่งให้เกาะติดกับเส้นใยไม่ได้ให้ไปกับน้ำในขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษ

ภาพประกอบที่ ก-3 ลักษณะของสารส้ม

4. คลื่นไมโครเวฟ

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) คลื่นไมโครเวฟไม่มี สี ไม่มีกลิ่น ไม่สามารถสัมผัสได้ สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะเท่านั้น เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนด้วยความเร่ง ทำให้เกิดสนามพลังงานขึ้นในบริเวณรอบๆ สนามพลังงานดังกล่าวนี้ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตั้งฉากซึ่งกันและกัน

เตาไมโครเวฟ ภายในเตาไมโครเวฟมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ แมกนีตรอน ซึ่งเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ โดยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้สำหรับเตาไมโครเวฟในครัวเรือน มีความถี่ 2,450 ล้านรอบต่อวินาที (หรือ 2,450 เมกะเฮิร์ต) โดยคลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้ากระทบอาหารในทุกทิศทาง คลื่นทำให้โมเลกุลหรืออนุภาคที่มีประจุ เช่น น้ำ ไอออนของเกลือ ไขมัน น้ำตาล เป็นต้น เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือเกิดการสั่นสะเทือน ทำให้โมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร เสียดสีกันเกิดเป็นความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการใช้เตาแบบธรรมดา เมื่อคลื่นไมโครเวฟถ่ายเทพลังงานให้อนุภาคที่มีประจุหมดแล้วก็จะสลายตัวไปไม่สะสมอยู่ในอาหาร

คลื่นไมโครเวฟ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคแตกตัว ดังนั้น จึงไม่ทำให้โมเลกุลของสารเปลี่ยนแปลง และไม่มีผลตกค้างจึงไม่มีอันตราย อีกทั้งมีโอกาสน้อยมากที่เตาอบไมโครเวฟจะมีคลื่นรั่วออกมาเกินระดับมาตรฐาน มอก. 1773-2542 ที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่อวัดที่ระยะ 5 เซนติเมตร จากผิวไมโครเวฟ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์อยู่มาก

5. ประโยชน์ของเกลือและน้ำส้มสายชู

5.1 เกลือ

เกลือ หมายถึง เกลือที่ใช้ปรุงอาหาร ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) เกลือที่เรารู้จักโดยทั่วไปคือเกลือแกง มีสภาพเป็นกลาง มีรสเค็ม ใช้ในการปรุงรส มีคุณสมบัติในการดูดน้ำออกจากเนื้อสัตว์ ผัก ทำให้สามารถช่วยชะลอระยะเวลาอาหารเสียช้าลง นอกจากนี้เกลือยังมีประโยชน์อีกมากมาย อาทิเช่น ในเกลือจะมีสารไอโอดีน ซึ่งจะช่วยในการป้องกันโรคคอพอก รักษาอาการไอ เป็นส่วนผสมในยาสีฟัน เพื่อป้องกันฟันผุ ใช้ขจัดเสมหะใน

หลอดลมได้ ทำให้อาการไอทุเลาลง และที่สำคัญเกลือยังมีคุณสมบัติในการกำจัดยางในผักและผลไม้ได้อีกด้วย

5.2 น้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชู เป็นสารประกอบของกรดน้ำส้มกับน้ำ ได้จากการหมักน้ำผลไม้จนเกิดแอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ น้ำส้มสายชูมีองค์ประกอบสำคัญทางเคมี เป็นกรดอะซิติก หรือกรดน้ำส้ม ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน น้ำส้มสายชูสามารถแบ่งได้หลายชนิดตามกรรมวิธีการผลิต ได้แก่

5.2.1 น้ำส้มสายชูหมัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการหมักธัญพืช ผลไม้ หรือแอลกอฮอล์ โดยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ หรือโดยการเติมจุลินทรีย์ที่เหมาะสมลงไปในการหมัก ซึ่งจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาลในธัญพืชหรือผลไม้ที่ใช้ให้เป็นแอลกอฮอล์ แล้วจึงเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นน้ำส้มสายชูอีกทีหนึ่ง น้ำส้มสายชูหมักจะมีสีเหลืองอ่อน ใส อาจมีตะกอนตามธรรมชาติได้ มีกลิ่น รสเฉพาะตัว ขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ และมีปริมาณกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

5.2.2 น้ำส้มสายชูกลั่น เป็นน้ำส้มที่ได้จากการนำแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักมากลั่น แล้วจึงหมักกับจุลินทรีย์ให้ได้กรดน้ำส้มทีหลัง หรืออาจได้จากการนำน้ำส้มสายชูหมักมากลั่นซ้ำ น้ำส้มสายชูกลั่นต้องใส ไม่มีตะกอน อาจเติมสีให้เป็นสีเหลืองอ่อนด้วยน้ำตาลไหม้ได้ น้ำส้มสายชูกลั่นมีกลิ่นฉุนของน้ำส้มสายชู และมีปริมาณกรดน้ำส้มไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 เช่นกัน

