การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์

Leulee Nortoualee

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

MAEJO UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์

Leulee Nortoualee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์

Leulee Nortoualee

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล)

วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)

วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

(อาจารย์ ดร.ธวัฒน์ สร้อยทอง)

วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา วงศ์แสนใหม่)

วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ....

(อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์)

วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว ....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง	การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์
ชื่อผู้เขียน	Mr. Leulee Nortoualee
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิด เพื่อใช้ในการผลิตเป็นกระดาษ 2) เปรียบเทียบสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้จากฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด เพื่อคัดเลือกเยื่อที่มีความเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระดาษ 3) ปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าวให้มีคุณภาพเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ ฟางข้าวที่ใช้ในการวิจัยได้จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองของลาว ได้แก่ ข้าวหนอน ข้าวโพนงาม 3 และข้าวถิ่นแก้ว ทำการทดลอง โดยใช้ฟางข้าวชนิดละ 20 กรัม ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 0.5 1 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักฟางข้าวแห้งต่อปริมาตร โดยเติมน้ำยาต้มเยื่อ 30 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ใช้อุณหภูมิ 90-100 องศเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อมากขึ้นทำให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลง และเห็นว่าฟางข้าวโพนงาม 3 ให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุด สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวทั้งก่อนและหลังการต้มเยื่อที่มีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุด เส้นใยที่ผลิตได้จากชนิดฟางข้าว ทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าว คือเยื่อกระดาษที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของเยื่อกกระดาษจากฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด พบว่าชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตกระดาษมากกว่าชนิดฟางข้าวหนอนและฟางข้าวถิ่นแก้ว เนื่องจากได้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด เมื่อนำเยื่อเปียกน้ำหนัก 20 30 40 และ 50 กรัม มาทำแผ่นกระดาษขนาด 25 x 25 เซนติเมตร แล้วนำกระดาษที่ได้ไปอัดด้วยเครื่องอัดที่มีแรงอัด 2,500 ปอนด์ต่อนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่า ความหนา และน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษแตกต่างกันตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ในการทำแผ่น ส่งผลต่อสมบัติในด้านความต้านทานแรงดึงของกระดาษมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่า แผ่นกระดาษ 50 กรัม มีค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด เท่ากับ 0.45 ± 0.04 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยใช้เยื่อกระดาษเปียก 50 กรัม ผสมกับแป้ง

มันสำปะหลังต้มสุก และแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก ร้อยละ 6 ได้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มสูงมากขึ้น และพบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุกร้อยละ 6 ที่ผ่านการอัดเป็นกระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด

คำสำคัญ : เยื่อกระดาษ, ฟางข้าว, โซเดียมไฮดรอกไซด์, น้ำหนักมาตรฐาน, ความต้านทานแรงดึง

Title	INCREASING THE VALUE OF RICE STRAW BY PRODUCING PACKAGING PAPER
Author	Mr. Leulee Nortoualee
Degree	Master of Science in Environmental Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Siraporn Cheunbarn

ABSTRACT

This research aims to study 1) Optimal conditions for producing 3 types of rice straw pulp for paper production. 2) Compare the properties of the pulp produced from the 3 types of rice straw to select the suitable pulp for paper production. 3) Improve the quality of paper from rice straw to develop packaging. The rice straws used for the research were obtained from Lao's local cultivars rice straw, namely, Non rice, Phon ngam 3 rice and Thin kaew rice. The experiment was carried out by 20 g of rice straw, boiled in a solution of 0.5, 1, 2, 4 and 6% sodium hydroxide (NaOH) by weight of dry straw by volume, by adding a pulp liquid 30 times the weight of dry rice straw, temperature 90-100 degrees celsius for 2 hours 30 minutes. The results of the study showed that the higher the concentration of sodium hydroxide solution in pulping, the pulp yield (% Yield) was decreased and the Phon ngam 3 straw gave the highest pulp yield. This was consistent with the analysis of the chemical composition of rice straw before and after boiling the pulp containing the highest cellulose content. The fibers produced from the three types of rice straw were similar. Size of line diameter the fiber tends to decline, when using the concentration of sodium hydroxide solution was increased. When considering the effect of pulp produced, it was found that the optimum conditions for rice straw pulping were pulp boiled with a 1% concentration of sodium hydroxide solution and when comparing the pulp yield from the three types of rice straw, it was found that the Phon ngam 3 rice straw was more suitable for paper production than the Non rice straw and Thin Kaew rice straw, due to the highest pulp yield. When using wet pulp 20 30 40 and 50g to make paper sheets 25 cm x 25 cm, then the paper

was compressed by a compression machine with 2,500 pounds of pressure per this, temperature 150 degrees celsius for 5 minutes. It was found that the thickness and grammage of the paper were different according to the wet pulp used for making sheets, there was a statistically significant difference in the tensile properties of the paper at the 95% confidence level and was found that 50 g of paper had the highest tensile strength of 0.45 ± 0.04 N/mm^2. The improvement of paper properties by using 50g of wet pulp mixed 6% boiled tapioca starch and with 6% boiled rice flour the paper had a higher strength and found that 6% of rice straw, which was improved with boiled rice flour was pressed into the paper with the highest tensile strength.

Keywords : Pulp paper Rice straw Sodium hydroxide Grammage Tensile strength

MAEJO UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล ประธานกรรมการที่ปรึกษา พร้อมด้วยคณะกรรมการได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล อาจารย์ ดร.ธวัฒน์ สร้อยทอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา วงศ์แสนใหม่ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำ ตรวจสอบ ตรวจทาน ปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ในสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมแก่ผู้วิจัย รวมถึงบุคลากรเจ้าหน้าที่ของสาขาวิชาทุกท่านที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวก ดูแล และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ให้ถูกต้องตามระเบียบของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ รวมถึงให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ในงานวิจัยครั้งนี้

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้โครงการสร้างความเข้มแข็งให้แก่งานการศึกษาชั้นสูงระยะสอง (SSHEP II) กระทรวงศึกษาธิการและกกีฬา สปป.ลาว โดยได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาจาก ADB คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และมหาวิทะยาลัยสุพานุวง ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอน้อมระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยให้กำลังใจสนับสนุน และผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาจนสำเร็จตามความมุ่งหวังทุกประการ

Leulee Nortoualee

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ช

สารบัญ .... ซ

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญรูปภาพ .... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ 2

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4. ขอบเขตของการวิจัย 2

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4

2.1. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 4

2.2. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทย 5

2.3. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตข้าวใน สปป.ลาว 7

2.3.1. ข้าวหนอน 7

2.3.2. ข้าวถิ่นแก้ว 8

2.3.3. ข้าวโพนงาม 3 8

2.4. ประโยชน์จากฟางข้าว 8

2.5. ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว 9

2.6. ประวัติและความเป็นมาของกระดาษ 10

2.7. โครงสร้างของกระดาษ 11
2.7.1. องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย 11
2.7.2. องค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย 12
2.8. แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตเยื่อกระดาษ 12
2.8.1. พืชยืนต้น (wood) 12
2.8.2. พืชล้มลุก (no-wood) 13
2.9. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย 14
2.9.1. เซลลูโลส (cellulose) 14
2.9.2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 15
2.9.3. ลิกนิน (lignin) 15
2.10. แป้ง (starch) 16
2.10.1. การเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) ของแป้ง 19
2.10.2. ความหนืด 20
2.10.3. การเกิดรีโทรเกรเดชัน 20
2.11. การใช้แป้งในการผลิตกระดาษ 21
2.11.1. กระบวนการผลิตช่วงเปียก (wet end) 21
2.11.2. การฉาบผิวกระดาษ (surface sizing) 22
2.11.3. การเคลือบผิวกระดาษ (paper coating) 22
2.12. การผลิตเยื่อกระดาษทำมือ 22
2.12.1 การสกัดเยื่อกระดาษ 23
2.12.2. ด่างที่ใช้ในการต้มเยื่อ 23
2.13. การทำแผ่นกระดาษ 24
2.14. คุณสมบัติของกระดาษและการทดสอบ 25
2.14.1. สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (structural properties) 25

2.14.2. สมบัติเชิงกลของกระดาษ (mechanical properties) 26
2.14.3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ 27
2.14.4. สมบัติด้านการกีดกั้น และสมบัติด้านการต้านทานของกระดาษ 27
2.15. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
บทที่ 3 วิธีการทดลอง 33
3.1. วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ 33
3.1.1. วัตถุดิบและสารเคมี 33
3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องมือ 33
3.2. วิธีการทดลอง 34
3.2.1. หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าว 34
3.2.1.1. การหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวและเยื่อ 34
3.2.1.2. การเตรียมวัตถุดิบ 34
3.2.1.3. การต้มเยื่อกระดาษ 35
3.2.1.4. การทดสอบสมบัติของเยื่อ 36
3.2.1.4.1. การวิเคราะห์ลักษณะเส้นใย 36
3.2.1.4.2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเยื่อ 36
3.2.2. การทำแผ่นกระดาษ 37
3.2.2.1. การทดสอบสมบัติกระดาษ 38
3.2.3. การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว 40
3.2.3.1. การหาปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระดาษ 40
3.2.3.2. การผลิตแผ่นกระดาษปรับปรุงด้วยแป้ง 40
3.2.4. การวิเคราะห์ข้อมูล 40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 42
4.1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าว 42

4.1.1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ 42
4.1.2. ผลการศึกษาชนิดของฟางข้าวที่เหมาะสมต่อการผลิตเป็นกระดาษ 43
1. ผลผลิตเยื่อกระดาษ 43
2. เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจากฟางข้าวชนิดต่าง ๆ 44
4.1.3. ความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสม 45
4.1.4. ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษจากฟางข้าวโพนงาม 3................................ 46
4.2. ผลของการปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว 47
4.2.1. ผลการศึกษาหาปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติกระดาษฟางข้าว 47
4.2.2. ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า.. 48
4.2.2.1. ผลของสมบัติของแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า... 48
4.2.2.2. ผลของสมบัติของแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่อัดด้วยเครื่องอัด 49
4.2.2.3. เปรียบเทียบสมบัติแผ่นกระดาษฟางข้าวในด้านความต้านทานแรงดึงก่อน และหลังการปรับปรุงด้วยแป้งที่ไม่ผ่านการอัด และผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด 50
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.. 52
สรุปผล 52
1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากชนิดฟางข้าวที่ให้สมบัติของเยื่อและกระดาษ 52
2. การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว.. 52
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป... 54
บรรณานุกรม.. 55
ภาคผนวก.. 59
ประวัติผู้วิจัย.. 84

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของประเทศไทย 6

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบเยื่อใยของฟางต่างชนิด 9

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน... 14

ตารางที่ 4 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน 17

ตารางที่ 5 องคประกอบทางเคมีของแป้ง (ร้อยละ)... 18

ตารางที่ 6 ความแตกต่างระหว่างแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง 18

ตารางที่ 7 ลักษณะการ gelatinization ของแป้งชนิดต่าง ๆ... 19

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อน และหลังการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 42

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลลิตของเยื่อกระดาษจากฟงข้าวชนิดต่างๆที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.. 44

ตารางที่ 10 เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจากฟางข้าวชนิดต่างๆ ที่ต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.. 44

ตารางที่ 12 ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระดาษจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 46

ตารางที่ 13 ค่าความขุ่นของน้ำผ่านชุดกรองศุญญากาสที่วัดด้วยเครื่องวัดความขุ่น......................... 48

ตารางที่ 14 ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และความต้านแรงดึงของแผ่นกระดาษฟางข้าว 48

ตารางที่ 15 ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และความต้านแรงดึงของแผ่นกระดาษที่อัดด้วยเครื่องอัด 49

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ไม่ผ่านการอัดและผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด.. 50

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ข้าวหนอน 7

ภาพที่ 2 ข้าวถิ่นแก้ว 8

ภาพที่ 3 ข้าวโพนงาม 3 8

ภาพที่ 4 การทำปุ๋ยจากฟางข้าว 9

ภาพที่ 5 โครงสร้างของฟางข้าว 10

ภาพที่ 6 ไม้เนื้อแข็ง 13

ภาพที่ 7 ไม้เนื้ออ่อน (Spruce, Fir, Pine) 13

ภาพที่ 8 ฟางข้าวเหลือทิ้งทางการเกษตร 14

ภาพที่ 9 โครงสร้างของเซลลูโลส 15

ภาพที่ 10 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส 15

ภาพที่ 11 โครงสร้างของลิกนิน 16

ภาพที่ 12 โครงสร้างของอะไมโลส 16

ภาพที่ 13 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน 17

ภาพที่ 14 ชนิดฟางข้าวที่ใช้ในการต้มเยื่อกระดาษ 34

ภาพที่ 15 การต้มเยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้นต่าง ๆ 35

ภาพที่ 16 การล้างเยื่อและเยื่อกระดาษที่ผลิตจากฟางข้าว 36

ภาพที่ 17 วิเคราะห์เส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (OLYMPUS U-MSSP4 JAPAN) 36

ภาพที่ 18 การชั่งน้ำหนักเยื่อ และการปั่นเยื่อกระดาษ 37

ภาพที่ 19 การขึ้นแผ่นกระดาษ และการตากแผ่นกระดาษฟางข้าว 37

ภาพที่ 20 เครื่องอัดแผ่นกระดาษ 38

ภาพที่ 21 การชั่งน้ำหนักแผ่นกระดาษ 38

ภาพที่ 22 การวัดความหนาแผ่นกระดาษ 39

ภาพที่ 23 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระดาษ 39

ภาพที่ 24 ชุดกรองสุญญากาศ และเครื่องวัดความขุ่น 40

ภาพที่ 25 ขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าว 41

ภาพที่ 26 ค่าผลผลิตของเยื่อฟางข้าวชนิดต่างๆ ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ 43

ภาพที่ 27 ลักษณะของเยื่อกระดาษฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ 45

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สาธารณรัฐ ประชาธิปไตย ประชาชนลาว (สปป.ลาว) เป็นประเทศมีทั้งภูเขาสูง และพื้นราบ ด้วยภูมิประเทศ และ ภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่การทำการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกข้าว จากการสรุปตีราคาการจัดตั้งปฏิบัติแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ 5 ปี ครั้งที่ 7 (2011-2015) ของ สปป.ลาว นั้นพบว่า ในปี 2015 นั้นประเทศมีพื้นที่ปลูกข้าว ประมาณ 948,535 เฮกตาร์ ได้ผลผลิตข้าว 4.1 ล้านตัน โดยแบ่งเป็นการปลูกข้าวนาปี 755,950 เฮกตาร์ ผลผลิตได้ 3.36 ล้านตัน นาปรัง 101,252 เฮกตาร์ ผลผลิตได้ 520,000 ตัน และ ข้าวไร่ มี 91,060 เฮกตาร์ ผลผลิตได้ 224,360 ตัน ดังนั้น พบว่า มีฟางข้าวเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมเฉลี่ยปีละประมาณ 5.7 ล้านตัน โดยเทียบกับข้อมูลของประเทศเวียดนามที่มีฟางข้าวเหลือทิ้งประมาณ 6 ตันต่อเฮกตาร์ (กระทรวงแผนการและการลงทุน, 2559)

ฟางข้าวเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายซึ่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย 99:1 ประกอบด้วยปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เฉลี่ย 0.51, 1.55 และ 0.14% ตามลำดับ มีปริมาณธาตุอาหารรองได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์เฉลี่ย 0.47, 0.25 และ 0.17% ตามลำดับ และในพื้นที่ปลูกข้าว 1 ไร่ มีปริมาณฟางข้าวและตอซังโดยเฉลี่ยปีละ 650 กิโลกรัม (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2553) ซึ่งปัจจุบันฟางข้าวที่ได้หลังจากการปลูกข้าวนั้นส่วนใหญ่เกษตรกรใน สปป.ลาว ยังไม่ได้มีวิธีการจัดการที่ดีและเหมาะสม โดยบางส่วนถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์ บางส่วนใช้ปกคลุมหน้าดินสำหรับการเพาะปลูก แต่โดยทั่วไปเกษตรกรจะเลือกใช้วิธีการเผาทำลายทิ้งเพื่อเตรียมพื้นที่ปลูกสำหรับฤดูต่อไป สำหรับการเผานั้นเป็นการทำลายโครงสร้างของดิน ธาตุอาหารในดิน จุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ในดิน ทำให้ดินแห้งแล้งมากขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และยิ่งร้ายแรงไปกว่านั้น การเผาฟางข้าวในทุ่งโล่งทำให้เกิดมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศ และก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยในระหว่างการเผาไหม้คาร์บอนจะถูกปล่อยสู่อากาศในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ปี 2553 ประเทศไทยมีฟางข้าว 23.19 ล้านตัน มีฟางข้าวที่ถูกเผา 10.41 ล้านตัน ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในฟางข้าวพบว่า มีจำนวน 9.32 ± 3.37 ล้านตัน และคาร์บอนในฟางข้าวที่ถูกเผามีถึง 4.19 ± 1.73 ล้านตัน คาร์บอนที่เหลืออยู่ในเถ้าที่จะคืนสู่พื้นดิน มีถึง 358 ± 140 ตัน และส่วนที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ มีถึง 3.83 ± 1.59 ล้านตัน (Kanokkanjana และ Garivait, 2013)

เพราะฉะนั้น การนำฟางข้าวที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า โดยนำมาผลิตเป็นกระดาษนั้นนอกจากเป็นการนำฟางข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังเป็นอีกทางหนึ่งที่ช่วยลดมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศรวมทั้งลดปัญหาการตัดไม้เพื่อนำมาผลิตเยื่อกระดาษทดแทนเยื่อไม้ โดยเฉพาะปอสาที่ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษได้ด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิด ของประเทศลาว เปรียบเทียบสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้จากฟางข้าวชนิดต่างๆ และคัดเลือกชนิดของฟางข้าวที่มีความเหมาะสมเพื่อไปผลิตเป็นกระดาษ และการปรับปรุงสมบัติของกระดาษฟางข้าวให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นเพื่อจะพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ต่อไปในอนาคต

1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิด เพื่อใช้ในการผลิตเป็นกระดาษ
2. เปรียบเทียบสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้จากฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด เพื่อคัดเลือกเยื่อที่มีความเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นกระดาษ
3. เพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าวให้มีคุณภาพเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มมูลค่าฟางข้าวและลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
2. ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวชนิดต่างๆ
3. ได้ข้อมูลสมบัติของเยื่อที่ผลิตจากฟางข้าว 3 ชนิด คือ ข้าวหนอน ข้าวถิ่นแก้ว และข้าวโพนงาม 3 และกระดาษที่ผลิตจากชนิดฟางข้าวที่เหมาะสม
4. ได้ข้อมูลปริมาณแป้งเพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว ได้กระดาษฟางข้าวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นบรรจุภัณฑ์

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนากระดาษที่ได้จากฟางข้าว โดยฟางข้าวที่นำมาศึกษาเป็นฟางข้าวที่นำมาจากจังหวัดหลวงพระบาง สปป.ลาว มีจำนวน 3 ชนิดได้แก่ ข้าวหนอน ข้าวถิ่นแก้ว และข้าวโพนงาม 3

2. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าว 3 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้น โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นน้ำต้มเยื่อและใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 โดย

ปริมาตร แล้วคำนวณผลผลิตของเยื่อที่ได้ (%yield) และปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังการปรับสภาพ

3. นำเยื่อชนิดฟางข้าวที่ดีที่สุดไปขึ้นแผ่นกระดาษ ด้วยเฟรม ขนาด 25x25 เซนติเมตร โดยใช้ 20, 30, 40 และ 50 กรัม ของน้ำหนักเยื่อเปียก จากนั้นนำแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ไปตากแห้งแล้วนำแผ่นกระดาษไปอัดด้วยเครื่องอัด แล้วทำการทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ เพื่อหาสมบัติของแผ่นกระดาษที่ดี และเหมาะสมต่อการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์

4. การปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ โดยใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ไปทำการทดสอบสมบัติของกระดาษ

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

สปป.ลาว เป็นประเทศเกษตรกรร มีการปลูกกข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ไม้อุตสาหกรรม กาแฟ เลี้ยงสัตว์ และอื่นๆ ซึ่งจะมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นปริมาณมาก แต่อย่างไรก็ตามการนำมาใช้ประโยชน์จะมีค่อนข้างน้อย ซึ่งแม้ว่าในบางพื้นที่ปริมาณของชีวมวลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีปริมาณมาก แต่เนื่องด้วยอุปสรรคจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงและยังขาดระบบการคมนาคมขนส่งที่ดี รวมถึงกระกระจายตัวของชีวมวลตามสภาพภูมิประเทศที่ยากต่อการรวบรวม ทำให้การศึกษาและการนำมาใช้ประโยชน์มีน้อย จากการศึกษาของโครงการร่วมมือด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ระหว่างไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน (2547) ได้ทำการสำรวจภาพโดยรวมของแต่ละแขวงในพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งจากการสำรวจของอุตสาหกรรมไม้จำนวน 6 แห่ง ใน 3 แขวง โรงสีข้าว จำนวน 4 แห่ง ใน 2 แขวง โรงงานกาแฟ 1 แห่ง ฟาร์มกาแฟ 1 แห่ง ข้าวโพด 1 แห่ง และขยะ 2 ชุมชนเมือง โดยมีรายละเอียดการสำรวจและการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

โรงงานอุตสาหกรรมไม้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็น 75.83% ของปริมาณไม้ เศษวัสดุที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต คือ เศษไม้ และขี้เลื่อยปริมาณของเศษไม้ที่เกิดขึ้นคิดเป็น 19.17% และขี้เลื่อยมี 5% โดยในปัจจุบันเศษไม้ส่วนหนึ่งจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในการอบไม้ และบางส่วนมีการขายให้แก่ชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงเพื่อนำไปใช้ในการหุงต้ม ดังนั้นส่วนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เลย คือ ขี้เลื่อย มีปริมาณ 481,340 ตันต่อปี