5.2.3 น้ำส้มสายชูเทียม ได้มาจากการนำกรดน้ำส้มที่ผลิตขึ้นจากกรรมวิธีทางเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูง มีความเป็นกรดอ่อน และเข้มข้นประมาณร้อยละ 95 มาเจือจางด้วยน้ำให้มีปริมาณกรดร้อยละ 4-7 มีลักษณะใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนของกรดน้ำส้ม

6. ยีสต์ขนมปัง (Baker yeast)

ยีสต์ หรือ ส่าเหล้า คือ รากลุ่มหนึ่งที่ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดียว มีรูปร่างหลายแบบ ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยวิธีการแตกหน่อ พบทั่วไปในธรรมชาติ ในดิน ในน้ำ ในส่วนต่างๆ ของพืช ยีสต์บางชนิดพบอยู่กับแมลง และในกระเพาะอาหารของสัตว์บางชนิด แต่แหล่งที่พบยีสต์อยู่บ่อยๆ คือแหล่งที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสหวาน ยีสต์ทีมีอยู่ตามธรรมชาติมักจะปนลงไปในอาหาร และเป็นสาเหตุให้อาหารเน่าเสียได้

ยีสต์ขนมปังมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งมักนำไปผสมกับแป้งสาลีและน้ำตาล เพื่อทำให้ขนมปังฟู ยีสต์ขนมปังเป็นเชื้อราชนิดหนึ่งซึ่งมีรูปร่างกลม มีขนาด 5-10 ไมครอน (Micron) และขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ ยีสต์ขนมปังที่จำหน่ายในท้องตลาดมี 3 ชนิด คือ ยีสต์สด (Fresh or Compressed Yeast) ยีสต์เม็ด หรือยีสต์น้ำ (Active Dried Yeast) และยีสต์ผง (Instant Yeast)

ยีสต์มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ได้ โดยหลักการทำงานของยีสต์ที่ใส่ให้ขนมปังฟู เนื่องมาจากยีสต์ที่ใส่ลงไปมีการใช้น้ำตาลในแป้งขนมปัง หรือ ที่เรียกกันว่า “โด้” (Dough) เป็นอาหารและระหว่างที่มันกินอาหารก็จะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนสลายกลูโคสได้ และคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เมื่อเราเอาแป้งไปอบ ก๊าซที่คายออกมาก็จะขึ้นมาระหว่างเนื้อขนมปังทำให้เกิดรูพรุนจนฟูขึ้นมา

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน โดยวิธี AOAC 1990

1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย

(1) ปิเปต ขนาด 2 ml.

(2) บีกเกอร์ ขนาด 250 ml.

(3) ครูซิเบิล

(4) กระบอกตวง

(5) หลอดหยด

(6) แท่งแก้วคน

(7) กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก

(8) กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก

(9) ซีทิลไตรเมทิวแอมโมเนียมโบรไมด์

(10) เดคาไฮโดรแนฟทาลีน

(11) อะซิโตน

1.2 การเตรียมสารละลาย Acid Detergent

ชั่งกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 96 ปริมาณ 49.04 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งสาร ซีทิลไตรเมทิวแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyl- trimethyl ammonium bromide, CTAB) 20 กรัม แล้วเติมลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เตรียมไว้ จากนั้นทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้สาร CTAB ละลายหมด

1.3 เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยน้ำหนัก

ชั่งชั่งกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 96 น้ำหนัก 75 กรัม จากนั้นเตรียมน้ำ 25 กรัม ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกลงในในขวดปรับปริมาตร โดยทำการเติมเรื่อยๆ จนหมด

2. เตรียมสารละลาย ในการทำการทดลองขั้นโซดา

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1, 1.4, 2.6 และ 3 โมลต่อลิตร ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40, 52, 104 และ 120 กรัม ตามลำดับ ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 500 มิลลิลิตร ทำการคนโดยใช้เครื่อง stirrer เมื่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด จึงเติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดของขวดปรับปริมาตร

3. เตรียมสารละลายใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-เบส ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 กรัม ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นแล้วคนให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด แล้วเติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดของขวดปรับปริมาตร

การคำนวณ

4. การคำนวณหาปริมาณเยื่อต้องใช้ต่อกระดาษ 1 แผ่น

จากการกำหนด ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร

กระดาษกรองมีพื้นที่ จากสมการ πr^2 เท่ากับ 122.72 ตารางเซนติเมตร

จากพื้นที่	10000	ตารางเซนติเมตร มีเซลลูโลส	100	กรัม	
พื้นที่	122.72	ตารางเซนติเมตร มีเซลลูโลส	$\frac{100}{10000} \times 122.72 = 1.23$	กรัม	