โรงสีข้าว จากการสำรวจข้อมูลของโรงสีข้าวทั้ง 4 แห่ง โดยเป็นโรงสีข้าวในแขวงสะหวันนะเขต 2 แห่ง และในแขวงสาละวัน 2 แห่ง พบว่า ปริมาณแกลบ คิดเป็น 21.55 % ของปริมาณข้าวเปลือก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณแกลบทั้งหมดในประเทศและในแขวงต่างๆได้ จากข้อมูลการผลิตข้าวรวมทั้งประเทศในปี 2004 มีข้าวเปลือก 2,529,000 ตัน คิดเป็นแกลบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวทั้งหมด 545,000 ตัน

ฟาร์มกาแฟ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ฟาร์มกาแฟ 1 แห่งและโรงงานกาแฟ 1 แห่งในแขวงจำปาสัก จากการสำรวจพบว่า ในโรงงานกาแฟมีเศษวัสดุที่เหลือจากกระบวนการสีเม็ดกาแฟ ซึ่งมีอยู่ในรูปของเปลือกกาแฟ คิดเป็นปริมาณ 12% ของเม็ดกาแฟที่สีได้ หรือ คิดเป็นปริมาณ 2,000 ตันต่อปี ซึ่งโรงงานดังกล่าวเปิดดำเนินงานเพียง 3 เดือนต่อปี โดยเศษวัสดุดังกล่าวทางโรงงานได้นำไปใส่ในไร่สวนเพื่อเป็นปุ๋ย

ขยะ การสำรวจและรวบรวมข้อมูลในพื้นที่นครหลวงเวียงจันทน์ และแขวงจำปาสัก โดยทำการเก็บข้อมูลที่แหล่งรับซื้อขยะ ซึ่งเป็นของเอกชน และแหล่งฝังกลบ (landfill) ซึ่งเป็นของภาครัฐ จากการสำรวจ เก็บข้อมูลและการประเมินจากจำนวนประชากรในเขตนครหลวงเวียงจันทน์ ปริมาณของขยะที่จัดเก็บได้มีประมาณ 180 ตัน ซึ่งคิดเป็น 36.97% โดยแยกเป็นขยะอินทรีย์ ประ มาณ 30% กระดาษ 6% พลาสติก 13% โลหะ 3% และอื่นๆ 48% เมื่อประเมินปริมาณขยะในเขตนครหลวงเวียงจันทน์ที่เกิดขึ้นทั้งปี 177,693 ตัน จะมีปริมาณขยะที่สามารถจัดเก็บได้ทั้งหมด 65,693 ตัน แยกเป็นขยะอินทรีย์ 19,708 ตัน ซึ่งขยะอินทรีย์เหล่านี้สามารถนำมาเปลี่ยนรูปเพื่อเป็นแหล่งพลังงานได้ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ โดยในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้งานได้มากมาย เช่น การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะแบบฝังกลบ หรือการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์โดยใช้ถังหมัก

ซังข้าวโพด แขวงอุดมไซมีปริมาณผลผลิตข้าวโพดมากเป็นอันดับสอง ของประเทศรองจากแขวงไชยบุรี ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่าแขวงไชยบุรีการเพาะปลูกในพื้นที่ขนาดเล็กและกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ยากแก่สำรวจและการจัดเก็บรวบรวม ในขณะที่แขวงอุดมไซมีพื้นที่การเพาะปลูกขนาดใหญ่ การเพาะปลูกไม่มีการกระจายตัวมากนัก ซึ่งอยู่ในแขวงอุดมไซมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดขนาดใหญ่ จากการสำรวจพบว่าผลผลิตและเศษวัสดุเหลือจากไร่ข้าวโพด เมล็ดข้าวโพดมีปริมาณ 80% ซังข้าวโพดมีปริมาณ 20 % จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพบว่ามีปริมาณซังข้าวโพดทั่วประเทศปริมาณ 13,500 ตัน/ปี โดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์เลย

ฟางข้าว โดยภาพรวมแล้วในสปป.ลาว มีการนำมาใช้ เช่น บางส่วนถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์ บางส่วนใช้ทำปุ๋ย ใช้ปกคลุมหน้าดินสำหรับการเพาะปลูก รวมทั้งการนำมาใช้ในการเพาะเห็ด

2.2. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทย

วัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศในแต่ละปีมีเป็นจำนวนมากโดยแปรผัน และขึ้น อยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของประเทศไทยดังตารางที่ 1 โดยการใช้งานและการแปรรูปขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุแต่ละชนิดและการใช้ประโยชน์วัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรเบื้องต้นมีดังนี้

ฟางข้าว คือลำต้นที่เหลือทิ้งหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวมีการใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารสัตว์ ใช้คลุมดิน เพาะเห็ด เป็นต้น แต่ฟางข้าวยังมีจำนวนมากที่ไม่ได้นำมาใช้ โดยประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้ง

ใบอ้อยและยอดอ้อย ถูกตัดออกจากลำต้นอ้อยก่อนส่งไปโรงงาน ดังนั้น ใบและยอดอ้อยจะกระจายไปทั่วไร่อ้อย ชาวไร่อ้อยใช้วิธีการเผาแทนการตัด จึงทำให้ไม่มีใบอ้อยและยอดอ้อยหลงเหลือ

อยู่ ยอดอ้อยสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ ใบอ้อยและยอดอ้อยส่วนมากจะถูกเผาทิ้งในไร่ ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์

ซังข้าวโพดและลำต้น ซังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเม็ดมาใช้งาน สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงและนำไปเลี้ยงสัตว์ มีส่วนที่ไม่ได้นำไปใช้งานจะถูกไถฝังกลบในไร่

กากปาล์ม เป็นเศษเหลือจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากทะลายปาล์มสด มี 3 ส่วน คือ ไฟเบอร์มีลักษณะเป็นขุย กะลาคล้ายกะลามะพร้าวแต่มีขนาดเล็กกว่า และทะลายปาล์มเปล่า มีโรงงานนำเฉพาะผลปาล์มสดม่รวมทะลายมาสกัด เศษที่ได้จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ ไฟเบอร์นำมาเป็นเชื้อเพลิงในขบวนการผลิตน้ำมันดิบ จึงมีเหลือไม่มาก ทะลายเปล่านำไปเพาะเห็ด (กัญญา, 2555)

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของประเทศไทย

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ประเภทวัสดุ	ปริมาณเหลือใช้ (ตัน)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794.31
		ยอดและใบ	13,439,727.21
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598.90
		ฟางข้าว	25,646,547.96
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/เปลือก/ใบ	170,383.17
ข้าวโพด	4,616,119	ซัง	584,539.15
		ลำต้น	2,758,777.36
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868.34
		ใย	162,970.06
		กะลา	38,959.04
		ก้าน	2,203,740
มันสำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19
		เหง้า	1,834,466.88
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628,990.82
		กาบ	464,250.95
		กะลา	128,936.58
รวม	145,853,073		59,539,905.20

ที่มา: กัญญา (2555)

MAEJO UNIVERSITY

2.3. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตข้าวใน สปป.ลาว

สปป.ลาวหรือประเทศลาวเป็นประเทศที่ประชากรประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ประกอบอาชีพเกษตรกร และข้าวถือเป็นเป็นพืชอาหารหลักของประชาชน การปลูกข้าวเป็นการปลูกในระดับครัวเรือนและมีการแพร่กระจายไปทั่วประเทศในระดับสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 100-1,000 เมตร โดยประเทศลาวมีเนื้อที่ปลูกข้าวทั้งหมดทั่วประเทศ ในปี 2010 ประมาณ 865,165 เฮกตาร์ แบ่งออกเป็นข้าวนาปี 77.4% ข้าวนาปรัง14.3% และข้าวไร่ 8.3% ประมาณ 85% ของเนื้อที่ในการปลูกข้าวอยู่ในภาคกลางและภาคใต้ ส่วนภาคเหนือนั้นมีเพียงเล็กน้อย โดยอยู่ตามหว่างภูเขาและนาบันได ผลผลิตข้าวทั้งหมดมีประมาณ 3.3 ล้านตัน แบ่งเป็น ข้าวนาปี 78% ข้าวนาปรัง 15% และข้าวไร่ 7% (พูมี และคณะ, 2556)

สายพันธุ์ข้าวใน สปป.ลาว มีทั้งหมด 251 สายพันธุ์ โดย 249 สายพันธุ์เป็นสายพันธุ์ของลาว และ 2 สายพันธุ์เป็นสายพันธุ์ข้าวญี่ปุ่น ในจำนวน 249 สายพันธุ์ข้าวลาว มี 202 สายพันธุ์เป็นข้าวนา และ 47 สายพันธุ์เป็นข้าวไร่ ในข้าวนา 200 สายพันธุ์ เป็นข้าวเหนียวและ 2 สายพันธุ์เป็นข้าวจ้าว ส่วนใน 47 สายพันธุ์ข้าวไร่ เป็นข้าวเหนียว 43 สายพันธุ์และข้าวจ้าว 4 สายพันธุ์ (ใจ และคณะ, 2555)

2.3.1. ข้าวหนอน

ข้าวหนอน (ภาพที่ 1) เป็นข้าวไร่ปะเภทข้าวเหนียวมีความไวต่อช่วงแสง อายุ 140-145 วัน เป็นข้าวกลาง ลำต้นสูงปานกลาง 105-140 เซนติเมตร ใบเป็นสีเขียว แผ่นใบมีขน สามารถให้ผลผลิต 267-515 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (ศูนย์ค้นคว้ากสิกรรมเขตภูดอย, 2557)

ภาพที่ 1 ข้าวหนอน
ที่มา: (ศูนย์ค้นคว้ากสิกรรมเขตภูดอย, 2557)

2.3.2. ข้าวถิ่นแก้ว

ข้าวถิ่นแก้ว (ภาพที่ 2) เป็นข้าวนาประเภทข้าวเหนียวเป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง อายุ 135-140 วัน สามารถปลูกได้ทั้งนาปี และนาปรัง ลำต้นสูง 90-120 เซนติเมตร ความสามารถแตกกอ และความแข็งแรงลำต้นปานกลาง ให้ผลผลิตได้ 4-7 ตันต่อเฮกตาร์ (กองสหวาด และสหวัด, 2555)

ภาพที่ 2 ข้าวถิ่นแก้ว

ที่มา: (กองสหวาด และสหวัด, 2555)

2.3.3. ข้าวโพนงาม 3

ข้าวโพนงาม 3 (ภาพที่ 3) เป็นข้าวนาประเภทข้าวเหนียว มีอายุปานกลาง 130-135 วัน ลำต้นสูง 100-110 เซนติเมตร ความสามารถให้ผลผลิตในฤดูนาปรัง 4-5 ตันต่อเฮกตาร์ และนาปี 3.5-4 ตันต่อเฮกตาร์ (โครงการค้นคว้าข้าวแห่งชาติ โครงการร่วมมือลาว-อีรี, 2548)

ภาพที่ 3 ข้าวโพนงาม 3

ที่มา: (โครงการค้นคว้าข้าวแห่งชาติ โครงการร่วมมือลาว-อีรี, 2548)

2.4. ประโยชน์จากฟางข้าว

ฟางข้าวคือส่วนที่เหลือทิ้งหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าว ซึ่งมีจำนวนมาก มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้ 2 ด้านหลัก ๆ ได้แก่

1) ใช้ในด้านการเกษตร เช่น ใช้ทำปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยอินทรีย์ (ภาพที่ 4) นำไปปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน ทำให้โครงสร้างเม็ดดินร่วนซุยเหมาะแก่การ

เพาะปลูก (ธีระพงษ์, 2558) นำไปใช้ปกคลุมหน้าดินเพาะปลูก รวมทั้งนำไปใช้ในการเพาะเห็ด และนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์

2) ใช้ในด้านอุตสาหกรรม เช่น สามารถนำไปอัดแท่งทำเชื้อเพลิงซึ่งสามารถให้ค่าความร้อนได้ 4,343.2 แคลอรี่ต่อกรัม โดยทดแทนถ่านหุ้งต้มได้ดี ใช้เป็นวัตถุดิบชนิดเส้นใยสั้นในการผลิตเยื่อและกระดาษ รวมทั้งสามารถนำมาสานทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ต่างๆ เช่น กระเป๋าถือ รองเท้าแตะ หมวก ตระกร้า และใช้สานเป็นภาชนะต่าง ๆ (เจษฎา, 2535) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า เปอร์เซ็นการจุดติดไฟสูงสุดเท่ากับ 93% (พลกฤษณ์, 2557)

ภาพที่ 4 การทำปุ๋ยจากฟางข้าว
ที่มา: (ธีระพงษ์, 2558)

2.5. ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว

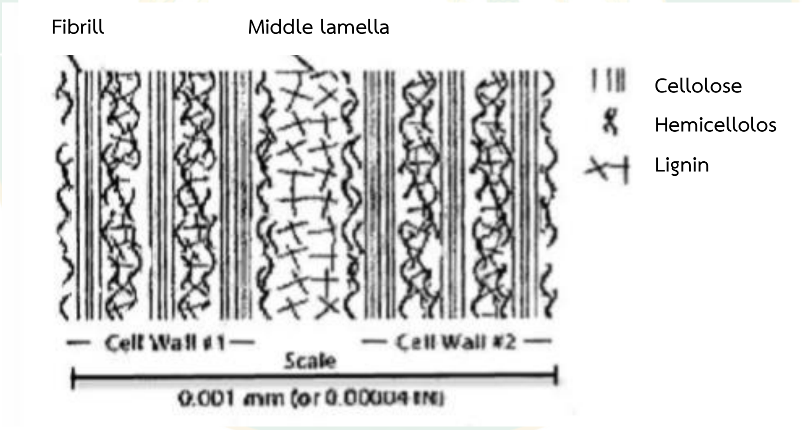
ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบเยื่อใยของฟางต่างชนิด

ชนิดของฟาง	ปริมาณสาร (%)			
	เซลลูโลส (cellulose)	เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)	ลิกนิน (lignin)	ซิลิกา (silica)
ฟางข้าว	33	26	7	13
แกลบ	39	14	11	22
ฟางข้าวบาร์เลย์	44	22	7	3
ฟางข้าวสาลี	39	36	10	6
ฟางข้าวโอ๊ต	41	16	11	3
ตอซังฟางข้าว	31	30	11	3
ชานอ้อย	40	29	13	2

ที่มา: (อุษารัตน์, 2557)

ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และ ซิลิกา (silica) ซึ่งพบว่าในฟางข้าวมีเซลลูโลสในปริมาณสูงถึง 33 – 44% โดยขึ้นอยู่กับชนิดของฟางข้าว ดังตารางที่ 2 และโครงสร้างของฟางข้าวแสดงในภาพที่ 5

ฟางข้าวมีปริมาณ cellulose และ lignin ต่ำกว่าเนื้อไม้ แต่ปริมาณ hemicelluloses สูงกว่า ดังนั้นเมื่อผลิตเป็นเยื่อกระดาษแล้วจะทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงกดอัดต่ำกว่าเนื้อไม้ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของฟางข้าวมีผนังเซลล์ 80-90% ภายในมีช่องว่างเรียกว่า lumen องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย silica 5-10%, extractives 5-15% โดยส่วนมากเป็นสารที่ละลายน้ำ ในฟางข้าวโดยลิกนินจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเซลล์แต่ละเซลล์ ทำให้เกิดเนื้อเยื่อ และเชื่อมระหว่างเส้นใย (fiber) ทำให้เกิดผนังเซลล์ ลิกนินมีโมเลกุลซับซ้อน รูปร่างไม่แน่นอน ขั้นแรกลิกนินทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์ข้างเคียงในเนื้อเยื่อชั้น middlelamella มีโครงสร้างพันธะที่แข็งแรงเกิดเป็นเนื้อเยื่อ จากนั้นกระจายตัวเข้าสู่ผนังเซลล์ และทะลุผ่าน hemicellulose แล้วสร้างพันธะยึดกับเส้นใยทำให้เกิดความแข็งแรง เส้นใย cellulose จะเปรียบ เสมือนเข็มเล็กๆที่เปียกน้ำถ้าหากไม่มีลิกนิน (จารุกร, 2547)



Length section through Walls of Adjacent Cells

ภาพที่ 5 โครงสร้างของฟางข้าว

ที่มา: (พินิจกานต์ และวรรณิษา, 2555)

2.6. ประวัติและความเป็นมาของกระดาษ

กระดาษได้ถูกนำมาใช้งานมาเป็นเวลานานตั้งแต่ก่อนคริสตกาล โดยชาวอิยิปต์ได้บันทึกเรื่องราวของแผ่นวัสดุทำจากพืชที่เรียกว่า Papyrus ซึ่งลักษณะเนื้อเยื่อที่ใช้เขียนเป็นเยื่อบางๆ ของกกชนิดหนึ่ง ในปี ค.ศ. 105 ชาวจีนชื่อ Ts Ailun เป็นบุคคลแรกที่ค้นพบวิธีทำกระดาษ โดยได้นำเปลือกต้น Mulberry ทำเป็นชิ้นเล็กๆ มาผสมกับเศษผ้านำไปบดหรือตีในน้ำจนกระจายตัวเป็นเส้นใย

แล้วนำตะแกรงที่ทำด้วยไม้ไผ่ช้อนเส้นใยที่แขวนลอยนั้นแล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้งจะได้แผ่นกระดาษ การใช้กระดาษในสมัยก่อนน้อย ซึ่งความต้องการกระดาษเพิ่มขึ้นเมื่อ Johann Gutenberg นักประดิษฐ์ชาวเยอรมัน ประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ได้สำเร็จ ทำให้การพิมพ์สะดวก รวดเร็ว ความต้องการใช้กระดาษจึงสูงขึ้น มีการค้นคว้าวิธีการผลิตเยื่อกระดาษทั้งกระบวนการผลิตแบบเชิงกล (mechanical process) และแบบเคมี (chemical process) ขึ้นมา ต่อมาความเจริญในด้านประดิษฐ์กรรมนี้ได้แพร่หลายจนมาเป็นเยื่อกระดาษที่ใช้กันอย่างมากในทุกวันนี้

กระดาษ (paper) คือ แผ่นวัสดุบางที่ทำได้จากเส้นใยผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ ตั้งแต่หนึ่งหรือหลายชนิดขึ้นไป สารเติมแต่งนี้อาจจะเติมก่อน หรือหลังการขึ้นแผ่นก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของกระดาษที่ต้องการ โดยกระดาษทั่วไปจะมีน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ระดับสูงกว่า 35-225 กรัมต่อตารางเมตร และกระดาษที่ผลิตระดับสูงกว่า 225 กรัมต่อตารางเมตรขึ้นไปนั้นถือว่าเป็นกระดาษแข็ง (ชยาภาส, 2549)

2.7. โครงสร้างของกระดาษ

กระดาษประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นเส้นใย ถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักและส่วนที่ไม่เป็นเส้นใย

2.7.1. องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย

กระดาษยึดตัวเป็นแผ่นได้เกิดจากเส้นใยเป็นจำนวนมากสานกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยทั่วไปเป็นเส้นใยจากธรรมชาติ คือ จากพืช อาจมีการใช้เส้นใยจากสัตว์หรือจากแร่ก็ได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้เส้นใยสังเคราะห์ เช่น พวกพอลิอาไมด์ (polyamide) ที่มาสามารถใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ

เส้นใยจากพืชที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ ที่ทำจากไม้เนื้ออ่อน เช่น ต้นสน ต้นยูคาลิปตัส ซึ่งมีเส้นใยยาว กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงและเหนียว มีการนำไม้เนื้อแข็งจำพวก ต้นโอ๊ก ต้นเมเปิล มาใช้ทำเส้นใยแต่จะได้เส้นใยสั้นกว่า แต่ทำให้ผิวกระดาษเรียบและทึบแสงมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีพืชล้มลุก เช่น ต้นกก ปอกระเจา อ้อย ฝ้าย นำมาใช้ทำเยื่อกระดาษด้วย เส้นใยจะประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) ที่เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาเรียงต่อกัน กับเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลของกลูโคสและน้ำตาลอื่น ๆ เช่น แมนโนส (mannose) ฟูโคส (fucose) ไซโลส (xylose) มาต่อกัน เส้นใยยังมีส่วนที่เป็นลิกนิน (lignin) โดยทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยให้อยู่ด้วยกัน ซึ่งในขบวนการผลิตกระดาษ ลิกนินจะถูกขจัดออกจากเยื่อกระดาษ ถ้ามีลิกนินเหลืออยู่ในกระดาษ เมื่อได้รับแสงจะทำให้กระดาษเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

2.7.2. องค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย

องค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยนั้นจะเป็นพวกสารเติมแต่งหรือแอดดิทีฟ (additives) ที่เติมเข้าไประหว่างการผลิตกระดาษเพื่อช่วยทำให้กระดาษที่ได้มีคุณสมบัติเหมาะกับความต้องการใช้งานให้ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสารเติมแต่งที่ใช้กันมากมีดังนี้

2.7.2.1. สารเติม (filler) ใช้เพื่อให้กระดาษมีความขาว เรียบ และทึบแสงมากขึ้น กระดาษรับหมึกดีขึ้น ลดการซึมผ่านของหมึกพิมพ์ ซึ่งสารที่ใช้เติมเข้าไป มีคือ ปูนขาว ดินเหนียว ไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น สารเหล่านี้ยังช่วยทำให้น้ำหนักกระดาษมีมากขึ้น

2.7.2.2. สารยึดติด (adhesive) คือ สารที่ช่วยให้เส้นใยและส่วนผสมอื่น ๆ ยึดติดกันได้ดี และอีกทั้งช่วยให้ผิวหน้ายึดติดกับเนื้อกระดาษ สารยึดติดได้จากสารที่ทำมาจากธรรมชาติ เช่น แป้งมัน แป้งข้าวโพด โปรตีนที่มีอยู่ในนม และสารที่สังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ สารจำพวกโพลิไวนิล (polyvinyl) อาคริลิก (acrylic) เป็นต้น