<u>คำนวณปริมาณเยื่อที่ต้องใช้จากกระบวนการโซดา</u>

จาก Optimum condition ที่ได้ปริมาณเซลลูโลสมากที่สุด คือร้อยละ 60

เส้นใย	0.60	กรัม	ได้จากเปลือกกล้วยที่มีความชื้นร้อยละ 10	1	กรัม		
เส้นใย	1.23	กรัม	ได้จากเปลือกกล้วยที่มีความชื้นร้อยละ 10	2.05	กรัม		
เปลือกกล้วยความชื้นร้อยละ 10	1	กรัม	ได้จากเปลือกกล้วยอบ 2 ชม.	20	กรัม		
เปลือกกล้วยความชื้นร้อยละ 10	2.05	กรัม	ได้จากเปลือกกล้วยอบ 2 ชม.	41	กรัม		
เปลือกกล้วยอบ 2 ชม.	20	กรัม	ได้จากเปลือกกล้วยสด	22.54	กรัม		
เปลือกกล้วยอบ 2 ชม.	41	กรัม	ได้จากเปลือกกล้วยสด	46.21	กรัม		

ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยสดที่ผ่านกระบวนการโซดา ด้วยวิธี AOAC 1990

Exp#	Condition			W1	W2	W3	W4	ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)	ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ)	ADF
	Conc. (M)	Temp. (C)	Time (min)							
1	1	95	60	29.75	30.18	29.92	29.76	16	27	43
2	1.4	86	48	29.65	30.24	30.01	29.65	36	23	59
3	1.4	86	72	30.19	30.72	30.35	30.2	15	38	53
4	1.4	104	48	29.96	30.53	30.35	29.98	37	20	57
5	1.4	104	72	30.19	30.74	30.34	30.19	15	40	55
6	2	80	60	29.74	30.37	30.06	29.76	30	33	63
7	2	95	40	30.02	30.56	30.35	30.02	33	21	54
8	2	95	60	30.86	31.48	31.12	30.87	25	37	62
9	2	95	60	30.11	30.71	30.38	30.11	27	33	60

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสจากเปลือกกล้วยสดที่ผ่านกระบวนการโซดา ด้วยวิธี AOAC 1990 (ต่อ)

Exp#	Condition			W1	W2	W3	W4	ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)	ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ)	ADF
	Conc. (M)	Temp. (C)	Time (min)							
10	2	95	60	29.75	30.4	30.07	29.75	32	33	65
11	2	110	60	29.91	30.56	30.1	29.92	18	47	65
12	2.6	86	48	29.64	30.24	29.93	29.65	28	32	60
13	2.6	86	72	29.65	30.25	29.92	29.65	27	33	60
14	2.6	104	48	30.86	31.49	31.01	30.87	14	49	63
15	2.6	104	72	30.03	30.65	30.25	30.03	22	40	62
16	3	95	60	29.96	30.61	30.23	29.96	27	38	65
17	2	95	80	29.74	30.34	29.95	29.75	20	40	60

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษจากเยื่อโซดา

ตัวอย่าง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm.)	พื้นที่ (mm^2)	นน.เริ่มต้น (g)	นน.หลัง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (g/mm^2)
ไม่เติมสาร	87	5941.665	1.26	2.22	0.000162
ยางสน 0.5	88	6079.040	1.55	2.28	0.000120
ยางสน 1	90	6358.500	1.63	2.22	0.000093
ยางสน 1.5	85	5671.625	1.84	2.13	0.000051
ยางสน 2	90	6358.500	2.87	3.14	0.000042

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ตัวอย่าง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (m.)	พื้นที่ (m^2)	นน.เริ่มต้น (g)	นน.หลัง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (g/mm^2)
ไม่เติมสาร	91	6500.585	6.65	12.07	0.0008338
ยางสน 0.5	88	6079.040	7.54	9.72	0.0003586
ยางสน 1	90	6358.500	7.93	9.85	0.0003020
ยางสน 1.5	87	5941.665	8.63	10.33	0.0002861
ยางสน 2	90	6358.500	8.89	10.34	0.0002280

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

ตัวอย่าง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่ (mm^2)	นน.เริ่มต้น (g)	นน.หลัง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (g/mm^2)
ไม่เติมสาร	93	6789.465	4.89	10.96	0.0008940
3: 1: 0.5	83	5407.865	5.00	7.27	0.0004198
3: 1: 1	82	5278.340	8.94	10.91	0.0003865
3: 1: 1.5	90	6358.500	6.50	8.96	0.0003444
3: 1: 2	85	5671.625	6.64	8.26	0.0002856

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษที่ใช้เปรียบเทียบกับกระดาษจากการทดลอง

ตัวอย่าง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่ (mm^2)	นน.เริ่มต้น (g)	นน.หลัง (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (g/mm^2)
กระดาษสา	125	12265.625	0.44	0.62	0.0000147
กระดาษห่อพัสดุ	125	12265.625	1.41	2.12	0.0000579
กระดาษห่อของขวัญ	125	12265.625	0.99	1.53	0.0000440
กระดาษ A4	125	12265.625	0.99	1.88	0.0000726