2.7.2.3. สารกันซึม (sizing agent) เป็นสารที่ใช้เติมลงในน้ำเยื่อเพื่อให้สามารถกันการซึมของของเหลวเข้าไปในเนื้อกระดาษ สารกันซึมที่ใช้นั้นมีทั้งสารที่ทำจากธรรมชาติและสารที่สังเคราะห์ขึ้น

2.7.2.4. สารเพิ่มความแข็งแรงของผิว (surface sizing) คือ สารที่ถูกเคลือบบนผิวกระดาษในขั้นตอนการผลิตกระดาษที่เป็นแผ่นแล้ว เพื่อช่วยทำให้เส้นใยที่ผิวมีการยึดเกาะกับเส้นใยชั้นถัดลงไปได้ดีขึ้น ทำให้ผิวของกระดาษมีความแข็งแรงทนต่อการขูดขีด แรงกดทะลุ แรงดึง ซึ่งสารเพิ่มความแข็งแรงของผิวที่ใช้กัน ได้แก่ แป้งอย่างละเอียด (starch) (งามทิพย์, 2557; สมหวัง, 2546)

2.8. แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตเยื่อกระดาษ

เส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษอาจเป็นเส้นใยสัตว์ เส้นใยพืช เส้นใยแร่ หรือเส้นใยสังเคราะห์ก็ได้ อย่างไรก็ตามเส้นใยพืชซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในการนำมาทำเยื่อกระดาษ (paper pulp) พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษได้ ซึ่งสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาของพืชออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ เช่น พืชยืนต้น (wood) และ พืชล้มลุก (no-wood) (ธีระ, 2539)

2.8.1. พืชยืนต้น (wood)

แหล่งเส้นใยแบ่งตามขนาดความยาวของเส้นใยได้ 2 ประเภท คือ

1. ไม้เนื้อแข็ง (hard wood) เป็นไม้พืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ โดยทั่วไปมีใบกว้าง เช่น ยูคาลิปตัส (eucalyptus) เบิร์ช (birch) และ ใบไม้กว้างชนิดต่างๆ ยกเว้นไม้บางชนิดในเขตอบอุ่น เช่น สนทะเล และสนประดิพัทธ์ เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งนี้เป็นเยื่อใยสั้น ซึ่งมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

ภาพที่ 6 ไม้เนื้อแข็ง

ที่มา: (สำนักวิจัยพัฒนาการจัดการป่าไม้เศรษฐกิจอย่างยั่งยืน และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, 2560)

2. ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) ซึ่งเป็นไม้พืชยืนต้นจำพวกไม่ผลัดใบ โดยทั่วไปมีใบเป็นรูปเข็ม เช่น พวกต้นสนสปรูซ (Spruce) ไพน์ (Pine) และเฟอ (Fir) ในไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบและสนสามใบ ซึ่งเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนจะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-5 มิลลิเมตร และเยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนเรียกว่า เยื่อใยยาว

ภาพที่ 7 ไม้เนื้ออ่อน (Spruce, Fir, Pine)

ที่มา: (วนิดา, 2551)

2.8.2. พืชล้มลุก (no-wood)

แหล่งเส้นใยที่ได้จากพืชล้มลุก สามารถแยกย่อยได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย

2) พืชที่ปลูกขึ้นหรือเกิดขึ้นเอง เช่น ผักตบชวา ต้นไผ่ ต้นหญ้าขจรจบ

3) เส้นใยจากพืชผลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมีคือ จากเปลือกและต้น เช่น ปอสา และจากใบคือ สับปะรด

ภาพที่ 8 ฟางข้าวเหลือทิ้งทางการเกษตร

2.9. องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชมีปริมาณแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน

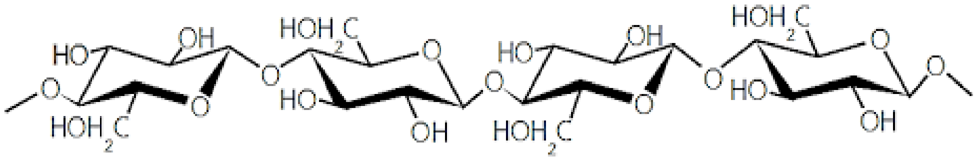
องค์ประกอบ	ไม้เนื้อแข็ง	ไม้เนื้ออ่อน
เซลลูโลส	40-50	40-45
ลิกนิน	20-25	25-30
เฮมิเซลลูโลส	25-35	25-30
กลูโคโนไซเลน (Glucoronocylan)	มาก	น้อย
กลูโรโนอะราบิโนไซเลน (Glucoronoarabicylan)	น้อยมาก	น้อย-ปานกลาง
กลูโคเมนเนน (Glucomannan)	น้อย	มาก
กาแลคโดกลูโคเมนเนน (Galacoglucomannan)	น้อยมาก	น้อย-ปานกลาง
อะราบิโนกาแลคแรน (Arabinogalaclan)	น้อย	น้อยมาก

ที่มา: (งามทิพย์, 2557)

2.9.1. เซลลูโลส (cellulose)

เป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภท polysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของ เบต้า-ดี-กลู โคไพราโนส (β-D-Glucopyranose) เชื่อมต่อด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β-1,4-glycosidic bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (glucan) มีความยาวตามธรรมชาติ

ประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะ ไฮโดรเจน มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปและสารละลายต่างๆ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) กับกรดได้ และที่สำคัญคือ โครงสร้างเป็นไปได้ทั้งเรียงตัวเป็นระเบียบ (crystalline) และแบบไม่เป็นระเบียบ (amorphous) รวมกันในสัดส่วนต่างๆ กันซึ่งมีผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติในด้านการดูดซึม (absorption) ยืดหยุ่น (strees-strain) และการพองตัว (swelling) เป็นต้น (รัชพล, 2558; สุจยา และคณะ, 2554) โครงสร้างของเซลลูโลส แสดงในภาพที่ 9

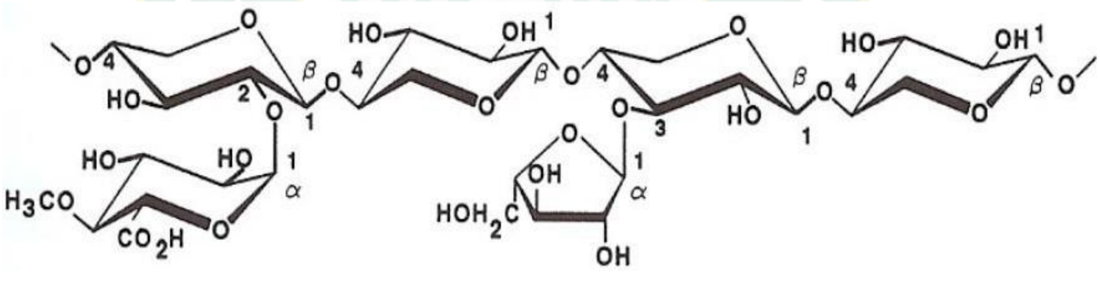


ภาพที่ 9 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: (Fan, *et al.*, 1987)

2.9.2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เป็นสารคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นระเบียบ ดังนั้นจึงดูดซึมน้ำได้ดี มีผลช่วยให้เส้นใยพองตัวได้รวดเร็ว ง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยให้เส้นใยมีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนั้นยังสามารถทำปฏิกิริยาได้ในสารละลายด่าง (สุจยา และคณะ, 2554) โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส แสดงในภาพที่ 10



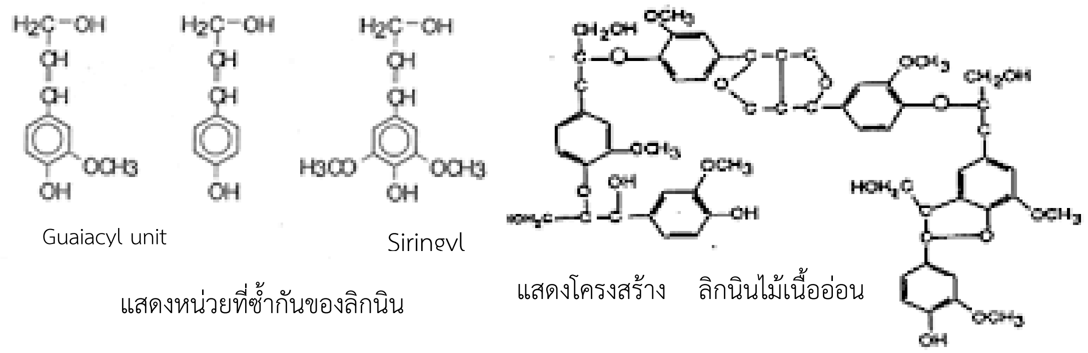
ภาพที่ 10 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา: (Fan, *et al.*, 1987)

2.9.3. ลิกนิน (lignin)

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่สามารถละลายน้ำ ไม่มีสมบัติในการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นพืชที่มีลิกนินมากจึง

มีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยอินไซม์ลิกเนส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรากไม้แต่ละชนิด (สุจยา และคณะ, 2554) ดังแสดงในภาพที่ 9



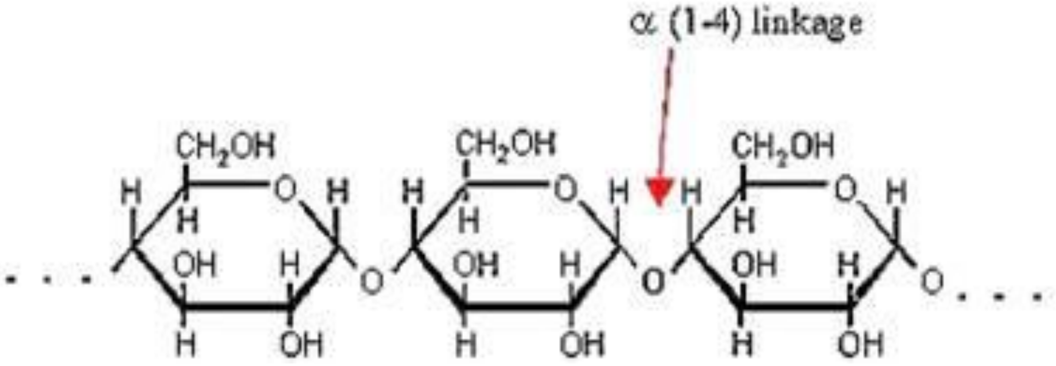
ภาพที่ 11 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา: (ริกาญจน์, มปป)

2.10. แป้ง (starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรท ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีสูตรทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป โมเลกุลแป้งประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) (อมรรัตน์, 2534)

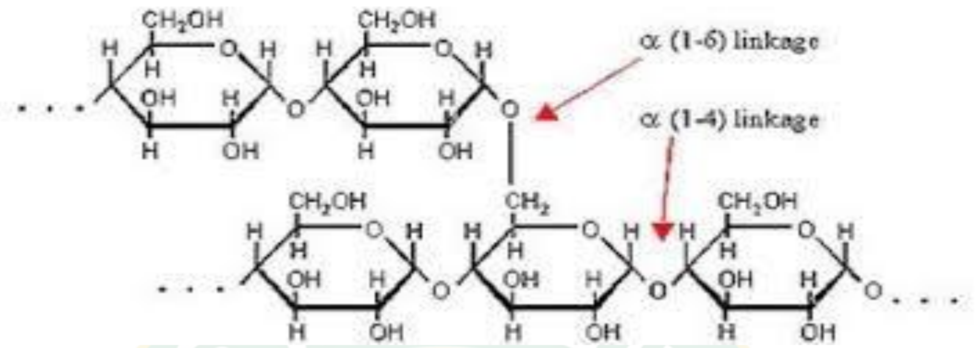
- อะไมโลส (amylose) เป็นโพลิเมอร์แบบสายตรงที่ประกอบมีหน่วยกลูโคสประมาณ 200-2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วย α-D-(1, 4) glucosidic ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: (นพมาส, 2553)

- อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์ ที่แตกเป็นเป็นสาขาโดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-D-(1, 6) glucosidic ส่วนที่เป็นกิ่งสาขาประกอบด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 15-20 หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน
ที่มา: (นพมาส, 2553)

ในเม็ดแป้งประกอบด้วย คาร์บอน ร้อยละ 44.40 ไฮโดรเจน ร้อยละ 6.20 และ ออกซิเจน ร้อยละ 49.40 ของน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ α-D-glucose นอกจากนี้ยังมี โปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่น ๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นกับชนิดของพืช (อมรรัตน์, 2534) ปริมาณของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543) คุณสมบัติของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นกิ่ง ก้าน
พันธะที่จับ ขนาด	α -1,4 200-2000 หน่วยกลูโคส	α -1,4 และ α -1,6 มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: กล้าณรงค์และเกื้อกูล (2543)

แป้งข้าวเจ้า (rice flour) หมายถึง แป้งที่ได้จากข้าวเจ้า โดยอาจเป็นข้าวที่เต็มเมล็ด ข้าวหัก หรือปลายข้าว ที่ได้จากการสีข้าวเปือก แล้วนำมาบดให้ละเอียด โดยสามารถบดเปียกหรือบดแห้งก็ได้ (อมรรัตน์, 2534) มีลักษณะสีขาว จับแล้วสากมือเล็กน้อย เมื่อทำให้สุกและทิ้งให้เย็นตัวลง จะมีลักษณะเป็นก้อนอยู่ตัว แต่ไม่เหนียว (สุกัลยา, มปป)

แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) หมายถึง แป้งที่นำหัวมันสำปะหลังมาบดละเอียด ซึ่งมีลักษณะสีขาว จับแล้วเนียน ลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะเหลวเหนียวหนืดและใส ในเมื่อทิ้งให้เย็นตัวจะมีลักษณะ เหนียว หนืดคงตัว (สุกัลยา, มปป)

แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน (ตารางที่ 5) และเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งหรือทำให้สุก แป้งทั้งสองชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 องคประกอบทางเคมีของแป้ง (ร้อยละ)

ชนิดแป้ง	กาก	ความชื้น	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน
แป้งข้าวเจ้า	11.8	0.8	80.4	6.4	0.3
แป้งมันสำปะหลัง	9.1	0.5	88.2	1.1	2.2

ที่มา: เยาวลักษณ์ (2527)

ตารางที่ 6 ความแตกต่างระหว่างแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง

แป้งข้าวเจ้า (rice flour)	แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch)
• มีลักษณะสีขาว จับแล้วสากมือเล็กน้อย เมื่อทำให้สุกและทิ้งให้เย็นตัวลง จะมีลักษณะเป็นก้อนอยู่ตัว แต่ไม่เหนียว • แป้งข้าวจะเกิดเจลาทิไนเซชัน (Gelatinization) ที่อุณหภูม 61-77 • เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ความหนืดปานกลาง-สูงและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุก	• ลักษณะสีขาว จับแล้วเนียน ลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะเหลวเหนียวหนืดและใส ในเมื่อทิ้งให้เย็นตัวจะมีลักษณะเหนียว หนืดคงตัว • แป้งมันสำปะหลังจะเกิดเจลาทิไนเซชัน (Gelatinization) ที่อุณหภูมิต่ำ 58.5-70 • อัตราการเพิ่มของความหนืดจะรวดเร็วกว่า นอกจากนี้ยังเกิดการสลายตัวมากกว่าถ้าเพิ่มอุณภูมิให้สูงขึ้นทำให้ความหนืดลดลง

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543)

2.10.1. การเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) ของแป้ง

เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่ออยู่ในน้ำเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย เนื่องจากพันธะระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งในบริเวณที่เป็นผลึก (crystalline regions) มีความแข็งแรงที่ต้านทานต่อการละลายได้

เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของเม็ดแป้งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกว่า ช่วงอุณหภูมิ gelatinization ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) ที่ยึดโครงสร้างในเม็ดแป้งเข้ากันแตกออก ทำให้การดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เป็นผลให้เม็ดแป้งพองตัว เม็ดแป้งจะสูญเสียลักษนะ birefringence เม็ดแป้งแต่ละเม็ดเริ่มพองตัวหรือ gelatinize ที่อุณหภูมิต่างกัน โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงต่างกันประมาณ 10 องศาเซลเซียส ตารางที่ 7 แสดงช่วงอุณหภูมิ gelatinization ของแป้งชนิดต่าง ๆ การพองตัวของเม็ดแป้งทำให้แป้งละลายน้ำได้ดีขึ้น มีความใสและความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการพองตัวของเม็ดแป้ง คือ แรงยึดระหว่างพันธะไฮโดรเจนพายในเม็ดแป้ง

ตารางที่ 7 ลักษณะการ gelatinization ของแป้งชนิดต่าง ๆ

Starch		Gelatinization	At 95 °C	
Species	Type	temp (°C). range	Swelling power^{-1}	Solubility (%)
Potato	Tuber	55-66	1,000	82
Tapioca	Root	58.5-70	71	48
Corn	Cereal	62-72	24	25
Sorghum	Cereal	68.5-75	22	22
Wheat	Cereal	55-63	21	41
Rice	Cereal	61-77.5	19	18
Waxy maize	Cereal	63-72	64	23
Waxy sorghum	Cereal	67.5-74	49	19

Swelling power มีค่าเท่ากับน้ำหนักของเม็ดแป้งที่พองตัวที่ตกตะกอนออกมาต่อกรัมของแป้งแห้ง

ที่มา: (วรรณพร, 2529)

2.10.2. ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อน และมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ การแบ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของแป้งสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

1) แบบ a: เม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (high-swelling starches) เช่น แป้งมันฝรั่ง (potato starch) แป้งข้าวฟ่าง (waxy sorghum starch) แป้งจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งกระจายตัวออก เมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงชันแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

2) แบบ b: เม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่างๆ เม็ดแป้งไม่พองตัวมากถึงขั้นกระจายตัวออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงชันน้อยกว่าและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

3) แบบ c: เม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (mestricted-swelling starches) ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งครอสลิงหรือพันธะข้าม (cross-linked หรือ cross bonded) วิธีครอสลิงทำให้การพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

4) แบบ d: เม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (highly - restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะมิโลเมสซึ่งมีอะมิโลส 50 ถึง 80%

สำหลับแป้งมันสำปะหลังจะเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งธัญญาพืช (cereal starches) เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้ง waxy maize เป็นต้น และอัตราการเพิ่มของความหนืดจะรวดเร็วกว่า นอกจากนี้ยังเกิดการสลายตัวมากกว่าถ้าเพิ่มอุณภูมิให้สูงขึ้นทำให้ความหนืดลดลง พบว่าแป้งมันสำปะหลังจะแตกออกอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส (วรรณพร, 2529)

2.10.3. การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลส ขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา ทำให้ความหนืดลดลงเมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว

(setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้ จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสงเกิดชิ้น ส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อนเกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจล และโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจลขุ่น การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลงในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation) แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกทินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของอะมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลง เมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะมิโลสในแป้งข้าวโพดเหนียว สำหรับแป้ง ข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องมาจากในแป้ง ธัญพืชมีปริมาณอะมิโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมัน (amylase-lipid complex) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

2.11. การใช้แป้งในการผลิตกระดาษ

โดยทั่วไปแป้งถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษส่วนมากแล้วจะพบใน 3 ขั้นตอนหลักๆ ด้วยกันอันได้แก่

2.11.1. กระบวนการผลิตช่วงเปียก (wet end)

กระบวนการผลิตช่วงเปียก คือ กระบวนการผลิตที่เส้นใยและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ได้แก่ เยื่อใยอ่อน (cellulosic fine) และผงแร่ (mineral filler) ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ ซึ่งในกระบวนการผลิตช่วงเปียกจะมีการเติมแป้งลงไปเป็นการเพิ่มสารตกค้าง (retention acid)

ทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและผงแร่จับตัวกันทั้งคงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้น และยังช่วยให้การระบายน้ำ (dewatering) บนตะแกรงสายพานเดินแผ่นกระดาษได้ดีขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้แป้งดัดแปรหรือเรียกว่า แป้งแคทไอออนิก (cationic starches) ที่มีประจุบวก โดยประจุบวกของแป้งแคทไอออนิกนั้นจะดึงดูดกับประจุลบของเส้นใยเซลลูโลสและผงแร่ได้ดี ทำให้ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเองรวมทั้งเส้นใยกับผงแร่ได้ดีขึ้น กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น

2.11.2. การฉาบผิวกระดาษ (surface sizing)

การฉาบผิวกระดาษ คือ กระบวนการที่แผ่นกระดาษวิ่งผ่านลูกกลิ้ง โดยจะทำหน้าที่กลดอัดสารฉาบผิวเข้าไปในกระดาษและขณะเดียวกันยังช่วยรีดสารฉาบผิวที่มากเกินออกจากผิวกระดาษ การฉาบผิวกระดาษนั้นเป็นการปรับปรุงผิวกระดาษให้มีความเรียบ แข็งแรง และเหมาะกับงานเขียนและงานพิมพ์ ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษ การฉาบผิวกระดาษใช้ความเข้มข้นของสารละลายแป้งอยู่ในช่วง 2-15% ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องฉาบผิวที่ใช้และผลิตตภัณฑ์ที่ต้องการ แป้งออกซิไดซ์ คือแป้งดัดแปรที่นำมาใช้ในการฉาบผิวกระดาษมากกว่าชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีสมบัติในการเกิดฟิลม์ได้ดี ทั้งมีแนวโน้มในการเกิดการคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชั่นต่ำ แต่ถ้านำกระดาษที่ฉาบด้วยแป้งออกซิไดซ์ มาตีเยื่อและนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ซึ่งแป้งออกซิไดซ์มีประจุลบจะผลักผงแร่ (mineral filler) ให้เกิดการกระจาย โดยผงแร่และแป้งออกซิไดซ์จะไม่สามารถเกาะติดบนเส้นใยของเยื่อกระดาษได้ ซึ่งทำให้เกิดมีการสูญเสียผงแร่และแป้งออกซิไดซ์ลงไปในน้ำทิ้งทำให้เกิดปัญหามลภาวะได้ แป้งดัดแปรที่มีการเติมหมู่ฟังชั่นเข้าไปในโมเลกุลแป้ง ได้แก่ แป้งไฮดรอกซีเอทิล แป้งอะซิเตทและแป้งแคทไอออนิก เริ่มนิยมใช้เป็นสารฉาบผิวกระดาษมากขึ้น เนื่องจากแป้งกลุ่มนี้เกิดการคืนตัวต่ำ และไม่ทำให้เกิดการกระจายตัวหรือสูญเสียผงแร่ กรณีนำกระดาษกลับมาผลิตเป็นเยื่อใช้ใหม่

2.11.3. การเคลือบผิวกระดาษ (paper coating)

การเคลือบผิวกระดาษหมายถึงการนำส่วนผสมที่ประกอบด้วยผงแร่หรือเรียกว่า mineral pigment สารยึดติด (adhesive) และสารเติมเต็มอื่นๆ มาเคลือบบนผิวกระดาษเป็นชั้นบางๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความขาวสว่าง ความเงาและความทึบแสงให้แก่กระดาษ ทำให้กระดาษมีพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอมากขึ้น ผงแร่ที่นิยมใช้ในการเคลือบผิวได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ไททาเนียมไดออกไซด์ ดินขาว และ ทัลด์ แป้งเคลือบผิวกระดาษทำหน้าที่เป็นสารยึดติดหรือเป็นกาว ซึ่งช่วยให้ผงแร่ยึดเกาะกันและยึดติดกับแผ่นกระดาษได้ดีขึ้น (นพมาส, 2553)

2.12. การผลิตเยื่อกระดาษทำมือ

การแช่วัตถุดิบหรือเปลือกสาที่จะนำมาผลิตเยื่อส่วนใหญ่จะแช่ค้างคืนหรือประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้วัตถุดิบอ่อนตัวก่อนที่จะนำไปต้ม ถ้าหากนำไปต้มทันทีจะใช้เวลาต้มนานกว่าการแช่น้ำ

โดยก่อนการแช่สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การแช่น้ำในน้ำธรรมดา และการแช่น้ำในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนที่จะต้ม (วุฒินันท์, 2545)

2.12.1 การสกัดเยื่อกระดาษ

การต้มเยื่อเป็นการสกัดหรือย่อยสารจำพวกลิกนิน เฮมิเซลลูโลส สารแทรกต่าง ๆ ออกไปจากเส้นใยหรือเซลลูโลสโดยทั่วไปการย่อยสลายเยื่อนี้สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1) วิธีกล โดยใช้หลักการเอาไอน้ำร้อนร่วมกับความดันเข้าไประเบิดเยื่อในภาชนะที่ควบคุมได้จนทำให้สารต่างๆ แยกตัวออกมาจากเซลลูโลส การปฏิบัติงานวิธีนี้ค่อนข้างรวดเร็วแต่ต้องระวังความปลอดภัยจากการใช้เครื่องมือ โดยการใช้วิธีนี้สามารถลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2) วิธีชีวเคมี วิธีนี้อาศัยเชื้อจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ช่วยย่อยสลายสารต่างๆ ในวัตถุดิบจนเหลือเส้นใยเซลลูโลส ใช้วิธีนี้จะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากนักแต่ก็มีข้อจำกัดคือจะต้องเสียเวลาและพื้นที่ในการหมักค่อนข้างมากรวมทั้งต้องควบคุมเรื่องกลิ่นด้วย

3) วิธีเคมี คือการต้มเยื่อกระดาษโดยวิธีทางเคมี มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ทั้งมีความเหมาะสม ข้อดี และข้อเสียต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่จะใช้มาทำกระดาษเป็นหลัก ได้แก่

- กรรมวิธีซัลเฟต (sulphate process) ใช้สารพวก sodium hydroxide (NaOH) และ sodium sulfide (Na_2S)
- กรรมวิธีโซดา (soda process) ใช้ sodium hydroxide เพียงอย่างเดียวบางแห่งจะเติม sodium sulfide ในการต้มประมาณร้อยละ 5 คุณสมบัติเยื่อกระดาษจะด้อยกว่ากรรมวิธี sulphate process
- กรรมวิธีซัลไฟต์ (sulphite process) มีข้อดีก็คือเยื่อที่ได้จะมีสีค่อนข้างขาว นำไปทำกระดาษได้เลยหรือมีการฟอกสีเพียงเล็กน้อยหากต้องการให้เยื่อเพิ่มความขาวมากขึ้น ข้อเสียเนื่องจากน้ำยามีสภาพเป็นกรดทำให้เครื่องมือเกิดสนิมได้ง่าย และเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษมีสภาพเป็นกรด เมื่อเก็บกระดาษไว้ในสภาพที่มีความชื้น และอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาของการเสื่อมสลายของเซลลูโลสในสภาวะที่เป็นกรดได้ง่าย ทำให้กระดาษเสื่อมสลายเร็วขึ้น

2.12.2. ด่างที่ใช้ในการต้มเยื่อ

1) ขี้เถ้า (potassium carbonate หรือ potash; K_2CO_3) เป็นวิธีแบบพื้นบ้าน ขี้เถ้าที่ใช้อาจเป็นขี้เถ้าจากไม้หรือถ่านก็ได้ โดยปกติปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณสมบัติของขี้เถ้า ถ้าใช้ขี้เถ้าจำนวนมากเวลาต้มก็จะน้อย ถ้าใช้ขี้เถ้าน้อยก็ต้องใช้เวลาต้มนาน โดยทั่วไปใช้เวลาต้ม 3–6 ชั่วโมง เยื่อวัตถุดิบที่ผ่านการต้มด้วยขี้เถ้าจะมีคุณภาพไม่ดีและไม่มีความสม่ำเสมอ เพราะไม่สามารถควบคุม ปริมาณและคุณภาพของด่างในขี้เถ้าได้ ทำให้ใช้เวลาในการต้มไม่แน่นอน ถ้าต้องการให้เยื่อสะอาดควรกรองเอาน้ำที่แช่จากขี้เถ้ามาต้มเยื่อจะดีกว่าต้มทั้งขี้เถ้า

2) ปูนขาว (calcium hydroxide; $Ca(OH)_2$) โดยปกติจะใช้ต้มเยื่อที่ความเข้มข้นร้อยละ 20-40 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง วิธีนี้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างน้อย

3) โซดาแอช (sodium carbonate; Na_2CO_3) โดยปกติจะใช้ต้มเยื่อที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ18-20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ทำให้เยื่อที่ได้มีคุณภาพดีกว่าและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าด้วย

4) โซดาไฟ (sodium hydroxide; NaOH) โดยปกติจะใช้ต้มเยื่อที่ความเข้มข้นร้อยละ 7-15 ของน้ำหนักแห้ง ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่จะนำมาต้ม

5) ใช้การผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 3:2:2 แทนการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเดียวและช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้

2.13. การทำแผ่นกระดาษ

การทำแผ่นกระดาษสาแบบไทยมี 2 แบบ คือ แบบช้อน และแบบแตะ หรือแบบหล่อ

1) แบบช้อน มักใช้กับกระดาษชนิดบางสามารถทำได้เป็นจำนวนมากวันละ 200 – 300 แผ่นต่อคนต่อวันแต่กระดาษที่ได้จะไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอในแผ่น และน้ำหนักกระดาษแต่ละแผ่นจะไม่เท่ากัน วิธีการโดยนำน้ำใสในอ่างช้อนเยื่อ ใส่สารกระจายเยื่อที่เตรียมไว้ลงไปปริมาณมากน้อยตามความต้องการ โดยทั่วไปจะใช้ที่ความเข้มข้น รอยละ 0.05 ของสารละลาย คนด้วยไม้ไผ่ให้สารกระจายเยื่อผสมกับน้ำช้อนเยื่อ ใส่เยื่อที่ตีแล้วลงไปในน้ำช้อนเยื่อคนให้กระจายตัวอยางสม่ำเสมอทั่วอ่าง นำตะแกรงจ้วงตักเยื่อ โดยรักษาระดับตะแกรงให้ขนานกับผิวหน้าของน้ำเยื่อไว้ ความลึกของการจ้วงแต่ละครั้งขึ้นกับความหนาบางของกระดาษที่ต้องการ ยกตะแกรงให้พ้นน้ำโดยเร็ว รอจนน้ำหยุดไหลจากตะแกรงจนหมดแล้วนำไปตากแดด

2) แบบแตะหรือทำแผ่นแบบหล่อ คือวิธีการทำแผ่นที่สามารถกำหนดความหนาของกระดาษได้ แต่การทำแผ่นจะช้ากว่าแบบช้อน ความสม่ำเสมอของกระดาษจะมีมากกว่า ซึ่งแบบแตะยังแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

- วิธีปั้นก้อนเปียก โดยชั่งเยื่อสาที่ผ่านการสลัดน้ำออกแล้ว เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 30 ปั้นเป็นก้อนไว้โดยแต่ละก้อนให้ได้น้ำหนักแห้งตามความต้องการ ตักน้ำในอ่างช้อนเยื่อเพื่อกระจายเยื่อ ใส่ก้อนเยื่อลงไปตะแกรงช้อนเยื่อในอ่างช้อนเยื่อแล้วใช้มือตีก้อนเยื่อให้แตกระจายทั่วตระแกรง ใช้มือกดไล่ฟองอากาศออก ยกตระแกรงขึ้นตรงๆ รอจนน้ำหยุดไหลแล้วจึงนำไปตากแดด
- วิธีควบคุมปริมาณเยื่อต่อน้ำ วิธีนี้สามารถทำแผ่นได้เร็วกว่าวิธีปั้นก้อน กระดาษจะมีความสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากการตีเยื่อให้แตกกระจายสามารถทำได้มากกว่าวิธีปั้นก้อน แต่ข้อ

สำคัญคือจะต้องควบคุมปริมาณน้ำต่อเยื่อให้ถูกต้อง และเวลาตวงน้ำเยื่อจะต้องกวนเยื่อให้กระจายอย่างสม่ำเสมอ (วุฒินันท์, 2545)

2.14. คุณสมบัติของกระดาษและการทดสอบ

การทดสอบคุณภาพของกระดาษถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการควบคุมคุณภาพของกระดาษทั้งในโรงงานผู้ผลิต และผู้แปรรูปกระดาษที่เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งมาตรฐานในการทดสอบ มีดังนี้

- ISO (International Standard Organization)
- SCAN (Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee)
- ASTM (America Society for Testing and Materials)
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry)
- มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

สมบัติของกระดาษคือสิ่งที่บ่งชี้ถึงคุณภาพกระดาษ และทั้งยังสามารถใช้ในการแบ่งประเภทกระดาษตามลักษณะการใช้งานอีกด้วย ซึ่งสมบัติที่สำคัญของกระดาษนั้น ได้แก่ สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ และสมบัติด้านการกีดกั้น

2.14.1. สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (structural properties)

คือ สิ่งบ่งบอกถึงลักษณะโครงสร้างโดยรวมของแผ่นกระดาษ ซึ่งได้แก่

1. น้ำหนักมาตรฐาน (basic weight) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และทำการวัดกระดาษที่ถูกเก็บไว้ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามมาตรฐานกำหนดไว้ หน่วยที่นิยมใช้เป็นกรัมต่อตารางเมตร (g/m^2)

2. ความหนา (thickness) หมายถึงระยะระหว่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวกระดาษด้านบน และผิวกระดาษด้านล่าง วัดภายในสภาวะ และวิธีการตามมาตรฐานที่กำหนด หน่วยที่ใช้วัดจะเป็นมิลลิเมตร (mm) สิ่งที่มีผล และทำให้เกิดความหนาของกระดาษแตกต่างกันนั้น ได้แก่ น้ำหนักพื้นฐานของกระดาษ เยื่อของกระดาษที่นำมาใช้ กรรมวิธีในการผลิต และบดเยื่อ แรงกดของลูกกลิ้งในขบวนการทำรีดกระดาษระหว่างผลิต ดังนั้น น้ำหนักพื้นฐานของกระดาษที่เท่ากัน ก็อาจมีความหนาที่ไม่เท่ากันได้

3. ความพรุน (porosity) หมายถึง ช่องว่างภายในของเนื้อกระดาษที่อากาศ และของเหลวสามารถซึมผ่านได้ หน่วยที่ใช้วัดเป็นวินาที หรือมิลลิลิตรต่อนาที

4. ความเรียบของผิวกระดาษ (smoothness) คือลักษณะของกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ ความเรียบถือว่ามีความสำคัญโดยเฉพาะในด้านการพิมพ์ การวัดความเรียบใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัดความพรุน หน่วยที่ใช้วัดเป็นวินาที หรือมิลลิลิตรต่อนาที

5. ความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของเส้นใยกระดาษ (formation) คือการเปรียบเทียบปริมาณของเส้นใยในบริเวณต่าง ๆ ของกระดาษนั้นว่ามีความเท่ากันหรือต่างกันอย่างไร กระดาษที่มีความสม่ำเสมอการกระจายตัวของเส้นใยจะดี และทำให้กระดาษเรียบเสมอกันทั้งแผ่น มีความหนาเท่าเทียมกัน เมื่อนำไปพิมพ์ก็จะได้ภาพพิมพ์ที่ดี

6. ทิศทางของเส้นใยและความแตกต่างของผิวกระดาษ สองด้าน (two sidedness) เป็นสิ่งบอกถึงความแตกต่างของเนื้อกระดาษ ความแตกต่างในแนวของกระดาษทั้งสองและความแตกต่างระหว่างทั้งสองด้านของกระดาษ

7. ความสามารถในการคงขนาด (dimensional stability) บ่งบอกถึง ความสามารถของกระดาษในการรักษาขนาดทางด้านกว้าง ด้านยาว และความหนาให้คงเดิมเมื่อกระดาษได้รับสภาพแวดล้อม เช่น ได้รับความชื้นเพิ่ม ได้รับแรงกดทับ ความสามารถในการคงขนาดที่ดีนั้นจะช่วยลดปัญหาในการพิมพ์ เช่น ลดปัญหาการพิมพ์สีเหลื่อม

2.14.2. สมบัติเชิงกลของกระดาษ (mechanical properties)

หมายถึงสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกระดาษ หรือศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆ สมบัติเชิงกลของกระดาษที่ทดสอบ มีดังนี้

1. ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) หมายถึงความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดของกระดาษที่ทนได้ก่อนจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่หน้าตัดของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

2. ความต้านทานแรงดันทะลุ (burst strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการที่ทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศตั้งฉากกับผิวหน้ากระดาษ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (K.Pa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือปอนต่อตารางนิ้ว

3. ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่ต้านแรง ซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกเดิม โดยหน่วยที่ใช้วัดเป็นมิลลินิวตัน (mN) ต่อกรัม

4. ความทนทาต่อการพับขาด (folding endurance) หมายถึง จำนวนที่พับไปพับมา (double folds) ของกระดาษชิ้นทดสอบ จนกระทั้งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยใช้เป็นจำนวนครั้งหรือ log 10

5. ความทรงรูป (stiffness) หมายถึงความสามารถของกระดาษที่ต้านทานแรงที่มากระทำให้กระดาษโค้งงอด้วยน้ำหนักกระดาษจากภายนอก ซึ่งมีหน่วยที่ใช้เป็นนิวตันเมตร หรือนิวตัน

2.14.3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ

เป็นสมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่

1. ความขาวสว่าง (brightness) หมายถึง ค่าการสะท้อนของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น 457 นาโนเมตรเท่านั้น

2. ความทึบแสง (opacity) เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพ หรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ความทึบแสงและความขาวสว่างขึ้นอยู่กับปัจจัย การกระเจิงแสงและการดูดซับแสง กระดาษที่ทำด้วยเยื่อที่มีความขาวสว่างสูงอาจมีปัญหาด้านความทึบแสง เนื่องจากเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การใช้ตัวเติมเพื่อเพิ่มการกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษนั้นจะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้

3. ความมันวาว (gloss) โดยหลักการความมันวาวหมายถึง ลักษณะของผิวกระดาษที่สะท้อนแสง ณ มุมที่กำหนด โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ สำหรับกระดาษที่นิยมใช้มุม 75 องศากับเส้นปกติ ถ้าแสงที่สะท้อนในเชิงมุม (speculaer) ดังกล่าวมีมากกว่าแสงที่สะท้อนแบบทั่วไปผิวของกระดาษนั้นจะดูมันวาว ความขาว (whiteness) สมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง การใช้สารฟอกนวลในกระดาษ เป็นการช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วง และสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด (กานต์พิชชา และคณะ, 2552; ฐิตารินีย์, 2562; ธนพรรณ และคณะ, 2545; รุ่งอรุณ และคณะ, 2542)

2.14.4. สมบัติด้านการกีดกั้น และสมบัติด้านการต้านทานของกระดาษ

หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ และความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมทะลุผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง มีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน มีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติเพื่อการกีดกั้นสูงต่อของเหลว ไอน้ำ อากาศ ไขมัน และออกซิเจน (ชยาภาส, 2549)

2.15. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิสัย (2548) ทำการศึกษาการผลิตกระดาษจากฟางข้าว โดยการใช้วิธีโซดา เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ เวลาที่ใช้ในการต้มที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เยื่อที่ได้โดยใช้ความเข้มข้นที่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0% (w/v) และใช้เวลาในการต้มที่ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 4.5 ชั่วโมง โดยการทดลองที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้น 0.4% (w/v) และใช้เวลาต้ม 3 ชั่วโมง จะให้เปอร์เซ็นต์เยื่อสูงที่สุด แล้วศึกษาโดยการฟอกเยื่อโดยทำ

การฟอกเยื่อด้วย H_2O_2 เข้มข้น 1.0% (v/v) ให้เปอร์เซ็นต์เยื่อ และความขาวของกระดาษสูงที่สุด และทำการทดลองฟอกเยื่ออีกครั้งโดยใช้ H_2O_2 เข้มข้น 1.0% (v/v) ร่วมกับ Na_2CO_3 เข้มข้น 0.8% (w/v) จะให้เปอร์เซ็นต์เยื่อ และความขาวสูงที่สุด และ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถในการฟอกเยื่อด้วย H_2O_2 ผสม Na_2CO_3 จะให้เปอร์เซ็นต์เยื่อ และความขาวสูงกว่าการฟอกโดยใช้ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว ในการวิจัยนี้ยังได้ทำการพัฒนาคุณภาพของเยื่อกระดาษโดยการผสมเยื่อปอสาในอัตราส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50% (w/w) พบว่า 50% (w/w) จะให้แผ่นกระดาษที่มีลักษณะดีที่สุด ส่วนการพัฒนากระดาษโดยการผสมแป้งมันสำปะหลัง 0.15, 0.2, 0.3, 0.375 0.50% (w/w) พบว่าที่ความความเข้มข้น 0.3% (w/w) จะให้ลักษณะของกระดาษดีที่สุด และเปรียบเทียบความมันวาวพบว่ากระดาษผสมมันสำปะหลังมีความมันวาวมากกว่ากระดาษผสมเยื่อปอสาและกระดาษฟางข้าว

ธนพรรณ และคณะ (2545) ได้ศึกษาและพัฒนากระดาษที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการทำผลิตภัณฑ์กระดาษฟางข้าว โดยการใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 2% และ 4% ไม่ฟอก และทำการฟอกเยื่อกระดาษด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2% พบว่ากระดาษที่ใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 2% ไม่ฟอกมีน้ำหนัก ความหนามากกว่า คือ 62.27 กรัม/ตารางเมตร 259.3 ไมครอน และความชื้นร้อยละ 10.78 ความขาวสว่าง 42.03 มีความทึบแสงสูงคิดเป็นร้อยละ 93.4 (อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน) ความต้านทานแรงทะลุ ความต้านแรงดึงฉีกขาด แม่นสูงที่สุด และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ 64.75 กิโลปาสกาล และ 473.55 มิลลินิวตัน และ มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดเป็น 95.33 กิโลกรัม/เมตร

อรนุช และคณะ (2560) พบว่า นำฟางข้าว มาต้มกับน้ำด่างจากขี้เถ้า ที่วัดค่า เท่า 11 และน้ำเปล่า ในอัตราส่วนฟางข้าว 200 กรัม ต่อน้ำด่างขี้เถ้า 2 ลิตร ต่อน้ำเปลา 2 ลิตร ใช้เวลาต้มเยื่อ 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาชั่งน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกปั่นผสมเยื่อ และแป้งขาวเจ้าต้มสุก 25 มิลลิกรัม แล้วนำไปกระจายเยื่อเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่น กระดาษขนาด 19x26 เซนติเมตร นำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษ ผลการทดสอบพบว่ากระดาษฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อมีความต้านทานแรงดึงกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 44.44 Mpa เพราะการบดเยื่อทำให้เกิดเส้นใยฝอย และมีการแตกแขนงของเส้นใยมีผลทำให้เกิดการยึดตัวระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้น และแป้งเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยจึงทำให้กระดาษมีความแข็งแรง ความต้านทาแรงดึงขาดจึงเพิ่มสูงขึ้น ด้านคุณสมบัติเชิงกลพบว่า กระดาษฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อ 50 กรัมต่อน้ำหนักเปียก มีค่าน้ำหนักมาตรฐาน 87.11 แกรม ซึ่งมีน้ำหนักมาตรฐานใกล้เคียงกระดาษปอนด์ 80 แกรม เพราะมีความสม่ำเสมอของผิวกระดาษและแป้งช่วยอุดรูระหว่างเส้นใยทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบและมีความขาวเพิ่มขึ้น

จุฬาลักษณ์ และคณะ (2560) ศึกษาคุณสมบัติเส้นใยของกระดาษฟางข้าวแห้ง กระบวนการ และขั้นตอนการทำกระดาษจากเส้นใยฟางข้าวแห้ง โดยการทดสอบด้วยการต้มเส้นใยฟางข้าวแห้ง 1 กิโลกรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 กิโลกรัม น้ำ 13 ลิตร ต้มนาน 2 ชั่วโมง ในถังปี๊บ

เพื่อให้ฟางข้าวมีเส้นใยที่ละเอียด หนา 1 มิลลิเมตร มีขนาด 38x39.5 เซนติเมตร ที่มีความเหมาะสม และสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุได้จริง