ตารางที่ ค-6 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากเยื่อโซดา

ตัวอย่าง	Maximum Load : F N
ไม่เติมสาร	9.03 7.97 11.9
เฉลี่ย	9.63
3: 1: 0.5	42.6 44.4 46.9
เฉลี่ย	44.63
3: 1: 1	44.4 46 45.3
เฉลี่ย	45.23
3: 1: 1.5	46.2 47.8 45.6
เฉลี่ย	46.53
3: 1: 2	48.3 47.5 47.4
เฉลี่ย	47.73

ตารางที่ ค-7 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ตัวอย่าง	Maximum Load : F N
ไม่เติมสาร	76.355 97.065 66.210
เฉลี่ย	79.877
3: 1: 0.5	65.033 77.021 70.443
เฉลี่ย	70.832
3: 1: 1	17.241 14.292 21.300
เฉลี่ย	17.611
3: 1: 1.5	35.991 77.550 85.263
เฉลี่ย	66.268
3: 1: 2	33.190 42.780 32.320
เฉลี่ย	36.097

ตารางที่ ค-8 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

ตัวอย่าง	Maximum Load : F N
ไม่เติมสาร	47.327
	55.025
	52.889
เฉลี่ย	51.747
3: 1: 0.5	56.873
	63.591
	65.482
เฉลี่ย	61.982
3: 1: 1	54.174
	57.385
	98.200
เฉลี่ย	69.920
3: 1: 1.5	38.155
	27.283
	21.781
เฉลี่ย	29.073
3: 1: 2	64.664
	69.535
	66.847
เฉลี่ย	67.015

ตารางที่ ค-9 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ใช้เปรียบเทียบกับกระดาษจากการทดลอง

ตัวอย่าง	Maximum Load : F N
กระดาษสา	15.858 11.93 22.158
เฉลี่ย	16.649
กระดาษห่อพัสดุ	95.709 87.386 100.41
เฉลี่ย	94.502
กระดาษห่อของขวัญ	26.803 26.35 28.322
เฉลี่ย	27.158
กระดาษ A4	69.838 67.381 68.971
เฉลี่ย	68.730

ตารางที่ ค-10 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษจากเยื่อโซดา

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
ไม่เติมสาร	0.21	0.22	0.20	0.20	0.19	0.20
3:1:0.5	0.35	0.36	0.34	0.36	0.36	0.35
3:1:1	0.41	0.38	0.41	0.39	0.37	0.39
3:1:1.5	0.40	0.42	0.40	0.42	0.44	0.42
3:1:2	0.49	0.46	0.46	0.48	0.51	0.48

ตารางที่ ค-11 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
ไม่เติมสาร	1.27	1.25	1.27	1.3	1.2	1.26
3:1:0.5	1.3	1.32	1.33	1.32	1.36	1.33
3:1:1	1.39	1.41	1.4	1.4	1.45	1.41
3:1:1.5	1.53	1.52	1.45	1.64	1.47	1.52
3:1:2	1.72	1.67	1.67	1.7	1.65	1.68

ตารางที่ ค-12 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษจากเยื่อที่ผ่านกระบวนการหมักเอทานอลโดยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