ชยาภาส (2549) ได้ทำการศึกษาการผลิตกระดาษทำมือจากกาบกล้วยแห้ง เมื่อนำกาบกล้วยแห้ง 100 กรัม มาต้มด้วยสารละลาย KOH ปริมาณ 14% 16% 18% 20% และ 22% (w/v) ของน้ำหนักกาบกล้วยแห้ง ใช้น้ำในปริมาตร 50 เท่าของน้ำหนักกาบกล้วยแห้ง (50:1) ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อด้วยความเข้มข้นของ KOH 22% แช่กาบกล้วยแห้งก่อนต้ม 17 ชั่วโมง ใช้เวลาต้มเยื่อ 3 ชั่วโมง และ ตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเยื่อที่ได้จากการต้มมีลักษณะเปื่อย สามารถตีเยื่อให้ขาดได้ด้วยเครื่องตีเยื่อได้โดยไม่พันกับมอเตอร์ของเครื่องตีเยื่อ และมีค่า kappa number อยู่ในช่วงที่ต้องการระหว่าง 25-30 พร้อมกันนั้นทำการฟอกเยื่อด้วยวิธี CEDED สามารถสามารถทำให้เยื่อมีสีจางลงและมีความขาวสว่างมากขึ้น ทำให้เยื่อกระดาษมีความขาว น่าใช้ และสวยงาม เมื่อนำไปทดสอบความต้านแรงดึง ความต้านแรงดันทะลุ และความต้านแรงฉีกขาด พบว่ามีค่าเท่า 64.86 kN.m/kg, 2.76 kPa.m^2/g และ 15.22 mN.m^2/g ตามลำดับ

วุฒินันท์ และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสาผสมฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์ โดยใช้เยื่อปอสาเกรด A ที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 8 ฟอกด้วยสานไฮโดรเจนเพอร์ออดไซด์ ร้อยละ 4 เยื่อฟางข้าวต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 15 ฟอกด้วยสานไฮโดรเจนเพอร์ออดไซด์ ร้อยละ 8 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเตรียมตัวอย่างกระดาษใช้น้ำหนักมาตรฐาน 60±5 กรัมต่อตารางเมตรโดยการผสมเยื่อปอสาต่อเยื่อฟางข้าว 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 แช่เยื่อในน้ำ คืน กระจายเยื่อ 500 รอบ ทำแผ่นด้วยมือแบบไทย ขนาด 72x84 เซนติเมตร อัตรส่วน 18 แผ่น ตากกแห้ง ตัดขนาด 12.5x12.5 เซนติเมตร รีดด้วยเครื่องรีดกระดาษที่มีแรงกด 30 kgf/cm^2 ผลการศึกษาพบว่า กระดาษที่ผสมเยื่อปอสาต่อเยื่อฟางขาวในอัตราส่วน 70:30 มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีกว่า สามารถใช้งานหัตถกรรมแทน กระดาษสาที่ได้ประกอบด้วย น้ำหนักมาตรฐาน 64.23 กรัมต่อตารางเมตร ความหนา 0.286 มิลลิเมตร ความหนาแนน 0.224 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความขาวสว่าง 78.88 % ความต้านทานแรงดึง 27.76 นิวตันตารางเมตรต่อกรัม การยืด 3.63 % ความเรียบ 11.38 วินาที ความต้านทานการหักพับ 112 ครั้ง ความต้านทานแรงดันทะลุ 3.08 กิโลปาสกาล. ตารางเมตรต่อกรัม และความต้านทานแรงฉีกขาด 588.22 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม

ชัยพร และคณะ (2550) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนากระบวการผลิตกระดาษฟางข้าวแบบพื้นบานให้มีคุณภาพกระดาษที่ดี โดยชั่งฟางข้าววิมาณ 200 กรัม แช่ด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นต้มด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด ที่ระดับความเข้มข้นร้อยยละ 10, 15 และ 20 ต่อ น้ำหนักแห้งของฟางข้าวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด อบแห้งและชั่งน้ำหนักหาปริมาณผลผลิตเยื่อ การคัดแยกเศษเยื่อที่ไม่เหมาะสมในการทำกระดาษออก โดย

การนำเยื่อฟางข้าวที่ผ่านการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณ 5 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง กระจายด้วยเครื่องกระจายเยื่อเป็นเวลา 10 นาที แลวนำไปคัดแยกเศษเยื่อด้วยเครื่องคัดแยกเยื่อ (flat screener) ที่มีขนาดช่องตะแกรง 0.2 มิลลิเมตร เป็นเวลา 20 นาที (ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T 278 sp-99) หาปริมาณเศษเยื่อที่ค้างบนตะแกรง ส่วนเยื่อฟางข้าวที่ผ่านช่องตะแกรงนำไปผลิตเป็นแผ่นกระดาษทดสอบ (ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T 205 sp-95) โดยให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 60±5 กรัมต่อตารางเมตร นำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 ได้กระดาษฟางข้าวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด คือ ค่าดัชนีความต้านทานแรงดึง 22.63 นิวตันเมตรต่อกรัม ความยืด ร้อยละ 1.24 ความต้านทานการหักพับ 3.26 ครั้ง ค่าดัชนี ความต้านทานแรงดันทะลุ 1.18 กิโลปาสคาลตารางเมตรต่อกรัม และค่าความขาวสว่างร้อยละ 32.45 กระดาษที่ได้มีคุณภาพดีกว่า ดังนั้นสามารถนำวิธีการในการทดลองนี้ไปปรับปรุงในกระบวนการผลิตกระดาษได้

รุ่งอรุณ และคณะ (2542) ศึกษาการผลิตเยื่อปอสาในเชิงหัตถกรรมโดยนำปอสา 200 กรัมน้ำหนักอบแห้งแล้วนำไปแช่น้ำ 1 คืน จากนั้นนำไปต้มในน้ำยาต้มเยื่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 ของน้ำหนักปอสาอบแห้ง ใช้เวลาต้ม 3 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกปอสาต่อน้ำ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) 1: 10 พบว่า ผลผลิตเยื่อปอสาที่ได้เท่ากับร้อยละ 68.3, 66.1, 60.8 และ 56.9 ของน้ำหนักเปลือกปอสาอบแห้ง และค่า kappa number ของเยื่อที่ได้เท่ากับ 24.3, 22.9, 19.9 และ 16.1 หน่วยตามลำดับ ซึ่งทั้งผลผลิตเยื่อและค่า kappa number ลดลงเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มมากขึ้น เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างร้อยละ 25.6, 37.6, 46.4 และ 47.1 ตามลำดับ ความขาวสว่างมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มมากขึ้น ความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 58.5, 63.3, 64.3 และ 69.5 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความต้านทานแรงดึงฉีกขาดเท่ากับ 65.3, 66.6, 68.2 และ 78.2 นิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความต้านแรงดันทะลุเท่ากับ 5.5, 7.0 7.1 และ 8.2 กิโลปาสกาล.ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

ชญานิน และรักชนก (2560) ได้นำชานอ้อยที่เหลือจากการคั้นน้ำออกแล้วนำมาพัฒนาเป็นกระดาษ และทำเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษชานอ้อย โดยวิธีการทำกระดาษด้วยมือ ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำหนักแห้งของชานอ้อยต่อโซเดียมไฮดรอกไซด ́ 7.5 % คือ ชานอ้อย 1,000 กรัมต่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 75 กรัม และแช่น้ำเปล่าไว้ 1 คืนนำมาต้ม ใช้น้ำ 6 ลิตร อุณหภูมิเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปั่นหรือตีเยื่อ นำเยื่อที่ปั่นมาเทใส่ภาชนะสำหรับการร่อนกระดาษร่อนโดยใช้ตะแกรงหรือแผ่นเฟรม เกลี่ยเยื่อในแต่ละแผ่นให้มีความหนาเท่าๆ กัน ใช้ตะแกรงไนลอนขนาด 57×47 ซม. มาร่อนโดยแต่ละแผ่นใช้เยื่อ 150 กรัม ซึ่งในอัตราส่วนนี้จะได้กระดาษชานอ้อย 6-7 แผ่น คุณสมบัติกระดาษชานอ้อย และผลิตภัณฑก์ระดาษชานอ้อยที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 1255/2549 กระดาษชานอ้อย และ 1259/2549 ผลิตภัณฑก์ระดาษชานอ้อย

เจษฎา (2535) ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเยื่อสา กับเยื่อชนิดเส้นใยสั้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้เยื่อสาในการผลิตกระดาษสา โดยมีขั้นตอนการเตรียมเยื่อกระดาษ คือ นำวัตถุดิบ ได้แก่ เปลือกสา และพืชชนิดเส้นใยสั้น ได้แก่ เยื่อกกยูนนาน ใบสับปะรด ผักตบขวา และฟางข้าว อย่าง 600 กรัมมาแช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปต้มในสารละลายด่างโปตัสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 100 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร หรือควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ระหว่าง 12-14 ใช้เวลาต้ม 3 ชั่วโมง สำหรับเยื่อสา ส่วนพืชชนิดเส้นใยสั้น ใช้เวลาต้ม 1-8 ชั่วโมง ขึ้นกับชนิดวัตถุดิบจนเปื่อยยุ่ยเป็นกระดาษอย่างเหมาะสม จากนั้น นำเยื่อที่ได้มาผสมใน 16 อัตราส่วนเพื่อผลิตกระดาษสาชนิดผสม ผลการทดลองพบว่า พืชชนิดเส้นใยสั้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาผสมกับเยื่อสา คือ เยื่อฟางข้าวมีความเหมาะสมที่สุด มีคุณสมบัติสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และอัตราส่วนผสมโดยใช้เยื่อสาร้อยละ 40-70 ของเยื่อฟางข้าว สำหรับการผลิตเป็นกระดาษสาชนิดผสมแบบตักช้อน

สุพิตา (2551) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อและกระดาษจากส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโพดต่างพันธุ์ คือ พันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว และพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยนำต้นข้าวโพดมาตัดเป็นท่อนขนาดประมาณ 2.5-4.0 เซนติเมรตร แบ่งท่อนออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนท่อนข้าวโพดทั้งต้นที่ยังไม่ผ่านการปอกเปลือก ส่วนเปลือกนอกของต้นข้าวโพด และส่วนแกนกลางของต้นข้าวโพดมาผลิตเยื่อด้วยวิธีโซดา ใช้สภาวะในการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง ต้มเยื่อด้วยเครื่อง autoclave digester โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อ 120 องศาเซลเซียส และเวลา 2 ชั่วโมง ทำการขึ้นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบ Rapid-Kothen sheet former โดยปรับน้ำเยื่อให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และขึ้นแผ่นโดยกำนดให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 60 กรัมต่อตารางเมตร ผลการทดลองพบว่าสภาวะการต้มเยื่อที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 พบว่าผลผลิตของเยื่อทั้งต้น เปลือกนอก และแกนกลาง เท่ากับ 20.17 เปอร์เซ็นต์, 27.10 เปอร์เซ็นต์ และ 20.74 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 พบว่าผลผลิตของเยื่อเท่ากับ 34.91 เปอร์เซ็นต์ 31.79 เปอร์เซ็นต์ และ 20.09 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ผลผลิตของเยื่อเท่ากับ 35.60 เปอร์เซ็นต์ 37.05 เปอร์เซ็นต์ และ 16.74 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการทดลองพบว่า สภาวะในการผลิตเยื่อที่ให้สมบัติด้านความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษที่ผลิตจากต้นข้าวโพดข้าวเหนียว และพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ดีที่สุด คือ สภาวะต้มเยื่อที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 และ 25 ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้งตามลำดับ

Ma Hnin และคณะ (2019) ทำการศึกษาหากระบวนการการผลิตแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ประหยัดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำฟางข้าวมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซม์ เข้มข้น 4 6 และ 8% ใช้อัตราส่วนต่อฟางข้าว (8:1) ต้มที่อุณหภูมิ 170 $^{\circ}$C ใช้เวลา 1 ชม 30 นาที นำเยื่อที่ได้มาล้าง แล้วไปตีเยื่อ ผสมโซเดียมซิลิเกตในเครื่องตีเพื่อคุณภาพที่ดีขึ้นของความแข็งแรง นำไปขึ้นแผ่นโดยเครื่องเดิมแผ่น 110 $^{\circ}$C ผลการทดลองที่ได้ดีที่สุด คือ การใช้ NaOH ความเข้มข้น 6% ให้ผลผลิตเยื่อมากสุด 46% กระดาษที่ได้มีความเรียบมากสุดและมีความต้านทานแรงดึงมากที่สุด คือ 4.9 KN/m

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1. วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1. วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1.1. วัตถุดิบ ได้แก่ ฟางข้าวหนอน ฟางข้าวถิ่นแก้วและฟางข้าวโพนงาม 3 แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง น้ำสะอาด

3.1.1.2. สารเคมี ได้แก่ สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1. เครื่องมือ

1. เครื่องปั่น
2. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เครื่อง pH Meter
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
6. กล้องจุลทรรศน์แสง (OLYMPUS U-MSSP4 NAPAN)
8. เครื่องอัดแผ่นกระดาษ
9. เครื่องวัดความหนาของแผ่นกระดาษ
11. ตู้ดูดควัน (Fume Hood)
12. เครื่อง Heater

3.1.2.2. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

1. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1000 มิลลิลิตร และ ขนาด 200 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวง (Cylinder)
3. ชุดกรองสุญญากาศ
4. ช้อนตักสาร (Spatula)
5. แท่งแก้วคนสาร

3.1.2.3. อุปกรณ์

1. หม้อต้มเยื่อแสตนแลส
2. เตาแก็ส
3. ขาตั้งจับ Thermometer
4. กรรไกร

5. ไม้พาย
6. ผ้าข้าวบาง
7. ถุงมือ
8. ถังเก็บเยื่อ
9. อ่างช้อนเยื่อ
10. ตะแกรงล้างเยื่อ
11. ตะแกรงขึ้นเยื่อ
12. ผ้าดูดซับน้ำ
13. ไม้รีดแผ่นกระดาษ

3.2. วิธีการทดลอง

3.2.1. หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าว

3.2.1.1. การหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวและเยื่อ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวและเยื่อ ทั้งก่อนการต้มเยื่อและหลังการต้มเยื่อ โดยนำฟางข้าว 3 ชนิด และเยื่อที่ผลิตได้ในสภาวะที่เหมาะสม ไปวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และหาปริมาณลิกนิน ที่มีอยู่ในฟางข้าวและที่มีอยู่ในเยื่อ ตามวิธีของ (Goering และ Van Soest, 1970) โดยนำส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์อยู่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมี ภาควิชาอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3.2.1.2. การเตรียมวัตถุดิบ

นำฟางข้าวจำนวน 3 ชนิดได้แก่ ข้าวหนอน ข้าวโพนงาม 3 และข้าวถิ่นแก้ว มาทำการคัดแยกเอาเศษวัสดุอื่นๆ ออกแล้วทำการตัดขนาดฟางข้าวให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 3-5 เซนติเมตร

(a) ข้าวหนอน (b) ข้าวโพนงาม 3 (c) ข้าวถิ่นแก้ว

ภาพที่ 14 ชนิดฟางข้าวที่ใช้ในการต้มเยื่อกระดาษ

3.2.1.3. การต้มเยื่อกระดาษ

การหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (น้ำยาต้มเยื่อ) ที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าว เพื่อหาสมบัติของเยื่อจากฟางข้าวที่ดีที่สุด โดยทำการแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง และทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ฟางข้าวหนอน

ชุดการทดลองที่ 2 ฟางข้าวถิ่นแก้ว

ชุดการทดลองที่ 3 ฟางข้าวโพน 3

ในแต่ละชุดการทดลองนำฟางข้าวจำนวน 20 กรัม ลงไปต้มในน้ำยาต้มเยื่อที่เตรียมไว้ซึ่งมีความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.5 1 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมน้ำยาต้มเยื่อ 30 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ใช้อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส กวนขึ้นลงทุกครึ่งชั่วโมง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที นำเยื่อที่ต้มแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ออกให้หมด และทำการวัดน้ำจากการล้างเยื่อให้ได้ค่าความเป็นกลาง (pH เท่ากับ 7) ทำการบีบน้ำออกให้หมาด นำไปตากแห้งและทำการชั่งน้ำหนักเยื่อเพื่อหาผลผลิตของเยื่อที่ได้ (% yield) นำเยื่อของชนิดฟางข้าวแต่ละชนิดที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์สมบัติเพื่อหาชนิดของฟางข้าวที่ให้เยื่อที่มีสมบัติที่ดีที่สุดผลิตเป็นแผ่นกระดาษต่อไป

ภาพที่ 15 การต้มเยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้นต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ

(d) การล้างเยื่อ

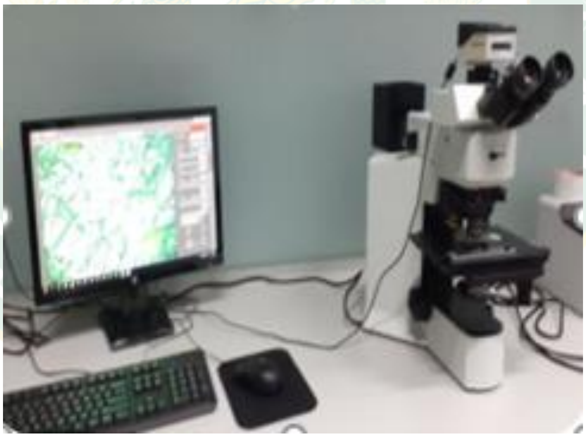
(e) เยื่อกระดาษฟางข้าว

ภาพที่ 16 การล้างเยื่อและเยื่อกระดาษที่ผลิตจากฟางข้าว

3.2.1.4. การทดสอบสมบัติของเยื่อ

3.2.1.4.1. การวิเคราะห์ลักษณะเส้นใย

นำเยื่อของชนิดฟางข้าวที่หาได้จากข้อ 3.2.1.3 มาวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (OLYMPUS U-MSSP4 NAPAN) ทำการวัด 3 ครั้ง



ภาพที่ 17 วิเคราะห์เส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (OLYMPUS U-MSSP4 JAPAN)

3.2.1.4.2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเยื่อ

เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเยื่อกระดาษที่ผลิตจากการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อเลือกเยื่อที่มีความละเอียดและเหมาะสมที่สุดนำไปผลิตกระดาษ

3.2.2. การทำแผ่นกระดาษ

นำเยื่อที่ผลิตได้ในสภาวะที่เหมาะสมของชนิดฟางข้าวที่พบว่ามีสมบัติดีที่สุดไปผลิตเป็นกระดาษ โดยใช้ 20 30 40 และ 50 กรัม ของน้ำหนักเยื่อเปียก นำไปปั่นผสมกับน้ำ 1 ลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปขึ้นแผ่นกระดาษ ด้วยเฟรมขนาด 25x25 เซนติเมตร ทำการตีเยื่อให้กระจาย และลอยตัวอยู่บนเฟรมในอ่างน้ำอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นยกตระแกงขึ้นจากอ่างน้ำนำไปตากแห้งหรือเข้าตู้อบ แล้วนำแผ่นกระดาษที่ได้ไปอัดด้วยเครื่องอัดที่มีแรงอัด 2500 ปอนด์ต่อนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำไปทดสอบสมบัติของกระดาษ เพื่อหาแผ่นกระดาษที่ดีที่สุดไปทำการปรับปรุงคุณภาพของกระดาษในขั้นตอนต่อไป

ภาพที่ 18 การชั่งน้ำหนักเยื่อ และการปั่นเยื่อกระดาษ

ภาพที่ 19 การขึ้นแผ่นกระดาษ และการตากแผ่นกระดาษฟางข้าว

ภาพที่ 20 เครื่องอัดแผ่นกระดาษ

3.2.2.1. การทดสอบสมบัติกระดาษ

นำตัวอย่างกระดาษที่ทำขึ้นไปทดสอบสมบัติกระดาษ ดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight) ใช้มาตรฐานมาตรฐานอ้างอิง ISO536, ASTM646, TAPPI T410, ISO 3039 โดยมีหน่วยเป็นกรัม/ตารางเมตร (g/m^2) นำแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ตัวอย่างละ 3 แผ่นไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ทำการชั่งน้ำหนักแผ่นละ 3 ครั้ง

ภาพที่ 21 การชั่งน้ำหนักแผ่นกระดาษ

2. ความหนา (Thickness) ใช้มาตรฐาน TAPPI-T411-om-89 หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) โดยนำแผ่นกระดาษตัวอย่างละ 3 แผ่น มาทำการวัดความหนาแผ่นละ 5 จุด ด้วยเครื่องวัดความหนา

ภาพที่ 22 การวัดความหนาแผ่นกระดาษ

3. ความต้านทานแรงดึง ใช้เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง ตามมาตรฐานของ TAPPI-T494-om-01 มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) ตัดแผ่นกระดาษตัวอย่างละ 3 แผ่น ที่มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 180 มิลลิเมตร แล้วนำไปทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine, Model NRI-TS-500-10B (Extra) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 55 โดยใช้อัตราการดึง 25 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 23 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระดาษ

3.2.3. การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว

3.2.3.1. การหาปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระดาษ

การใช้แป้งเพื่อปรับปรุงกระดาษให้มีความแข็งแรงในครั้งนี้โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวจ้าว ซึ่งได้มีการศึกษาหาปริมาณแป้งที่เหมาะสม ดังนี้

1. ใช้เยื่อกระดาษเปียกในปริมาณ 4 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุกในปริมาณอย่างละ 4 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 2 4 6 และ 8 มาปั่นผสมกับน้ำ 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปเทผ่านชุดกรองศูญญากาศ เปรียบเทียบความใสของน้ำ และนำน้ำที่ได้ไปวัดความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น (HACH, 2100N turbidity meter)

2. เปรียบเทียบความใสของน้ำที่ได้ น้ำที่ใสที่สุดถือว่าปริมาณแป้งที่ใช้นั้นมีความเหมาะสมมากกว่าและจะเลือกนำไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติของกระดาษต่อไป

(f) ชุดกรองสุญญากาศ

(g) เครื่องวัดความขุ่น

ภาพที่ 24 ชุดกรองสุญญากาศ และเครื่องวัดความขุ่น

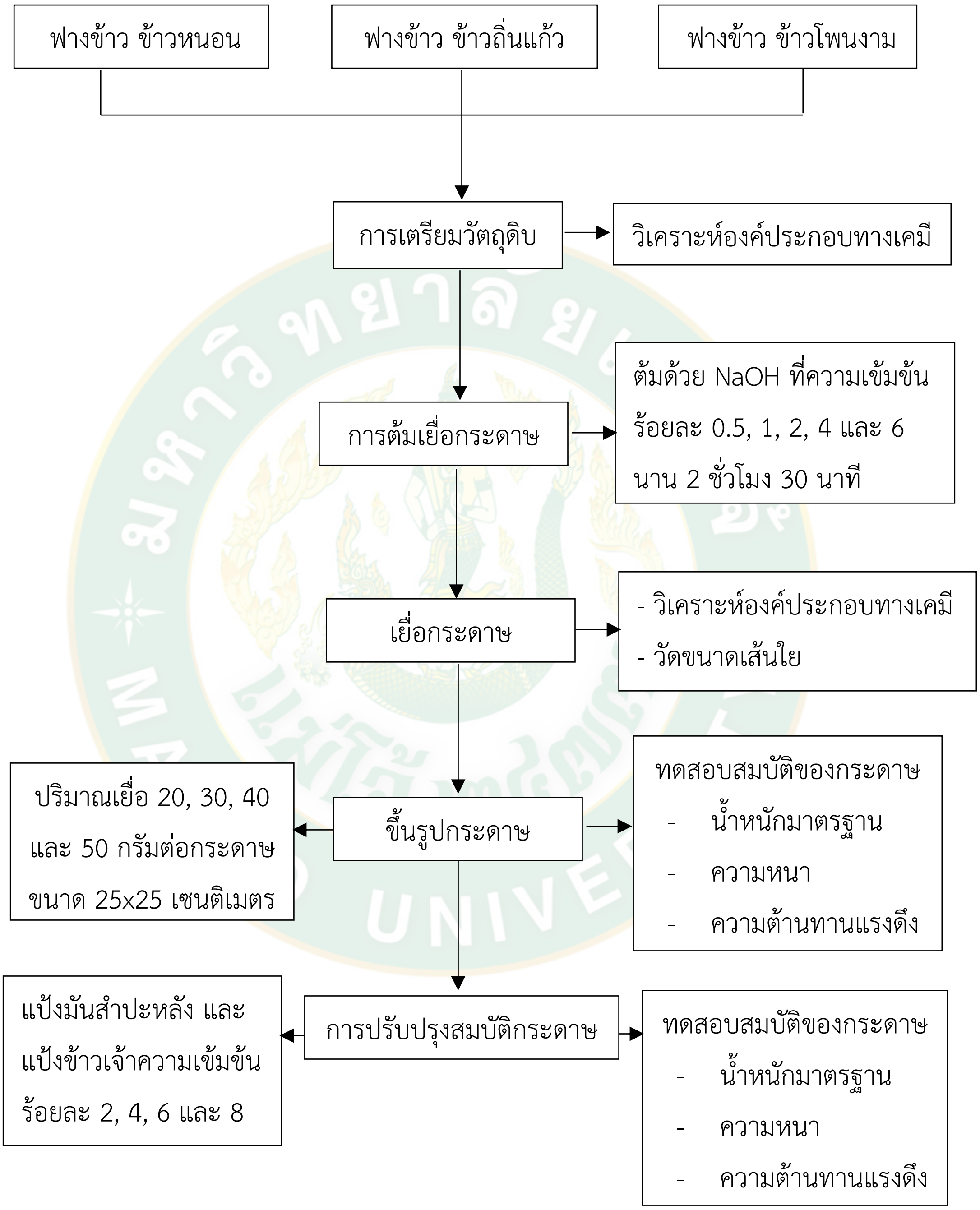
3.2.3.2. การผลิตแผ่นกระดาษปรับปรุงด้วยแป้ง

การปรับปรุงสมบัติของกระดาษนั้น ใช้กระดาษที่หาได้จาก ข้อ 3.2.2 ที่ให้สมบัติของกระดาษที่ดีที่สุด มาทำการปรับปรุงโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวจ้าวต้มสุกในปริมาณที่มีความเหมาะสมที่สุดที่หาได้จากข้อ 3.2.3.1 นำไปปั่นผสมกับน้ำ 1 ลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปขึ้นแผ่นกระดาษ ตามวิธี ข้อ 3.2.2 จากนั้นนำกระดาษที่ได้รับการปรับปรุงด้วยแป้งทั้งสองชนิดที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติของกระดาษคือกับข้อที่ 3.2.2.1

3.2.4. **การวิเคราะข้อมูล**

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New multiple rang test: (DMRT)

ขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าว



ภาพที่ 25 ขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าว

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าว

4.1.1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีปริมาณเซลลูโลส ต่างกันเล็กน้อย โดยฟางข้าวโพนงาม 3 มีปริมาณ เซลลูโลสสูงที่สุด ร้อยละ 32.49 ตามด้วยฟางข้าวถิ่นแก้วและฟางข้าวหนอน มีปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 31.95 และ 30.58 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวของไทยพบว่าปริมาณของเซลลูโลสมีค่าใกล้เคียงกัน โดยปริมาณของเซลลูโลสของฟางข้าวของไทยมีประมาณ ร้อยละ 32.1 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) แต่พบว่าฟางข้าวไทยมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่า คือ ร้อยละ 24.0 และมีปริมาณลิกนินที่สูงกว่ามากคือ ร้อยละ 12.5 ในขณะที่ฟางข้าวจาก สปป.ลาวทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสอยู่ระหว่าง ร้อยละ 27.6-28.1 และมีปริมาณลิกนินอยู่ระหว่าง ร้อยละ 3.11-4.20 ซึ่งอาจจะทำให้ฟางข้าวของ สปป.ลาว มีการปรับสภาพที่ง่ายกว่าฟางข้าวของไทยก่อนที่จะทำเป็นกระดาษ อย่างไรก็ตามหลังการต้มเยื่อหรือปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 พบว่า ฟางข้าวโพนงาน 3 ยังคงมีปริมาณของเซลลูโลสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 70.39 มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสและมีลิกนินต่ำสุด คือร้อยละ 14.08 และ 1.68 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8

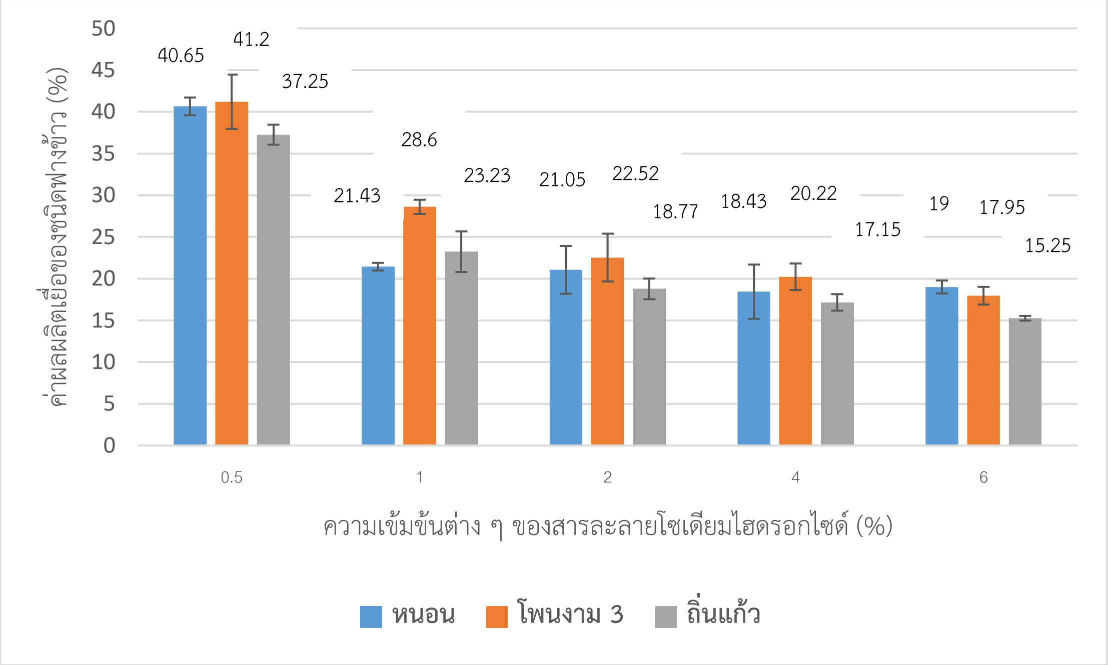
ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวก่อน และหลังการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1

	ชนิดของฟางข้าว	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว (ร้อยละเทียบวัตถุดิบ)		
		เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ก่อน	หนอน	30.58	28.1	3.11
	โพนงาม 3	32.49	27.73	3.44
	ถิ่นแก้ว	31.95	27.6	4.20
หลัง	หนอน	69.35	13.79	3.67
	โพนงาม 3	70.39	14.08	1.68
	ถิ่นแก้ว	69.07	14.14	2.19

4.1.2. ผลการศึกษาชนิดของฟางข้าวที่เหมาะสมต่อการผลิตเป็นกระดาษ

1. ผลผลิตเยื่อกระดาษ

เมื่อนำฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด มาต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของพืช ทำให้พันธะระหว่างลิกนินกับคาร์โบไฮเดรตถูกทำลาย หลังการต้มเยื่อส่งผลให้ผลผลิตของเยื่อลดลง (Casey, 1980) จากผลการทดลอง พบว่าการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มากที่สุด และในขณะที่เมื่อใช้สารละลายเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1 ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลงอย่างมากในทุกชนิดของฟางข้าว และพบว่าฟางข้าวโพนงาม 3 ให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุดในการต้มเยื่อที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลาย ยกเว้นเมื่อต้มในระดับความเข้มข้นร้อยละ 6 (ภาพที่ 26) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวทั้งก่อนและหลังการต้มเยื่อที่ข้าวโพนงาม 3 นั้นมีปริมาณของปริมาณเซลลูโลสสูงกว่า ซึ่งทำให้เมื่อผ่านกระบวนการต้มเยื่อแล้วให้ผลผลิตของเยื่อสูงที่สุด



ภาพที่ 26 ค่าผลผลิตของเยื่อฟางข้าวชนิดต่างๆ ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลผลิตของเยื่อที่ผลิตได้จากฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 (ตาลางที่ 9) พบว่ามี่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยฟางข้าวโพนงาม 3 ให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด ร้อยละ 28.60 ± 0.84 ในขณะที่ฟางข้าวหนอนและฟางข้าวถิ่นแก้วให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน โดยให้ผลลิตร้อยละ 21.42 ± 0.45 และ 23.22 ± 2.43 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลลิตของเยื่อกระดาษจากฟงข้าวชนิดต่างๆที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1

NaOH (%)	ผลผลิตเยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าว (ร้อยละ)			SEM	F-Test
	โพนงาม 3	หนอน	ถิ่นแก้ว		
1	28.60 ± 0.84[a]	21.42 ± 0.45[b]	23.22 ± 2.43[b]	1.44	**

a, b หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value≤0.05)

2. เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจากฟางข้าวชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 10 เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจากฟางข้าวชนิดต่างๆ ที่ต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

NaOH (%)	เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (ไมโครเมตร)		
	โพนงาม 3	หนอน	ถิ่นแก้ว
0.5	8.62 ± 1.12	9.39 ± 1.45	9.27 ± 0.52
1	7.78 ± 0.86	8.66 ± 1.82	7.73 ± 0.75
2	7.59 ± 1.29	8.37 ± 0.40	7.60 ± 0.69
4	7.27 ± 1.10	7.95 ± 1.07	6.99 ± 1.78
6	7.10 ± 0.26	7.42 ± 0.99	6.83 ± 1.38
SEM	0.25	0.32	0.33
F-Test	ns	ns	ns

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value ≥ 0.05)

เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (ตารางที่ 10) ที่ผลิตได้จากฟางข้าว ทั้ง 3 ชนิด ที่ทำผ่านการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน (ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายขององค์ประกอบของเส้นใยประเภทเซลลูโลสได้มากกว่า จึงทำให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดลดลง

เมื่อพิจารณาผลผลิตของเยื่อกระดาษ และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ผลิตได้จากฟางข้าวทั้ง 3 ชนิดแล้ว เห็นว่าฟางข้าวโพนงาม 3 มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตกระดาษมากกว่าฟางข้าวหนอน และฟางข้าวถิ่นแก้ว เนื่องจากได้ปริมาณผลผลิตของเยื่อกระดาษสูงที่สุด ดังนั้น จึงเลือกเยื่อกระดาษที่ผลิตจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 ไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.1.3. ความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสม

เมื่อศึกษาลักษณะของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ทำการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1 2 4 และ 6 พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.5% เยื่อกระดาษมีเส้นใยหยาบมากที่สุด และเห็นได้ชัดเจนขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น พบว่าเยื่อกระดาษที่ได้มีแนวโน้มความละเอียดมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากทำให้องค์ประกอบของเส้นใย เช่น สัดส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกกำจัดออกไป แสดงในภาพที่ 27

NaOH 0.5%   NaOH 1%   NaOH 2%   NaOH 4%   NaOH 6%

ภาพที่ 27 ลักษณะของเยื่อกระดาษฟางข้าวโพนงาม **3** ที่ต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากชนิดฟางข้าวโพนงาน 3 โดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเยื่อกระดาษที่ทำการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ถึงแม้ว่ามีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดก็ตามแต่เยื่อกระดาษมีเส้นใยหยาบมากจึงไม่เหมาะในการทำกระดาษ รองลงมาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 เส้นใยมีความละเอียด มีความเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นแผ่นกระดาษมากที่สุด ส่วนที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 4 และ 6 พบว่า ให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) น้อย ดังนั้น จึงเลือกเยื่อกระดาษที่ผลิตโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 1 ไปผลิตเป็นกระดาษในขั้นตอนต่อไป

4.1.4. ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษจากฟางข้าวโพนงาม 3

แผ่นกระดาษ ขนาด 25x25 เซนติเมตร ที่ผลิตจากเยื่อกระดาษฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยใช้น้ำหนัก 20 30 40 และ 50 กรัม ของเยื่อเปียก นำแผ่นกระดาษไปทดสอบสมบัติของกระดาษ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระดาษจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3

น้ำหนักเยื่อเปียก (g)	สมบัติของแผ่นกระดาษ		
	ความหนาของแผ่นกระดาษ (mm)	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	ความต้านทานแรงดึง (N/mm^2)
20	0.15 ± 0.01^{c}	113.60 ± 0.78^{c}	0.30 ± 0.01^{b}
30	0.27 ± 0.02^{b}	172.80 ± 1.51^{b}	0.34 ± 0.02^{b}
40	0.38 ± 0.02^{a}	212.80 ± 1.66^{b}	0.44 ± 0.01^{a}
50	0.39 ± 0.02^{a}	268.32 ± 1.89^{a}	0.45 ± 0.04^{a}
SEM	0.3	1.12	0.21
F-Test	**	**	**

a, b, c หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
(P-value ≤ 0.05)

จากผลการทดลอง พบว่าความหนาของแผ่นกระดาษ และน้ำหนักมาตรฐานมีความแตกต่างกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ในการทำแผ่น เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยและการซ้อนทับกันของเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลต่อสมบัติของกระดาษในด้านความต้านทานแรงดึงแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพบว่า ความต้านทานแรงดึงแผ่นกระดาษ 50 กรัม ของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าต้านทานแรงดึงมากสุด เท่ากับ 0.45 ± 0.04 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร รองลงมาคือน้ำหนัก 40 30 และ 20 กรัม มีค่าความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 0.44 ± 0.01, 0.34 ± 0.02 และ 0.30 ± 0.01 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรนุช และคณะ (2560) ที่ได้ทำศึกษาการพัฒนากระดาษจากฟางข้าวสำหรับงานดอกไม้ประดิษฐ์ โดยขึ้นแผ่นกระดาษ ขนาด 19x26 เซนติเมตร ที่ใช้น้ำหนัก 50 60 70 และ 80 กรัม ของน้ำหนักเยื่อเปียกปั่นผสมเยื่อและแป้งต้มสุก 25 มิลลิกรัม พบว่า เมื่อใช้น้ำหนักเยื่อเปียกมากกว่า คือ 80 กรัม มีค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ทำการศึกษาครั้งนี้ยังมีค่าน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อพืชอื่นๆ เนื่องจากความยาวของเส้นใยและความแข็งแรงของเส้นใยพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสมบัติของกระดาษฟางข้าวให้มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้นเพื่อพัฒนาไปเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์ โดยเลือกใช้เยื่อเปียก 50 กรัม ไปทำแผ่นกระดาษและทำการปรับปรุงสมบัติของกระดาษต่อไป

4.2. ผลของการปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว

4.2.1. ผลการศึกษาหาปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติกระดาษฟางข้าว

การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าวให้มีความแข็งแรงมากขึ้นโดยการใช้แป้งนั้น ได้มีการศึกษาหาปริมาณแป้งที่เหมาะสม โดยใช้เยื่อกรดาษเปียกในปริมาณ 4 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก ในปริมาณอย่างละ 4 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 2 4 6 และ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มาปั่นผสมกับน้ำ 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปเทผ่านชุดกรองสุญญากาศ สังเกตความใสของน้ำและนำเอาน้ำที่ได้ไปวัดความขุ่น ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 4 มีเส้นใยและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ได้แก่ เยื่อใยละเอียด (cellulosic fine) และแป้งสุกที่กระจายตัวอยู่ในน้ำที่เทผ่านชุดกรองสุญญากาศ สังเกตได้จากน้ำที่ได้ยังมีความขุ่นอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 น้ำที่ได้มีความขุ่นน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 78.57 และ 86.53 NTU (ตารางที่ 12) ส่วนปริมาณแป้งที่ใช้ร้อยละ 8 น้ำที่เทผ่านชุดกรองสุญญากาศมีความขุ่นขาวซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีการใช้ปริมาณแป้งมากเกินทำให้แป้งหลุดออกมากับน้ำ โดยในกระบวนการผลิตช่วงเปียกโดยมีการเติมแป้งลงไป เป็นการเพิ่มสารตกค้าง (retention acid) ทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและอนุภาคอื่นๆ จับตัวกันทั้งคงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้น ช่วยให้การระบายน้ำ (dewatering) ผ่านแผ่นกระดาษได้ดีขึ้น (นพมาส, 2553) ดังนั้น ใช้ปริมาณแป้งร้อยละ 6 ทั้งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า น้ำที่ได้มีความขุ่นน้อยที่สุด แสดงว่าแป้งสามารถยึดเกาะผิวของเส้นใยได้ดีที่สุด จึงเลือกนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระดาษต่อไป

ตารางที่ 12 ค่าความขุ่นของน้ำผ่านชุดกรองศุญญากาสที่วัดด้วยเครื่องวัดความขุ่น

ความเข้มข้นของแป้ง (ร้อยละ)	ค่าความขุ่นของน้ำ (NTU)	
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวเจ้า
2	90.58	112
4	136.55	120.55
6	78.57	86.53
8	106.16	123.11

4.2.2. ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นกระดาษจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า

4.2.2.1. ผลของสมบัติของแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า

การปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยการใช้เยื่อกระดาษ 50 กรัม กับแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 และใช้เยื่อกระดาษ 50 กรัม กับแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก ร้อยละ 6 ของน้ำหนักเยื่อเปียกต่อปริมาตร นำไปปั่นผสมกับน้ำ 1 ลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปขึ้นแผ่นกระดาษด้วยเฟรม ขนาด 25x25 เซนติเมตร เมื่อนำกระดาษที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติของกระดาษ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และความต้านแรงดึงของแผ่นกระดาษฟางข้าว

แผ่นกระดาษ	**สมบัติของแผ่นกระดาษ**		
	ความหนา (mm)	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	ความต้านทานแรงดึง (N/mm^2)
กระดาษฟางข้าว	0.63 ±0.03	268.32 ± 1.89	0.32 ± 0.02^{c}
กระดาษปรับปรุงแป้งมันสำปะหลัง 6 %	0.53 ± 0.05	228.96 ± 0.22	2.12 ± 0.39^{b}
กระดาษปรับปรุงแป้งข้าวเจ้า 6 %	0.57 ± 0.06	242.72 ± 0.25	3.04 ± 0.37^{a}
SEM	0.021	0.482	0.41
F-Test	ns	ns	**

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value ≥ 0.05)

a, b, c หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value ≤ 0.05)

จากผลการทดลอง พบว่าความหนา และน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นกระดาษฟางข้าว (control) แผ่นกระดาษฟางข้าวปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุกร้อยละ 6 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าว (control) มีค่าเท่า 0.32 ± 0.02 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าของกระดาษสาที่ทำถุงกระดาษสา ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 0.90 ± 0.36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (ที่ได้ทำการทดสอบคู่กับงานวิจัยครั้งนี้) แต่เมื่อทำการปรับปรุงกระดาษฟางข้าวด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 และแป้งข้าวเจ้าต้มสุก ร้อยละ 6 ทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงดึงสูงเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกระดาษฟางข้าว (control) ที่ไม่ได้ทำการปรังปรุง ซึ่งในกระบวนการผลิตช่วงเปียกที่มีการเติมแป้งลงไป แป้งทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและอนุภาคจับตัวกันอยู่ในเนื้อกระดาษ และยังช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเองรวมทั้งเส้นใยกับอนุภาคได้ดีขึ้น กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น (นพมาส, 2553) และจากผลการทดสอบ พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุก เป็นกระดาษที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 3.04 ± 0.37 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนกระดาษฟางข้าวปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 มีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 2.12 ± 0.39 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

4.2.2.2. ผลของสมบัติของแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่อัดด้วยเครื่องอัด