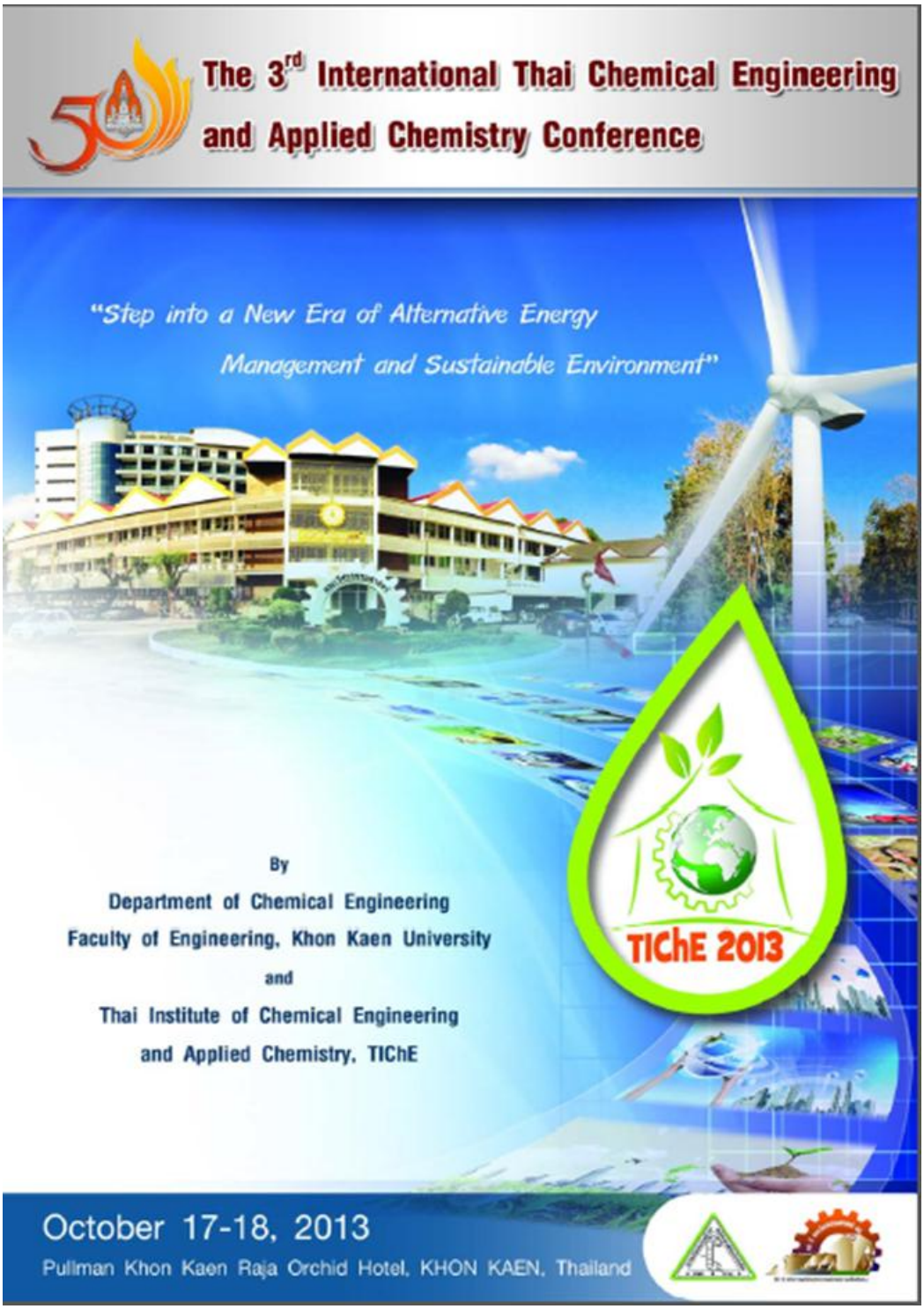
ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
ไม่เติมสาร	2.20	2.22	2.25	2.12	2.21	2.20
3:1:0.5	2.25	2.27	2.28	2.27	2.26	2.27
3:1:1	2.34	2.36	2.31	2.30	2.32	2.33
3:1:1.5	2.38	2.40	2.37	2.36	2.37	2.38
3:1:2	2.43	2.39	2.41	2.43	2.44	2.42

ตารางที่ ค-13 ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ค่าความหนาของกระดาษใช้เปรียบเทียบกับกระดาษจากการทดลอง

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
กระดาษสา	0.1	0.11	0.11	0.1	0.11	0.106
กระดาษห่อพัสดุ	0.17	0.175	0.17	0.178	0.18	0.175
กระดาษห่อของขวัญ	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
กระดาษ A4	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

ภาคผนวก ง

บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ


The 3rd International Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference
"Step into a New Era of Alternative Energy Management and Sustainable Environment"
By
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering, Khon Kaen University
and
Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry, TIChE
TIChE 2013
October 17-18, 2013
Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, KHON KAEN, Thailand

Pulp Production from Banana Peels by the Soda Process

Soraya Somkeawwaan[1] Sininart Chongkhong[1]*

[1]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90112

E-mail: csininart@yahoo.com*

***Abstract*—An experimental design for the soda process was performed to study effects of concentrations of sodium hydroxide (1 - 3 M), temperatures (80 - 110 ˚C) and time (40 - 80 min). Cellulose content in products, that banana peels were treated by the soda process, were analyzed to investigate their suitability for paper production. The optimum condition that was proved by response surface methodology (RSM) was 3 M sodium hydroxide solution, 110 ˚C and 40 min. This provided 60 %w of the cellulose content in the pulp product.**

Keywords: Pulp, Cellulose, Soda process, banana peels

Introduction

Consumption of paper worldwide was increased from about 300 million tons in 1998 to about 425 million tons in 2010 [1]. 95% of all feedstock that consists of hardwood or softwood is used for pulp production. This pulp is a raw material for the paper industries. The type of interesting material that can be employed for this purpose is non-wood plants [2]. Non-wood plants (i.e. banana) suggest several advantages including low lignin content resulting in soft wall fiber, coordinate together wall and short growth cycle.

Among the treatment processes to obtain the cellulose pulps, there are the predominance of sulfate (Kraft) and sulfite methods [3]. However, the use of sulfate chemical substance in these methods causes environmental pollution. A soda process is an alternative method for producing pulp from non-wood plants. The soda process uses sodium hydroxide (NaOH) solution to pretreat a raw material. This process gives pulp with lower tear strength than other chemical pulp production processes (sulfite and kraft processes).

RSM is the combination of a group of mathematical and statistical techniques for analyzing the effects of a response of interest (y), and dependent variables denote by X_1, X_2, ..., X_k for optimizing the optimum process condition [4]. And it can be used suitably to find the optimum pulp production.

Designed experiments by RSM in this work were performed to get a maximum cellulose content for the pulp production from banana peels using the soda process. Vital factors that were investigated were sodium hydroxide concentrations, temperatures and time.

Materials and methods

Materials

The unripe banana peels were obtained from the deep-fried sliced banana shop in Hat-Yai, Songkhla province, Thailand. The compositions of the fresh banana peels are shown in Table 1. An acid detergent that was the mixture of 96% sulfuric acid and cetyl tri-methyl ammonium bromide and decahydronaphthalene for cellulose and lignin analyses were laboratory grades.

Table 1. The compositions on dry basic of fresh banana peels

Test Items	**Results (Unit)**	**Analytical Methods**
Protein	7.98%	AOAC (Kjeldahl Method)
Crude Fat	11.44%	AOAC (Soxhlet Extraction Method)
Ash	11.00%	AOAC
Crude Fiber	14.33%	AOAC (Fritted Glass Crucible Method)
Total Carbohydrate	57.52%	Calculation

Pretreatment

Fresh banana peels were firstly cut and crushed to be about 2 mm size. The crushed peels were pre-heated at 50 ˚C for 2 h by oven for reducing the moisture content to remain about 10 %w (about 20 h). Then the cellulose and lignin contents of these pretreated peels were determined (AOAC 1990) [5].

Soda pulping process

The pulp was produced by digesting the crushed peels with sodium hydroxide solution. The peels were mixed with the 1 - 3 M solutions in a weight ratio of 1 to 10 at various temperatures of 80 - 110 ˚C and time of 40 - 80 min. After that the digested peels were washed until the washing water to get a pH value of about 7, then the washed peels were dried at 50 ˚C to receive the pulp products that contained about 10% moisture content. The cellulose content in the pulp was analyzed by AOAC 1990 method.

Cellulose analysis

The analysis of cellulose and lignin contents in the pulp products was carried out by AOAC 1990 method. The 1 g pulp was boiled with 100 mL acid detergent and 2 mL decahydronephthalene for 1 h, then the pulp sample was washed with warm water and acetone passed through a crucible. After that it was dried at 100 ˚C for 20 h. The 72% w sulfuric acid solution was dropped into the dried pulp until it was soaked for 3 h, and washed with warm clean

water to obtain the neutral pulp. Then it was dried at 100˚C before burning in furnace at 500 ˚C 2 h. After that the cellulose and lignin contents were calculated by AOAC 1990 determination.

Experimental design

The investigations of the experiments were operated by a central composite design (CCD) in RSM program. CCD is popularly used in experimental design for fitting a second-order response surface [6]. Three 2^3-factorial central composite designs (2^3-FCCD) were carried out in order to identify optimum parameter levels for this soda process, the process independent variables of the effects of concentration (X_1, Molar), temperature (X_2, ˚C) and time (X_3, min.), according to design are shown in Table 2.

Table 2. Independent variables for the experimental design

Independent variables	Symbols	Code levels				
		-1	-0.59	0	0.59	1
NaOH concentration (M)	X_1	1	1.4	2	2.6	3
Temperature (˚C)	X_2	80	86	95	104	110
Reaction time (min.)	X_3	40	48	60	72	80

The cellulose content (Y, %w) was taken as the response result influenced by NaOH concentration, temperature and time. The coded and actual (uncoded) values of the operating parameters are given in Table 3. The 17 experiments (Run No. 1–17) were performed by the CCD method.

In order to get the optimum NaOH concentration, temperature and time for obtaining the maximum cellulose content Eq. (1) is the quadratic equation model for predicting the optimal conditions [6].

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} \cdot X_i^2 + \sum_{i_{i\leq j}}^{k} \sum_{j}^{k} \beta_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \cdots + e \qquad (1)$$

Where Y is the response; X_i and X_j are the variable; β_0 is a constant coefficient; β_i, β_{ii}, β_{ij} are the interaction coefficients of linear, quadratic and second order term respectively; k is a number of factor studied and optimized in the experiments and e is the random error.

Table 3. CCD for the study of three experiment variables for soda process

Run No.	Variables		
	X_1	X_2	X_3
1	2.6	86	48
2	2.0	95	60
3	3.0	95	60
4	2.0	95	60
5	2.0	80	60
6	2.0	95	80
7	2.0	95	40
8	2.0	110	60
9	1.4	104	72
10	1.4	86	48
11	2.6	104	48
12	2.6	86	72
13	1.4	104	48

14	2.0	95	60
15	1.0	95	60
16	2.6	104	72
17	1.4	86	72

Results and discussion

Components of banana peels

The high content of fiber (Table 1.) shows that banana peels that are a non-wood plant and an agricultural residue are a suitable raw material for the pulp production.