แผ่นกระดาษ ขนาด 25x25 เซนติเมตร ที่ทำการปรับปรุงสมบัติของกระดาษฟางข้าวด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 และกระดาษฟางข้าวปรับปรุงแป้งข้าวเจ้าต้มสุกร้อยละ 6 ที่นำไปอัดด้วยเครื่องอัดที่มีแรงอัด 2,500 ปอนด์ต่อนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ แสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และความต้านแรงดึงของแผ่นกระดาษที่อัดด้วยเครื่องอัด

แผ่นกระดาษ	**สมบัติของแผ่นกระดาษอัดด้วยเครื่องอัด**		
	ความหนา (mm)	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	ความต้านทานแรงดึง (N/mm^2)
กระดาษฟางข้าว	0.39 ± 0.02	268.32 ± 1.89	0.45 ±0.04^b
กระดาษปรับปรุงแป้งมันสำปะหลัง 6 %	0.39 ± 0.01	225.28 ± 0.17	4.35 ± 0.18^a
กระดาษแป้งปรับปรุงข้าวเจ้า 6 %	0.45 ± 0.03	236.96 ± 0.06	4.61 ± 0.93^a
SEM	0.012	0.511	0.69
F-Test	ns	ns	**

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value ≥ 0.05)
a, b หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
(P-value ≤ 0.05)

ผลการทดลองพบว่า แผ่นกระดาษฟางข้าว (control) แผ่นกระดาษฟางข้าวที่ทำปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 และแผ่นกระดาษฟางข้าวปรับปรุงแป้งข้าวเจ้าต้มสุก ร้อยละ 6 ที่ทำการอัดด้วยเครื่องอัด 2,500 ปอนด์ต่อนิ้ว มีความหนา และน้ำหนักมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าว (control) ที่อัดด้วยเครื่องอัดมีค่าเท่ากับ 0.45 ± 0.04 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ พบว่า ความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงแป้งข้าวเจ้าต้มสุก และกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 ไม่มีความแตกต่างกัน คือ มีค่าเท่ากับ 4.61 ± 0.93 และ 4.35 ± 0.18 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

4.2.2.3. เปรียบเทียบสมบัติแผ่นกระดาษฟางข้าวในด้านความต้านทานแรงดึงก่อน และหลังการปรับปรุงด้วยแป้งที่ไม่ผ่านการอัด และผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด

การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากฟางข้าว (control) กระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 และกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุก ร้อยละ 6 ทั้งกระดาษที่ไม่อัดและกระดาษที่อัดด้วยเรื่องอัดที่มีแรงอัด 2,500 ปอนด์ต่อนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงแผ่นกระดาษฟางข้าวที่ไม่ผ่านการอัดและผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด

แผ่นกระดาษ	ความต้านแรงดึงแผ่นกระดาษ (N/mm^2)		SEM	T-Test
	ไม่ผ่านการอัด	ผ่านการอัด		
กระดาษฟางข้าว	0.32 ± 0.02^{b}	0.45 ± 0.04^{a}	0.03	**
กระดาษปรับปรุงแป้งมันสำปะหลัง 6 %	2.12 ± 0.39^{b}	4.35 ± 0.18^{a}	0.51	**
กระดาษแป้งปรับปรุงข้าวเจ้า 6 %	3.04 ± 0.37^{a}	4.61 ± 0.93^{a}	0.43	ns

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value ≥ 0.05)
a, b แนวนอนหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
(P-value ≤ 0.05)

จากตารางที่ 15 ความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากฟางข้าว (control) และกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งสำปะหลังต้มสุก ร้อยละ 6 ที่ไม่ผ่านการอัดและผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุก ร้อยละ 6 ทั้งที่ผ่านการอัด และไม่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด พบว่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวที่ทำการทดลองครั้งนี้ พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งทั้งสองชนิดที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดมีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นสูงมาก เนื่องจากแรงอัดทำให้เส้นใยกระดาษที่ซ้อนทับกันแน่นมากขึ้นรวมทั้งแป้งที่มีอยู่ในเนื้อกระดาษจับตัวกับเส้นใยเยื่อกระดาษได้ดีขึ้น จึงส่งผลต่อสมบัติในด้านความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดมีค่าเพิ่มขึ้นสูงมากกว่าหนึ่งถึงสองเท่าของค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวปรับปรุงด้วยแป้งที่ไม่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากชนิดฟางข้าวที่ให้สมบัติของเยื่อและกระดาษ

จากผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยการต้มเยื่อโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลง และพบว่าฟางข้าวโพนงาม 3 ให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุดในการต้มเยื่อที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวทั้งก่อน และหลังการต้มเยื่อที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงกว่า เส้นใยเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากชนิดฟางข้าว ทั้ง 3 ชนิด ที่ทำการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาผลผลิตของเยื่อกระดาษทั้ง 3 ชนิดแล้ว เห็นว่าชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตกระดาษมากกว่าชนิดฟางข้าวหนอนและฟางข้าวถิ่นแก้ว เนื่องจากได้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด และเมื่อพิจารณาลักษณะผลของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าว คือเยื่อกระดาษที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ได้เส้นใยมีความละเอียด และมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับนำไปผลิตเป็นแผ่นกระดาษ

การผลิตกระดาษโดยใช้เยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยใช้น้ำหนัก 20 30 40 และ 50 กรัม ของเยื่อเปียก ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ พบว่าแผ่นกระดาษมีความหนา และน้ำหนักมาตรฐานแตกต่างกันตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ในการทำแผ่น และส่งผลต่อสมบัติของกระดาษในด้านความต้านทานแรงดึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นกระดาษ 50 กรัม มีค่ามากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.45 ± 0.04 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

2. การปรับปรุงสมบัติของกระดาษจากฟางข้าว

จากผลการปรับปรุงสมบัติของกระดาษฟางข้าวที่ดีที่สุดโดยการใช้เยื่อกระดาษ 50 กรัม กับแป้งมันสำปะหลังต้มสุก และแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก ร้อยละ 6 พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งมันสำปะหลังต้มสุก และกระดาษฟางข้าวปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นสูงมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับ

กระดาษฟางข้าว (control) และพบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุกเป็นกระดาษที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 3.04 ± 0.37 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ได้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นสูงกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด ซึ่งแรงอัดทำให้เส้นใยกระดาษที่ซ้อนทับกันแน่นมากขึ้นรวมทั้งแป้งที่มีอยู่ในเนื้อกระดาษจับตัวกับเส้นใยเยื่อกระดาษได้ดีขึ้น แต่พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุก ร้อยละ 6 ที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดและไม่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้น การปรับปรุงสมบัติของกระดาษเพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถใช้แป้งสุกปั่นผสมเยื่อในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ทำให้ได้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากแป้งทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็ก และแป้งสุกจับตัวกันอยู่ในเนื้อกระดาษ และยังช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเองรวมทั้งเส้นใยกับแป้งสุกได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น และจากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ กระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุกเป็นกระดาษที่มีความแข็งแรงมากที่สุด ซึ่งกระดาษฟางข้าวที่ได้จากผลการทดลองครั้งนี้คือผลิตภัณฑ์ที่มุ่งหวังเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ และพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ในอนาคต

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยเพิ่มเวลาในการต้มเยื่อเป็น 3 ชั่วโมง เพื่อให้ได้เยื่อกระดาษที่มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อให้ได้เยื่อที่มีความเหมาะสมนำไปผลิตกระดาษ และ เพื่อเป็นลดการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อให้น้อยลง ทั้งยังได้ผลผลิตเยื่อมากขึ้น
2. ควรมีทดลองโดยการลดน้ำยาต้มเยื่อกระดาษจาก 30 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้งมาเป็น 20-25 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง
3. ควรมีการศึกษาการผลิดเยื่อและกระดาษจากฟางข้าวชนิดอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติของกระดาษที่มีในงานวิจัยคั้งนี้
4. ควรมีการทดสอบสมบัติของกระดาษในด้านต่างๆ เพิ่มอีก เช่น ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงฉีกขาด และอื่นๆ เป็นต้น

บรรณานุกรม

Casey, J.P. 1980. Pulping: Pulp and Paper-Chemical and Chemical Technology. Wiley-Inter science, New York.

Fan, L.T., Gharpuray, M.M, Lee, Y.-H, 1987. Enzymatic hydrolysis in Cellulose Hydrolysis, Ed. by SpringerVerlag Berlin Heidelberg.

Goering, H.K and Van Soest, P.J, 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some application) Research Service. Handbook number 379 as modified by D.R. Mertens 1992, Personal Communication).

Kanokkanjana, K and Garivait, S, 2013. Alternative Rice Straw Management Practices to Reduce Field Open Burning in Thailand. International Journal of Environmental Science and Development, 4

Ma Hnin, W. Y, Win. E.E.T. and Daw. T. T. 2019. Study on Manufacture of Paper Sheet from Rice Straw. International Journal of Science and Engineering Applications Volume 8–Issue 01, 12-15, ISSN:-2319–7560

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. 2555. โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลโลสเชิงพาณิชย์. กระทรวงพลังงาน

กรมพัญนาที่ดิน. 2548. งดการเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน ฟื้นสิ่งแวดล้อม. กรมพัญนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กระทรวงแผนการและการลงทุน. 2559. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 5 ปี ครั้งที่ 8

กัญญา จิระเจริญรัตน์. 2555. การย่อยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียในกระเพาะหมักของกระบือ

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กองสหวาด ทองจันมา และสหวัด วี่ลีจี้. 2555. สายพัณฑ์ข้าวถิ่นแก้ว. ศูนย์ค้นคว้ากะสิกำเขตภูดอย สถาบันค้นคว้ากะสิกำ และป่าไม้แห่งชาติ.

กานต์พิชชา สุวรรณวัฒนเมธี, คมสัน วัวัฒน์ชัยมณี และสริยา ลิวิจิตร. 2552. การศึกษาและผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากต้นกล้วยน้ำว้า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

โครงการค้นคว้าข้าวแห่งชาติ โครงการร่วมมือลาว-อีรี. 2548. ข้อแนะนำในการนำใช้แนวพันธุ์ข้าวอยู่ สปป ลาว สถาบันค้นคว้ากะสิกำ และป่าไม้

โครงการศึกษาศักยภาพและการใช้ประโยชน์ เบื้องต้นของชีวมวล ของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมไม้ ฟาร์มกาแฟ และขยะ. 2547. โครงการร่วมมือด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2557. วัสดุอ่อนตัวสำหรับการบรรจุ อัฟโฟรเอป กรุงเทพฯ.

จารุกร สุวรรณเมือง. 2547. การกำจัดลิกนินโดบวิธีทางชีวภาพออกจากฟางข้าวเพื่อพัฒนาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวโดยใช้เชื้อราไวท์ร็อท: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

จุฬาลักษณ์ จารุจุฑารัตน์, วงศ์ทอง เขียนวงศ์ และจักฤษณ์ พนาลี. 2560. การออกแบบบรรจุภัณฑ์เสริมภาพลักษณ์ผลิตภัณฑ์จากฟางข้าวสำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มกรณีศึกษา: ชุมชนสี่แยกบ้านแขก แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร.

เจษฎา สุวรรณ. 2535. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเยื่อสากับเยื่อชนิดใยสั้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้เยื่อสาในการผลิตกระดาษสา ในพาคเหนือ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ใจ บุนพะนุไซ, เพ็ดมะนีแสง ช้างไซยะสาน, พูมี อินทะปันยา, และฟูกูตา โยชิมิชิ. 2555. การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวลาว. The Lao Journal of Agriculture and Forestry No. 25

ชญานิน วังตาล และรักชนก อนิจันทร์. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑก์ระดาษจากชานอ้อยของชุมชนบ้านป่าก่อพฒันา ตำบลดงมะดะ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย วิจัยและนวัตรรมขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 13. หน้า 916.

ชยาภาส ทับทอง. 2549. กระดาษทำมือจากต้นกล้วย: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กันยายน 2549 หน้า 3

ชัยพร สามพุ่มพ่วง, รังสินี โสธรวิทย์, วุฒินันท์ คงทัด และวารุณี ธนะแพสย์. 2550. การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวแบบพื้นบ้าน. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45

ฐัตารินีย์ สุโรพันธ์. 2562. การผลิตกระดาษจากเศษผ้าฝ้าย. ว. ผลงานวิขาการ ปีที่ 8 ฉบับที่ 8 สิงหาคม 2562 กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 27-28.

ธนพรรณ บุณรัตกลิน, ทรงสิริ วิชิรานนท์ และอุดม พลเยียม. 2545. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากฟางข้าว. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขคโชติเวช.

ธีระ ตั้งวิชาชาญ. 2539. องค์ประกอบของกระดาษ. ในเอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช นนทบุรี, หน้า 14-25.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2558. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากแบบไม่พลิกกลับกอง วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1.

นพมาส เยื่อมสวัสดิ์. 2553. ผลของการฉาบภายนอกของสารละลายแป้งต่อสมบัติของผิวกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ. 2557. การผลิตแก๊สชีวภาพจากฟางข้าว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พินิจกานต์ อารีวงษ์ และวรรณิษา นาคแกมทอง. 2555. การผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับวิธีโซดา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

พูมี อินทะปันยา, จันทะคอน บัวละพัน, เพ้ดมะนีแสง ช้างไซยะสาน, ใจ บุนพะนุไซ, กงปัน กันยาวง, พูดาไล ลัดวิไลวง, และวอละจิด สีหาเทบ. 2556. การนำใช้พันธุ์ข้าวนาใน สปป.ลาว. วาละสารกะสิกรรมและป่าไม้ 28 (ฉบับพิเศษ) หน้า 156.

เยาวลักษณ สุรพันธพิศิษฐ. 2527. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งบางชนิด. วารสารเกษตรพระจอม เกล้า ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 กรุงเทพฯ

รัชพล พะวงศ์รัตน์. 2558. กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม–มิถุนายน 2558).

ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล. มปป. ลิกนิน-แทนนิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www2.diw.go.th/research/.pdf 8/12/2563

รุงอรุณ วัฒนวงศ, นายธีระชัย รัตนโรจนมงคล และนายจิระศักดิ์ ชัยสนิท. 2542. การผลิตเยื่อปอสาคุณภาพสูง: รายงานวิจัย หนวยงาน สำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร บริการ

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์. 2551. ไบโอมป่าสน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://biology.ipst.ac.th/?p=878 02/08/2563

วรรณพร ศิริโรจน์. 2529. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการแปรสภาพทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จาฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิสัย ล่ำสุข. 2548. การผลิตกระดาษจากฟางข้าว.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

วุฒินันท์ คงทัด. 2545. กระดาษทำด้วยมือ. เอกสารประกอบการฝึกอบรม สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วุฒินันท์ คงทัด, วารุณี ธนะแพสย์, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, ชัยพ, สามพุ่มพ่วง และพิรุณ สีนวล. 2547. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสาผสมฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42

สมหวัง ขันติยานุวงศ์. 2546. เอกสำรประกอบการสอน วิชา โครงสร้างและคุณสมบัติของกระดาษ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2553. เลื่องการไถกลบตอซังเพื่อปรังปรุงดินและเพิ่มผลผลิต

ข้าว. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักวิจัยพัฒนาการจัดการป่าไม้เศรษฐกิจอย่างยั่งยืน และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. 2560. สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัยในพื้นที่สวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.

สุกัลยา พลเดช.มปป. แป้ง (Flour) และสตาร์ซ (Starch) ต่างกันอยางไร [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.dss.go.th › images › st-article › clpt-11-2556-flour 20/07/2563

สุจยา ฤทธิศร, รัตนเลิศนุสรณ์ สุกาญจน์ และลุนพรม ศิริพร. 2554. การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ Trichoderma viride. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สุพิตา สุขจำเริญ. 2551. การเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อและกระดาษจากส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโพดต่างพันธุ์ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์ค้นคว้ากสิกรรมเขตภูดอย, สถาบันค้นคว้ากะสิกำและป่าไม้แห่งชาติ. 2557. บางข้อแนะนำเกี่ยวกับกานปลูกแนวพันข้าวหนอน (ข้าวเหนียว).

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. 2534. การแปรสภาพแป้งข้าวเจ้าโดยวิธีทางเคมีและการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

อรนุช คำแปน, ญาดา ลูนเฉริญ และชนิดา สายปัญญา. 2560. การพัฒนากระดาษจากฟางข้าวสำหรับงานดอกไม้ประดิษฐ์ บ้านขามสุ่มเวียง อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่. วารสาร วิชาการเทคโนโลยีอุตสาหากรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ฉบับที่ 2 (ปีที่ 5), 49-58.

อุษารัตน์ รัตนคฐนวณ. 2557. การเตรียมเซลลูโลสดัดแปรที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรภายใต้พลังงานไมโครเวฟ: รายงานผลการวิจัย มหาวทิยาลยัแม่โจ้ หน้า 22

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณการเตรียมเยื่อ สารเคมี และปริมาณแป้งผสมเยื่อ

การคำนวณการเตรียมเยื่อและสารเคมี

วิธีการคำนวณปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อ

สูตรวิธีการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มเยื่อ

$$\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (g)} = \frac{\text{น้ำหนักฟางข้าวแห้ง} \times \text{ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์}}{100}$$

- หาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มเยื่อ

เมื่อต้องการใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มเยื่อร้อยละ 1 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง 20 g โดยใช้น้ำยาต้มเยื่อ 30 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

จากสมการ

$$\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (g)} = \frac{\text{น้ำหนักฟางข้าวแห้ง} \times 30 \times 1}{100}$$

$$= \frac{20 \times 30 \times 1}{100}$$

$$= 6 \text{ g}$$

ดังนั้นต้องชั่งปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 6 g เพื่อให้ได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

- การคำนวณอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ในการต้มเยื่อ
  - ในสารละลายน้ำ 100 ml : โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1 g
  - โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทั้งหมด เท่ากับ 6 g

จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 ที่ใช้ในการต้มเยื่อ

$$= \frac{100 \text{ ml} \times \text{โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทั้งหมด เท่ากับ } 6 \text{ g}}{\text{โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ } 1 \text{ g}}$$

$$= 600 \text{ ml}$$

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 ที่ใช้ในการต้มเยื่อ เท่ากับ 600 ml ต่อน้ำหนักฟางข้าวแห้ง 20 g

วิธีการคำนวณร้อยละผลผลิตของเยื่อ (%Yield) ที่ผลิตได้หลังการต้มเยื่อ

สูตรการคำนวนณหาร้อยละของผลผลิตของเยื่อ

$$\textbf{(\%Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังต้มเยื่อ} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนต้มเยื่อ}}$$

- หาร้อยละผลผลิตของเยื่อ (%Yield) ของเยื่อฟงข้าวที่ได้หลังการต้มเยื่อเมื่อ ใช้ น้ำหนักฟางข้าวแห้งก่อนต้มเยื่อ เท่ากับ 20g น้ำหนักเยื่อแห้งหลังการต้มเยื่อ เท่ากับ 5.72g

จากสมการ จะได้

$$(\%Yield) = \frac{5.72g \times 100}{20g}$$

$$= 28.60\%$$

ดังนั้น ร้อยละผลผลิตของเยื่อฟงข้าวที่ได้หลังการต้มเยื่อ เท่ากับ 28.60%

การคำนวณปริมาณแป้งผสมเยื่อ

วิธีการคำนวณปริมาณแป้งที่ใช้ในการผสมเยื่อเพื่อปรับปรุงกระดาษ

สูตรวิธีการคำนวณปริมาณแป้งที่ใช้ในการผสมเยื่อ

$$\text{ปริมาณแป้ง (g)} = \frac{\text{น้ำหนักเยื่อ (g) x ความเข้มข้นของแป้ง}}{100}$$

- หาปริมาณแป้งที่ใช้ในการผสมเยื่อ

เมื่อต้องการใช้ปริมาณแป้งร้อยละ 6 ที่ใช้ในการผสมพื่อปรับปรุงกระดาษ โดยใช้น้ำหนักเยื่อเปียก 50 g

จากสมการ จะได้

$$\text{ปริมาณแป้ง (g)} = \frac{50 \text{ g} \times 6}{100}$$

$$= 3 \text{ g}$$

ดังนั้นต้องชั่งปริมาณแป้ง เท่ากับ 3 g เพื่อให้ได้แป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

- การคำนวณอัตราส่วนของแป้งต้มสุก ใช้ในการผสมเยื่อ
    - ในแป้งต้มสุก 100 ml : แป้ง 6 g
    - ต้องการแป้ง 3 g

จะได้แป้งต้มสุกเข้มข้นร้อยละ 6 ที่ใช้ในการผสมเยื่อ

$$= \frac{100 \text{ ml x แป้งที่ต้องการ เท่ากับ 3 g}}{\text{แป้ง 6 g}}$$

$$= 50 \text{ ml}$$

ดังนั้น แป้งต้มสุกเข้มขุ้นร้อยละ 6 ที่ใช้ในการผสมเยื่อเพื่อปรับปรุงกระดาษ เท่ากับ 50 ml ต่อน้ำหนักเยื่อเปียก 50 g

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

Oneway

[DataSet0]

Descriptives

yield

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	95% Confidence Interval for Mean Upper Bound	Minimum	Maximum
phon3	2	28.6000	.84853	.60000	20.9763	36.2237	28.00	29.20
non	2	21.4250	.45962	.32500	17.2955	25.5545	21.10	21.75
tinkeo	2	23.2250	2.43952	1.72500	1.3068	45.1432	21.50	24.95
Total	6	24.4167	3.53902	1.44480	20.7027	28.1306	21.10	29.20

ANOVA

yield

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	55.741	2	27.870	12.148	.036
Within Groups	6.882	3	2.294		
Total	62.623	5			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

yield

Duncan

NaOH1	N	Subset for alpha = 0.05 1	Subset for alpha = 0.05 2
non	2	21.4250	
tinkeo	2	23.2250	
phon3	2		28.6000
Sig.		.320	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Oneway