Response surface analysis for the optimization of three independent variables

The experimental conditions for batch runs from CCD, and the results (response) in terms cellulose content (%w) in the products that were obtained from the experiments and that were predicted by RSM program were shown in Table 4. The response surface could be plotted by Eq. (2):

$$Y = 120.692 - 11.12X_1 - 4.842X_2 + 4.056X_3 - 2.2X_1^2 + 0.0235X_2^2 - 0.0105X_3^2 + 0.707X_1X_2 - 0.672X_1X_3 - 0.01179X_2X_3 \quad (2)$$

Table 4. Experimental and predicted cellulose contents

Run No.	Experimental	Predicted
	Cellulose contents (%w)	
1	32	32
2	33	34
3	38	39
4	33	34
5	33	35
6	40	36
7	21	24
8	47	44
9	35	36
10	23	22
11	49	45
12	33	33
13	20	22
14	37	34
15	27	26
16	40	42
17	38	40

Table 5. ANOVA for the quadratic equation of the model for Eq. (2)

ANOVA					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F-value	Probe > F
Regression	979.48	9	108.83	10.66	0.00253
Residual	71.46	7	10.21		
Total	1050.9	16			

The result from using Eq. (2) showed the fair determination coefficient (R^2 = 0.932) was observed, which implied that it was a good fit for experimental and predicted values.

The ANOVA result of the quadratic model in Table 5 indicated that the model equation derived by RSM used to discuss the cellulose content under a range of operating conditions. The quality of the fit polynomial model was expressed by the coefficient of determination R^2 and P-value (probability) associated with the 95% confidence level was used to evaluate model term. The significance and adequacy of the model were check by F-value (Fisher variation ratio).

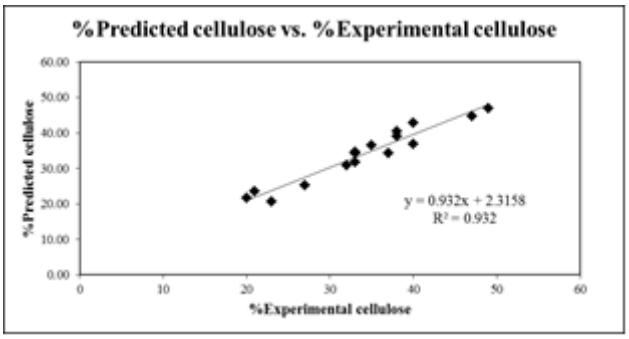


Figure 1. Experimental cellulose content vs. predicted cellulose content

Figure 1. shows cellulose content (%w) obtained from the experiments versus cellulose content (%w) obtained from the prediction for the model Eq.(2). From the figure 1. and statistical in Table 2, the coefficient of determination (R^2) is 0.932 . The predicted empirical model represents %cellulose moderately over wide range of an operational parameter.

Interactions among the factors

Figure 2. presents temperature and time effects on cellulose content. The %cellulose increased with increasing temperature and time, the highest cellulose content was 44% at time in the range of 66.7 to 75.6 min. and temperatures in the range of 100 to 110˚C.

Table 6. Coefficients, t-statistics and significance probability of the model

Terms	**Coefficient**	**Value**	**Standard Error**	**t –value**	**P - value**
Constant	b0	120.692	104.16	0.849	0.424
Concentration (molar)	b1	-11.120	24.89	-0.447	0.669
Temperature	b2	-4.842	2.401	-2.016	0.084
Time	b3	4.056	1.336	3.037	0.019
Concentration x Concentration	b4	-2.200	2.692	-0.817	0.441
Temperature x Temperature	b5	0.023	0.012	1.969	0.089
Time x Time	b6	-0.011	0.007	-1.560	0.163
Concentration x Temperature	b7	0.707	0.213	3.320	0.013
Concentration x Time	b8	-0.672	0.160	-4.205	0.004
Temperature x Time	b9	-0.012	0.011	-1.107	0.305

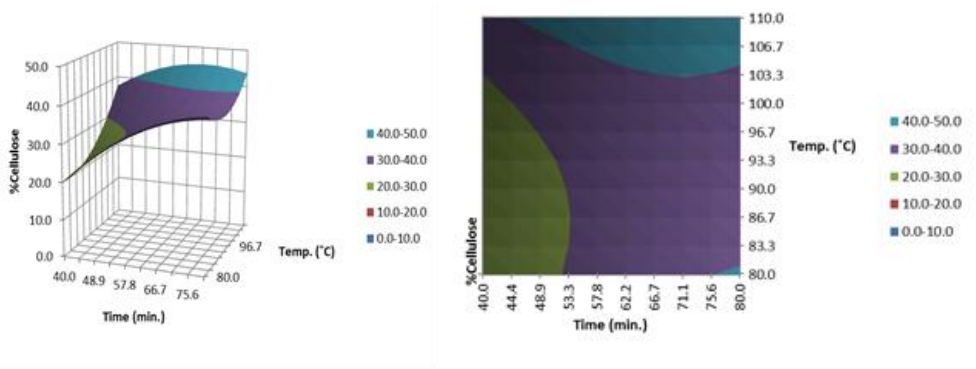


Figure 2. Cellulose content as a function of temperature and time using a NaOH concentration of 2 M

NaOH concentration and temperature effects on cellulose content are shown in Figure 3. The %cellulose increased with increasing NaOH concentration and temperature, highest cellulose was 60% for NaOH concentrations in the range of 2.8 to 3 M and temperatures in the range of 106.7 to 110 ˚C

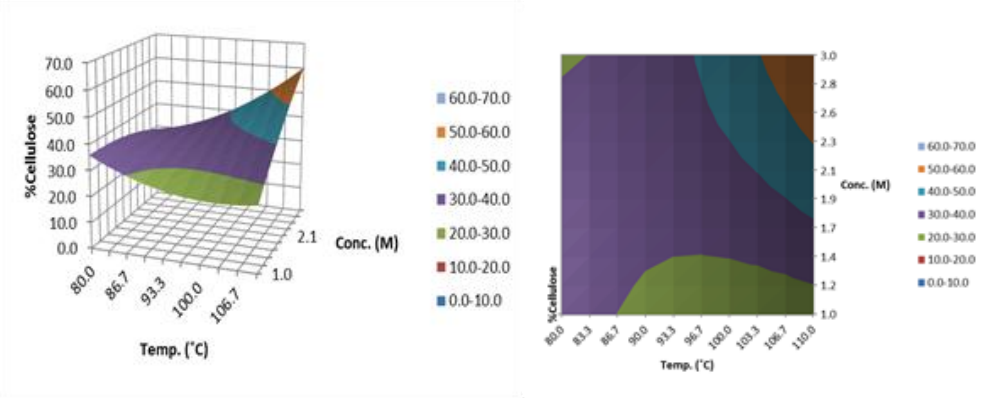


Figure 3. Cellulose content as a function of NaOH concentration and temperature for 60 min.

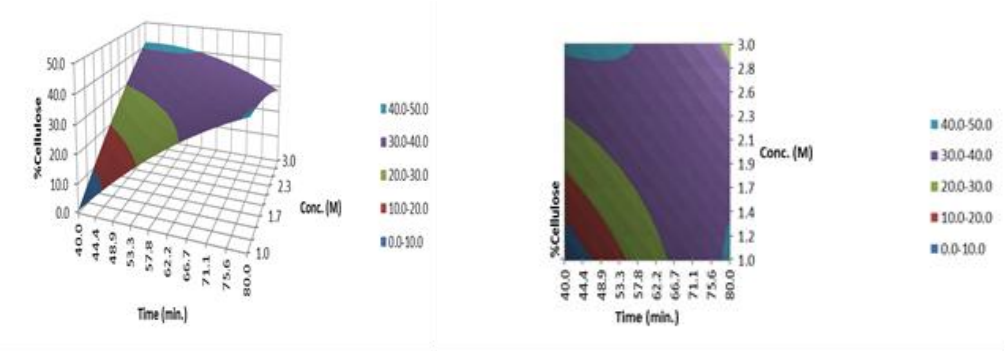


Figure 4. Cellulose content as a function of NaOH concentrations and time at 95 ˚C

Figure 4. shows NaOH concentration and time effects on cellulose content. The cellulose increased with increasing NaOH concentration and decrease time, the highest cellulose was 41.9% for NaOH concentrations in the range of 2.8 to 3 M and time in the range of 40.0 to 48.9 min.

The response surface could be described by the model equations for cellulose content showed that the increase in the variable value polynomial factor or the increase the cellulose content in the pulp from banana peels. The best value was obtained when the soda pulping was operated at 110 ˚C for 40 min using 3 M of NaOH concentration. This condition was optimized by the prediction of RSM, Eq. 2 model, that was different from the 17 experimental conditions in Table 3. This could be received the pulp that contained the highest 60%w experimental cellulose (66%w predicted cellulose).

Conclusions

This work demonstrated the optimum condition to produce the high cellulose product for pulp production from banana peels. The condition was optimized by RSM with a NaOH concentration of 3 M, operating temperature of 110 ˚C and time of 40 min. This provided 60%w of the highest cellulose content (that the predicted content was 66%).

Acknowledgment

This research was supported by Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Contract no. ENG-55-2-7-01-0171-S.

References

[1] R.M. Rowell and C. cook, "Proceedings of the North America Symposium on Non-wood Fiber," Types and Amounts for Non-wood Fiber Available in the US, Chicago, IL, pp. 43-47.

[2] L. Jiménez, E. Ramos, A. Rodrıguez, M.J. De la Torre and J.L. Ferrer, "Optimuization of pulping conditions of abaca. An alternative raw material for producing cellulose pulp," Bioresource Technology, vol. 96, pp. 977-983, June 2005.

[3] N.R. Draper and J.A. John, "Response-surface design for quantitative and qualitative variables," Technometrics, vol.30,pp.423-428, November 1988.

[4] A.I. Khuri and S. Mukhopadhyay, "Response surface methodology," WIREs Computational Statistics, vol. 2, pp. 128-149, March/April 2010.

[5] A.O.A.C. 1990, Official methods of analysis, The Association of official analytical chemists, 15th ed. Verginia : Arlington.

[6] D.C. Montgomery, "Design and analysis experiment," John Wiley & Sons, seventh ed., New York 2009.