[DataSet1] C:\Users\lee\Desktop\data fiber paper.sav

Descriptives

fiberP3

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
p0.5	3	8.6200	1.12000	.64663	5.8378	11.4022	7.50	9.74
p1	3	7.7800	.86747	.50083	5.6251	9.9349	6.83	8.53
p2	3	7.5933	1.29083	.74526	4.3867	10.7999	6.33	8.91
p4	3	7.2700	1.10241	.63647	4.5315	10.0085	6.56	8.54
p6	3	7.1033	.26102	.15070	6.4549	7.7518	6.83	7.35
Total	15	7.6733	1.00420	.25928	7.1172	8.2294	6.33	9.74

ANOVA

fiberP3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.205	4	1.051	1.060	.425
Within Groups	9.913	10	.991		
Total	14.118	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

fiberP3

Duncan

Phon3	N	Subset for alpha = 0.05
		1
p6	3	7.1033
p4	3	7.2700
p2	3	7.5933
p1	3	7.7800
p0.5	3	8.6200
Sig.		.117

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Oneway

[DataSet1] C:\Users\lee\Desktop\data fiber paper.sav

Descriptives

fiberN

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
n0.5	3	9.3967	1.45809	.84183	5.7746	13.0188	8.15	11.00
n1	3	8.6600	1.82502	1.05368	4.1264	13.1936	6.83	10.48
n2	3	8.3700	.40262	.23245	7.3698	9.3702	7.93	8.72
n4	3	7.9533	1.07872	.62280	5.2736	10.6330	6.71	8.64
n6	3	7.4267	.99284	.57322	4.9603	9.8930	6.48	8.46
Total	15	8.3613	1.25755	.32470	7.6649	9.0577	6.48	11.00

ANOVA

fiberN

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.604	4	1.651	1.063	.424
Within Groups	15.536	10	1.554		
Total	22.140	14			

Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets

fiberN

Duncan

Non	N	Subset for alpha = 0.05
		1
n6	3	7.4267
n4	3	7.9533
n2	3	8.3700
n1	3	8.6600
n0.5	3	9.3967
Sig.		.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Oneway

Descriptives

fiberT

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
t0.5	3	9.2767	.52653	.30399	7.9687	10.5846	8.91	9.88
t1	3	7.7300	.75498	.43589	5.8545	9.6055	7.03	8.53
t2	3	7.6000	.69477	.40112	5.8741	9.3259	6.83	8.18
t4	3	6.9967	1.78551	1.03086	2.5612	11.4321	5.47	8.96
t6	3	6.8333	1.38146	.79759	3.4016	10.2651	5.79	8.40
Total	15	7.6873	1.31144	.33861	6.9611	8.4136	5.47	9.88

ANOVA

fiberT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.225	4	2.806	2.183	.144
Within Groups	12.853	10	1.285		
Total	24.078	14			

Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets

fiberT

Duncan

Thinkeo	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
t6	3	6.8333	
t4	3	6.9967	
t2	3	7.6000	7.6000
t1	3	7.7300	7.7300
t0.5	3		9.2767
Sig.		.387	.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Oneway

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Thickness20	20	3	.1500	.01000	.00577	.1252	.1748	.14	.16
	30	3	.2700	.02000	.01155	.2203	.3197	.25	.29
	40	3	.3833	.02517	.01453	.3208	.4458	.36	.41
	50	3	.3967	.02887	.01667	.3250	.4684	.38	.43
	Total	12	.3000	.10574	.03053	.2328	.3672	.14	.43
Weight20	20	3	7.1067	.78679	.45425	5.1522	9.0612	6.20	7.61
	30	3	10.8000	1.51852	.87672	7.0278	14.5722	9.83	12.55
	40	3	13.3067	1.66566	.96167	9.1689	17.4444	12.34	15.23
	50	3	16.7767	1.89088	1.09170	12.0795	21.4739	15.67	18.96
	Total	12	11.9975	3.91124	1.12908	9.5124	14.4826	6.20	18.96
Tensile20	20	3	.3000	.01000	.00577	.2752	.3248	.29	.31
	30	3	.3467	.02517	.01453	.2842	.4092	.32	.37
	40	3	.4467	.01528	.00882	.4087	.4846	.43	.46
	50	3	.4567	.04163	.02404	.3532	.5601	.41	.49
	Total	12	.3875	.07275	.02100	.3413	.4337	.29	.49

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Thickness20	Between Groups	.119	3	.040	80.723	.000
	Within Groups	.004	8	.000		
	Total	.123	11			
Weight20	Between Groups	149.726	3	49.909	21.524	.000
	Within Groups	18.550	8	2.319		
	Total	168.275	11			
Tensile20	Between Groups	.053	3	.018	26.086	.000
	Within Groups	.005	8	.001		
	Total	.058	11			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Thickness20

Duncan

Wetpul	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
20	3	.1500		
30	3		.2700	
40	3			.3833
50	3			.3967
Sig.		1.000	1.000	.482

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Weight20

Duncan

Wetpul	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
20	3	7.1067		
30	3		10.8000	
40	3		13.3067	
50	3			16.7767
Sig.		1.000	.079	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tensile20

Duncan

Wetpul	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
20	3	.3000	
30	3	.3467	
40	3		.4467
50	3		.4567
Sig.		.059	.650

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Oneway

[DataSet0] C:\Users\lee\Desktop\data analisis papermix.sav

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Thickness0	Control0	3	.6333	.03055	.01764	.5574	.7092	.60	.66
	PC0	3	.5300	.05292	.03055	.3986	.6614	.49	.59
	PR0	3	.5700	.06928	.04000	.3979	.7421	.53	.65
	Total	9	.5778	.06457	.02152	.5281	.6274	.49	.66
Weight0	Control0	3	16.7767	1.89088	1.09170	12.0795	21.4739	15.67	18.96
	PC0	3	14.3133	.22502	.12991	13.7544	14.8723	14.06	14.49
	PR0	3	15.1733	.25794	.14892	14.5326	15.8141	14.96	15.46
	Total	9	15.4211	1.44756	.48252	14.3084	16.5338	14.06	18.96
Tensile0	Control0	3	.3200	.02646	.01528	.2543	.3857	.29	.34
	PC0	3	2.1233	.39526	.22821	1.1414	3.1052	1.72	2.51
	PR0	3	3.0433	.37740	.21789	2.1058	3.9809	2.61	3.30
	Total	9	1.8289	1.23053	.41018	.8830	2.7748	.29	3.30

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Thickness0	Between Groups	.016	2	.008	2.863	.134
	Within Groups	.017	6	.003		
	Total	.033	8			
Weight0	Between Groups	9.378	2	4.689	3.810	.086
	Within Groups	7.385	6	1.231		
	Total	16.763	8			
Tensile0	Between Groups	11.515	2	5.757	57.697	.000
	Within Groups	.599	6	.100		
	Total	12.114	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Thickness0

Duncan

Treatment0	N	Subset for alpha = 0.05
		1
PC0	3	.5300
PR0	3	.5700
Control0	3	.6333
Sig.		.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Weight0

Duncan

Treatment0	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
PC0	3	14.3133	
PR0	3	15.1733	15.1733
Control0	3		16.7767
Sig.		.379	.127

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tensile0

Duncan

Treatment0	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Control0	3	.3200		
PC0	3		2.1233	
PR0	3			3.0433
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Oneway

[DataSet0] C:\Users\lee\Desktop\data analisis papermix.sav

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Thickness1	Control1	3	.3967	.02887	.01667	.3250	.4684	.38	.43
	Pc1	3	.3933	.01528	.00882	.3554	.4313	.38	.41
	PR1	3	.4500	.03464	.02000	.3639	.5361	.43	.49
	Total	9	.4133	.03640	.01213	.3854	.4413	.38	.49
Weight1	Control1	3	16.7767	1.89088	1.09170	12.0795	21.4739	15.67	18.96
	Pc1	3	14.0850	.17500	.10104	13.6503	14.5197	13.91	14.26
	PR1	3	14.8150	.06500	.03753	14.6535	14.9765	14.75	14.88
	Total	9	15.2256	1.53487	.51162	14.0457	16.4054	13.91	18.96
Tensile1	Control1	3	.4567	.04163	.02404	.3532	.5601	.41	.49
	Pc1	3	4.3533	.18230	.10525	3.9005	4.8062	4.19	4.55
	PR1	3	4.6167	.93061	.53729	2.3049	6.9284	3.58	5.38
	Total	9	3.1422	2.07247	.69082	1.5492	4.7353	.41	5.38

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Thickness1	Between Groups	.006	2	.003	4.015	.078
	Within Groups	.005	6	.001		
	Total	.011	8			
Weight1	Between Groups	11.626	2	5.813	4.830	.056
	Within Groups	7.221	6	1.203		
	Total	18.847	8			
Tensile1	Between Groups	32.559	2	16.279	54.205	.000
	Within Groups	1.802	6	.300		
	Total	34.361	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Thickness1

Duncan

Treatment1	N	Subset for alpha = 0.05
		1
Pc1	3	.3933
Control1	3	.3967
PR1	3	.4500
Sig.		.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Weight1

Duncan

Treatment1	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Pc1	3	14.0850	
PR1	3	14.8150	14.8150
Control1	3		16.7767
Sig.		.446	.071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tensile1

Duncan

Treatment1	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Control1	3	.4567	
Pc1	3		4.3533
PR1	3		4.6167
Sig.		1.000	.578

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

```
ONEWAY PC PC6 PR6 BY treament
  /STATISTICS DESCRIPTIVES
  /MISSING ANALYSIS
  /POSTHOC=DUNCAN ALPHA(0.05).
```

Oneway

Descriptives

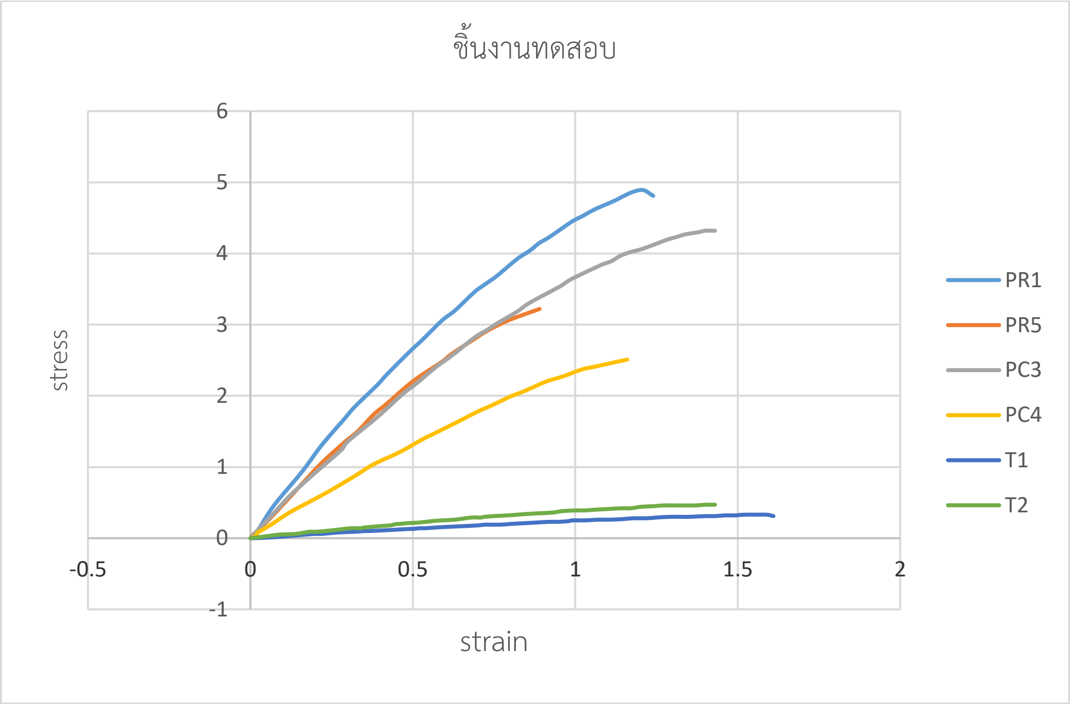
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
PC	unpress	3	.3200	.02646	.01528	.2543	.3857	.29	.34
	press	3	.4567	.04163	.02404	.3532	.5601	.41	.49
	Total	6	.3883	.08110	.03311	.3032	.4734	.29	.49
PC6	unpress	3	2.1233	.39526	.22821	1.1414	3.1052	1.72	2.51
	press	3	4.3533	.18230	.10525	3.9005	4.8062	4.19	4.55
	Total	6	3.2383	1.25206	.51115	1.9244	4.5523	1.72	4.55
PR6	unpress	3	3.0433	.37740	.21789	2.1058	3.9809	2.61	3.30
	press	3	4.6167	.93061	.53729	2.3049	6.9284	3.58	5.38
	Total	6	3.8300	1.07051	.43704	2.7066	4.9534	2.61	5.38

[DataSet0]

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
PC	Between Groups	.028	1	.028	23.027	.009
	Within Groups	.005	4	.001		
	Total	.033	5			
PC6	Between Groups	7.459	1	7.459	78.740	.001
	Within Groups	.379	4	.095		
	Total	7.838	5			
PR6	Between Groups	3.713	1	3.713	7.364	.053
	Within Groups	2.017	4	.504		
	Total	5.730	5			

กราฟความต้านแรงดึงของกระดาษฟางข้าว



PR1: กระดาษปรับปรุงแป้งข้าวเจ้า ร้อยระ 6 ที่อัดด้วยเครื่องอัด

PR5: กระดาษปรับปรุงแป้งข้าวเจ้า ร้อยระ 6

PC3: กระดาษปรับปรุงแป้งมันสำปะหลัง ร้อยระ 6 ที่อัดด้วยเครื่องอัด

PC4: กระดาษปรับปรุงแป้งมันสำปะหลัง ร้อยระ 6

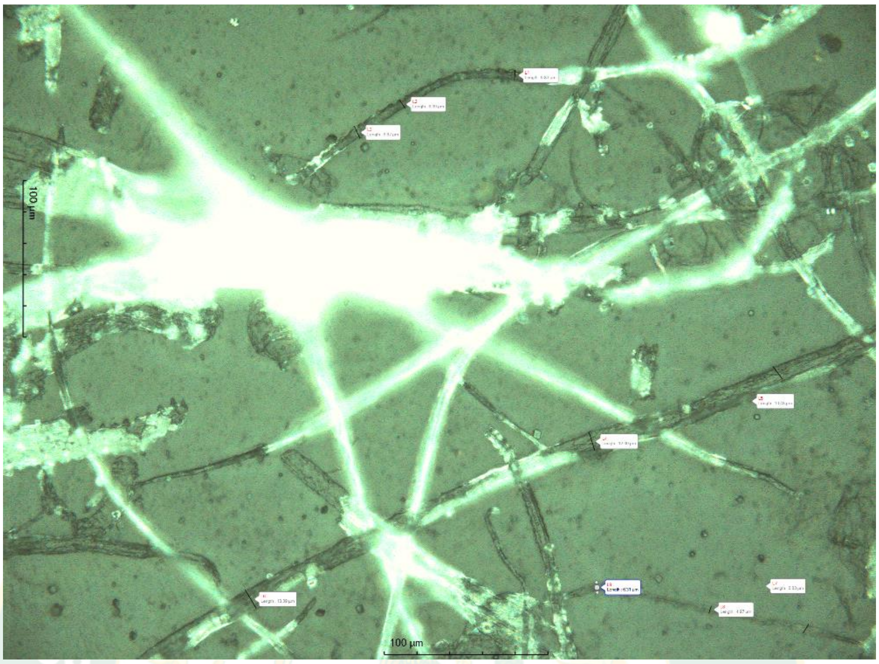
T1: กระดาษฟางข้าว

T2: กระดาษฟางข้าวที่อัดด้วยเครื่องอัด

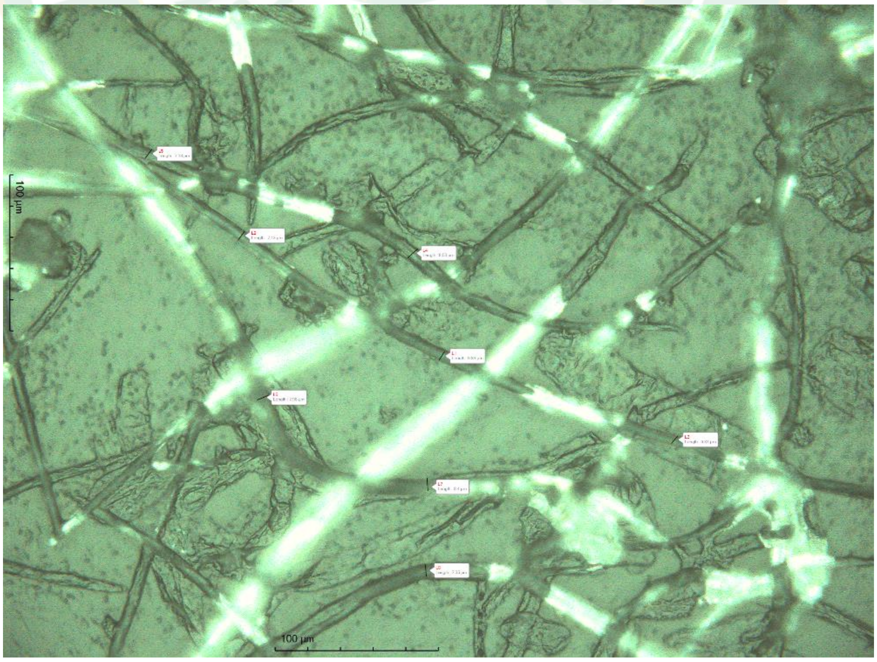
ภาคผนวก ค

รูปภาพประกอบ

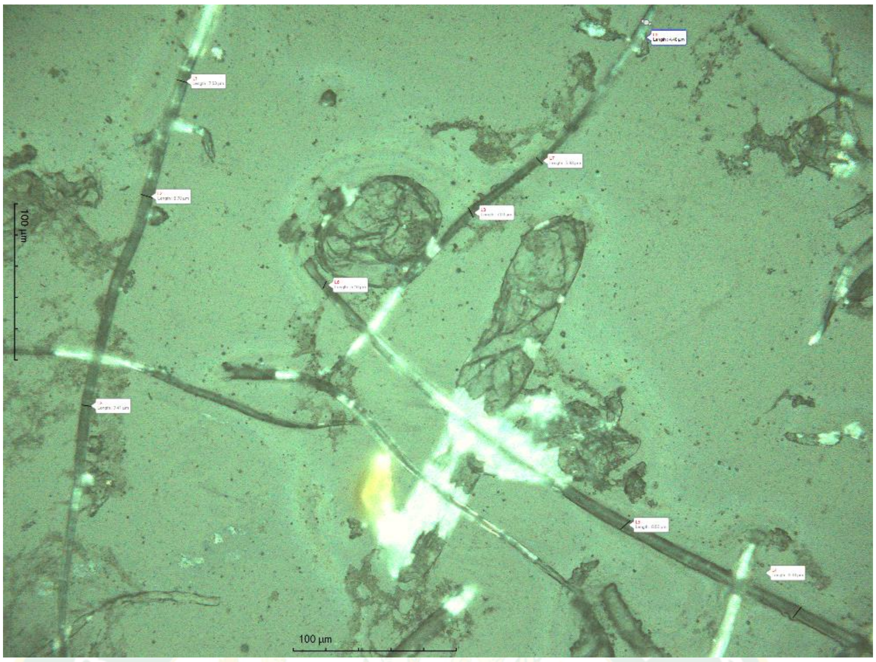
ภาพจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (OLYMPUS U-MSSP4 NAPAN)



ภาพที ค-1 เส้นใยเยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าวหนอนที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 1



ภาพที่ ค-2 เส้นใยเยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าวโพนงาม 3 ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 1



ภาพที่ ค-3 เส้นใยเยื่อกระดาษจากชนิดฟางข้าวถิ่นแก้วที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 1

ภาพจากการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวชนิดต่าง ๆ

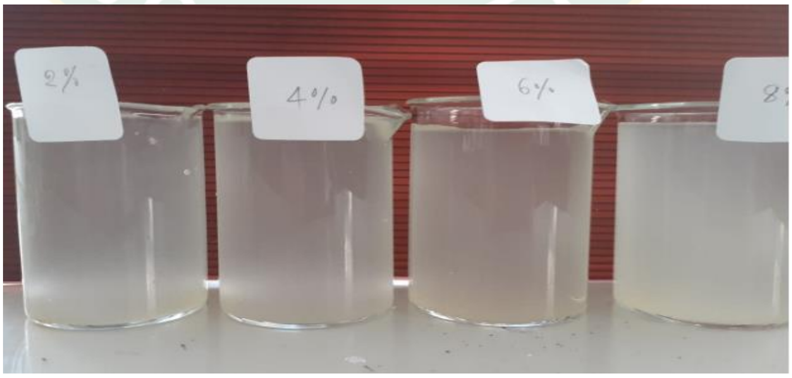
ภาพที่ ค-4 การต้มเยื่อกระดาษฟางข้าวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ ค-5 การต้มเยื่อกระดาษฟางข้าวในหม้อต้มโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และการล้างเยื่อ

ภาพที่ ค-6 การปั่นเยื่อและการขึ้นแผ่นกระดาษ

ภาพที่ ค-7 การวัดความหนาและการอัดแผ่นกระดาษด้วยเครื่องอัด

ภาพที่ ค-8 การต้มแป้ง และชุดกรองสุญญากาศ



ภาพที่ ค-9 การหาปริมาณแป้งที่เหมาะสมเพื่อใช้ปรับปรุงสมบัติของกระดาษ

ภาพที่ ค-10 เครื่องวัดความขุ่น (TURBIDIMETER)

ภาพที่ ค-11 แผ่กระดาษที่หาความขุ่นของน้ำที่ผ่านชุดกรองสุญญากาศ

MAEJO UNIVERSITY

ภาพที่ ค-12 การเตรียมชินกระดาษเพื่อทดสอบสมบัติของกระดาษ

ภาพที่ ค-13 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงกระดาษ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	Mr. Leulee Nortoualee
เกิดเมื่อ	02/01/1986
ประวัติการศึกษา	2004-2009 study at Souphanouvong University Luangprabang, LAO PDR.
ประวัติการทำงาน	2010-Now, work at Faculty of Agriculture and Forest Resource, Souphanouvong University, Luangprabang, LAO PDR.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY