โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การผลิตกระดาษจากเปลือกส้มโอ

(Papermaking from Pomelo Peel)

ชื่อนิสิต นาย พัชรพล จันทร์เพ็ญ **เลขประจำตัว** 6032626923

นาย ศิรา ชวลิตรุจิวงษ์ **เลขประจำตัว** 6032637823

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ปีการศึกษา 2563

การผลิตกระดาษจากเปลือกส้มโอ

Papermaking from Pomelo Peel

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ผศ. สมพร ชัยอารีย์กิจ

จัดทำโดย

นาย พัชรพล จันทร์เพ็ญ รหัสประจำตัวนิสิต 6032626923

นาย ศิรา ชวลิตรุจิวงษ์ รหัสประจำตัวนิสิต 6032637823

รายงานโครงการวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิจัย การผลิตกระดาษจากเปลือกส้มโอ

Papermaking from Pomelo Peel

ผู้ดำเนินการวิจัย นาย พัชรพล จันทร์เพ็ญ รหัสประจำตัวนิสิต 6032626923

นาย ศิรา ชวลิตรุจิวงษ์ รหัสประจำตัวนิสิต 6032637823

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพร ชัยอารีย์กิจ

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับว่าโครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่อง “การผลิตกระดาษจากเปลือกส้มโอ” เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

.....หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพร ชัยอารีย์กิจ)

ผู้ดำเนินงาน นายพัชรพล จันทร์เพ็ญ เลขประจำตัว 6032626923

นายศิรา ชวลิตรุจิวงษ์ เลขประจำตัว 6032637823

ชื่อโครงการ การผลิตกระดาษจากเปลือกส้มโอ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมพร ชัยอารีย์กิจ

บทคัดย่อ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อเปลือกส้มโอ โดยใช้กระบวนการต้มเยื่อแบบโซดา ซึ่งใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อ ในการทดลองนี้ได้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกันสองระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ระยะเวลาในการต้ม 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสสำหรับเยื่อที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และที่ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สำหรับเยื่อที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากนั้นนำเยื่อที่เตรียมได้มาหาค่าสภาพระบายได้ (Freeness) และคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Yield) นำเยื่อไปวัดลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย (Fiber Quality Analyzer, FQA) เพื่อหาความแตกต่างของเส้นใยที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สภาวะแตกต่างกัน จากนั้นนำเยื่อมาขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) และนำแผ่นทดสอบที่ได้ไปทดสอบทางกายภาพของกระดาษ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเปลือกส้มโอที่สภาวะต่างกัน ผลการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อพบว่า เยื่อที่นำมาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง เมื่อนำมาขึ้นแผ่นจะได้กระดาษที่มีความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงฉีกมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเยื่อมีสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ดีกว่าการต้มเยื่อด้วยสภาวะอื่น ๆ จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าการต้มเยื่อจากเปลือกส้มโอโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง เป็นสภาวะการต้มเยื่อที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองนี้

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน.....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

Student name Mr. Patcharapol Chanpen ID No. 6032626923

Student name Mr. Sira Chawalitrujiwong ID No. 6032637823

Project name Papermaking from Pomelo Peel

Project advisor Assist. Prof. Somporn Chaiarrekij

Abstract: This senior project was aimed to study the production and development of paper from pomelo peel. The project was started by pulping pomelo peel using soda process which utilizes Sodium Hydroxide (NaOH) as a pulping reagent. NaOH was employed at 2 dosage levels which were 10% and 20% based on oven dried (O.D.) pulp weight. Pulping was done for 1 hour at 160 °C for the case of using 20% NaOH. Also, pulping was completed for 2 hours at 100 °C for the case of using 10% and 20% NaOH. After pulping process was over, % pulp yield and pulp freeness were determined. Fiber morphology of each pulp were also examined using a fiber quality analyzer (FQA) to observe any difference of pulp fibers prepared from different pulping conditions. Handsheets were also made and tested for physical properties to find the effects of different pulping conditions on paper properties. It was found that Pulping with 20% NaOH at 100 °C for 2 hours provided handsheet with highest tensile strength, burst strength and tear resistance. This might be because better fiber morphology was obtained from this pulping condition and this NaOH dosage. Thus, it could be concluded that pulping of pomelo peel with 20% NaOH at 100 °C for 2 hours is the most suitable condition for this research work.

Department: Imaging and Printing Technology

Academic year: 2020

Student's signature.....Patcharapol Chanpen.....

Student's signature.....Sira Chawalitrujiwong.....

Advisor's signature.....Somporn Chij.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการดูแลและให้คำปรึกษาจนโครงการประสบความสำเร็จได้ด้วยดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพร ชัยอารีย์กิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ช่วยให้ข้อมูลความรู้ คอยให้คำแนะนำ แนวทางการแก้ไขปัญหา ร่วมแสดงความคิดเห็น และความช่วยเหลือในหลายๆด้าน จนทำให้โครงการประสบความสำเร็จได้ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคลากรและหน่วยงานต่าง ๆ สำหรับความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

คุณสมชาย ภวชินกร เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ คอยดูแล ควบคุมห้องปฏิบัติการในการทำโครงงานวิจัย

คุณบังอร พยอมแย้ม เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานเอกสาร ๆ ในโครงการ

พี่อติกานต์ ไกรโชค รุ่นพี่นิสิตปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ และพี่เก่าภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เสียสละเวลามาคอยช่วยเหลือดูแล ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ

เพื่อน ๆ นิสิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ช่วยเหลือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นในการดำเนินการต่าง ๆ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนให้งบประมานในการดำเนินการทำโครงการนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ ก

สารบัญ ข

สารบัญตาราง ง

สารบัญภาพ จ

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ 1

วัตถุประสงค์ของโครงการ 1

ขอบเขตของงานวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส้มโอ (Pomelo) 3

เส้นใย 4

ชนิดเส้นใย 4

การผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีเคมี (Chemical pulping) 5

สมบัติของกระดาษ (Paper properties) 5

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 8

วัตถุดิบและสารเคมี 12

วิธีการดำเนินการทดลอง 12

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ (Freeness) 14

ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Yield) และ %Reject ของเยื่อ 14

ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย (Fiber morphology) 15

สมบัติทางกายภาพของกระดาษ 16

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง 21

ข้อเสนอแนะ 21

บรรณานุกรม 22

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 23

ภาคผนวก ข 26

ภาคผนวก ค 27

ภาคผนวก ง 29

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 สภาวะการต้มเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ 13

ตารางที่ 4.1 สภาพระบายได้ของเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ 14

ตารางที่ 4.2 %Yield และ %Reject ของเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ 14

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ 15

ตารางที่ 4.4.3 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อความเรียบของกระดาษ 18

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบน้ำหนักแผ่นกระดาษ 26

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (Basic weight หรือ Grammage) 26

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness) 26

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบความพรุนของกระดาษ (Porosity) 26

ตารางที่ ค-1 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) 27

ตารางที่ ค-2 ค่าความต้านต่อแรงฉีก (Tear strength) 27

ตารางที่ ค-3 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) 28

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 3.1 เครื่องหาสภาพระบายได้ 8

ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดคุณภาพเส้นใย 8

ภาพที่ 3.3 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษอัตโนมัติ 9

ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดความหนา 9

ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง 10

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก 10

ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเรียบ 10

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดแรงดันทะลุ 11

ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความพรุน 11

ภาพที่ 4.4.1 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อความหนาแน่นปรากฏ 17

ภาพที่ 4.4.2 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อความเรียบ 17

ภาพที่ 4.4.4 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง 19

ภาพที่ 4.4.5 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ 19

ภาพที่ 4.4.6 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีก 20

ภาพที่ ง-1 ตัวอย่างของเยื่อเปียกของเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ 29

ภาพที่ ง-2 ตัวอย่างของ Reject ของเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ 29

ภาพที่ ง-3 ตัวอย่างกระดาษทดสอบจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ 29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

ส้มโอเป็นผลไม้ที่มีต้นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งในประเทศไทยส้มโอจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยและนิยมปลูกในภาคตะวันตกเป็นส่วนมาก ส้มโอเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์หลากหลายและมีสรรพคุณทางยาในการใช้รักษาต่าง ๆ ได้ เนื่องจากส้มโออุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และยังมีสารต่อต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากอีกด้วย ส้มโอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายส่วน เช่น ผล, ใบ, เมล็ดและเปลือก [1]

การผลิตกระดาษด้วยผลไม้นั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการโซดาในการผลิตเยื่อกระดาษ ในงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตกระดาษด้วยเปลือกสับปะรด โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยในการปรับความเป็นกรดด่าง นอกจากนั้นยังทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแยกสารประกอบเชิงซ้อนพวกลิกนินออกและเกิดการสลายของลิกนิน ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาและการดูดซึมสารเคมีเข้าสู่เส้นใยอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ขจัดลิกนินออกไปได้มากขึ้น [2] และจากงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตกระดาษด้วยกาบกล้วย ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่างกันทำให้เยื่อที่ได้มีสีที่แตกต่างกัน และเกิดลักษณะความเหนียวนุ่มที่แตกต่างกันอีกด้วย [3]

ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเปลือกส้มโอมาทำกระดาษ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกส้มโอที่เหลือใช้ มาผ่านกระบวนการจนได้เป็นแผ่นกระดาษใหม่ และทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อการนำมาใช้งานในอนาคต ซึ่งถือเป็นการพัฒนาวิธีการกำจัดขยะจากเปลือกผลไม้และยังเป็นทางเลือกที่นอกเหนือจากการนำมาแปรรูปในรูปแบบของอาหารหรือสินค้าแปรรูปอื่น ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากเปลือกส้มโอมาผลิตเป็นเส้นใยกระดาษโดยการใช้กระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดา
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมถึงเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อที่มีต่อคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกส้มโอ
2. ศึกษาวิธีการผลิตกระดาษจากเยื่อเปลือกส้มโอ
3. ศึกษาผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษจากเปลือกส้มโอ
4. ศึกษาผลของสภาวะการต้มเยื่อที่ต่างกันที่มีต่อคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษจากเปลือกส้มโอ
5. วัดค่าลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย
6. วัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากเปลือกส้มโอ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษจากเปลือกส้มโอ
2. ได้ข้อมูลผลของสภาวะการต้มเยื่อที่ต่างกันที่มีต่อคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษจากเปลือกส้มโอ
3. ได้ผลิตภัณฑ์กระดาษที่ผลิตจากเปลือกส้มโอ

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มโอ (Pomelo)

ส้มโอมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Citrus Maxima (Burm.f.) Merr. เป็นพืชตระกูลส้มที่อยู่ในตระกูล Rutaceae [4]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ส้มโอเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ลำต้นมีสีน้ำตาลและมีหนามขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 8 เมตร ใบมีลักษณะเป็นแผ่นหนาสีเขียวเข้ม โคนก้านใบมีหูใบแผ่ออกเป็นรูปหัวใจ ใบหนาแข็ง มีสีเขียวแก่ มีกลิ่นหอม ดอกออกเป็นช่อสั้นหรือดอกเดี่ยว ตามบริเวณง่ามใบมีสีขาว ปลายกลีบมนมี 4 กลีบ กลางดอกมีเกสร 20-25 อัน ผลกลมโต บางพันธุ์ตรงขั้วมีจุกสูงขึ้นมา ผิวผลเมื่อยังอ่อนมีสีเขียวและเมื่อแก่จัดเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลือง ผิวของผลไม่เรียบและผิวของเปลือกผลมีต่อมน้ำมันกระจายทั่วไป ภายในผลเป็นช่อง ๆ มีแผ่นบาง ๆ สีขาวกั้นเนื้อให้แยกออกจากกัน เนื้อแต่ละส่วนเรียกว่า "กลีบ" มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว มีเมล็ดฝังอยู่ระหว่างเนื้อมากกว่า 1 เมล็ด ผลส้มโอมีเปลือกหนาทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน มีวิตามินซีสูง โดยเปลือกส้มโอสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน [5-6] คือ

1. Exocarp เป็นเปลือกชั้นนอกสุด มีลักษณะสีเขียวอมเหลืองและมีต่อมน้ำมันจำนวนมาก
2. Mesocarp เป็นเปลือกชั้นกลาง มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มสีขาวและมีความหนาที่มากที่สุด
3. Endocarp เป็นเปลือกชั้นใน มีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อพูที่หุ้มล้อมรอบเนื้อผล

2.2.2 พันธุ์ของส้มโอ

พันธุ์ส้มโอที่เป็นที่นิยมปลูกทางการค้า [5] ได้แก่

1. ทับทิมสยาม มีลักษณะเนื้อสีแดงเข้ม รสชาติหวาน มีกลิ่นหอมและเนื้อนุ่ม
2. ทองดี มีลักษณะผลโตกลมแป้น บริเวณขั้วมีจีบเล็กน้อยและมีเนื้อสีชมพู
3. ขาวน้ำผึ้ง มีลักษณะผลขนาดใหญ่ กลมสูงและมีเนื้อสีเหลือง
4. ขาวใหญ่ มีลักษณะเนื้อขาวอมเปลือง มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวและมีเมล็ดน้อย
5. ขาวพวง มีลักษณะผลทรงกลม มีสีเปลือกเขียวอ่อนอมเหลืองและมีพันธุ์ดั้งเดิมของส้มโอ

6. ขาวแตงกวา มีลักษณะเนื้อสีขาว เปลือกบางและผลมีขนาดกลางกลมแป้น

2.2 เส้นใย

เส้นใยประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 45% เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ประมาณ 25-35% ลิกนิน (Lignin) ประมาณ 21-25% และสารแทรก (Extractives) ประมาณ 2-8%

1) เซลลูโลส (Cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประกอบด้วยน้ำตาลกูลโคส (Glucose) หลาย ๆ ยูนิตมาต่อกัน เซลลูโลสมีส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ
   - Crystalline region ซึ่งบริเวณนี้เป็นส่วนที่โมเลกุลของเซลลูโลสมีการจับตัวสร้างพันธะเคมี Hydrogen bond อย่างเป็นระเบียบ ทำให้บริเวณนี้มีความแข็งแรงสูง ทำให้ตัวสารละลายหรือสารเคมียากที่จะซึมเข้ามาในบริเวณนี้
   - Amorphous region เป็นบริเวณที่โมเลกุลของเซลลูโลสมีการจับตัวกันสร้างพันธะเคมี Hydrogen bond แบบไม่เป็นระเบียบ ทำให้บริเวณนี้ถูกทำลายได้ง่าย
2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เหมือนกับเซลลูโลส หากแต่ประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 5 ชนิดมาต่อกัน ซึ่งได้แก่ Glulose, Mannose, Galactose, Xylose เฮมิเซลลูโลสจึงมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีกิ่งก้านสาขามากกว่าเซลลูโลส จึงถูกทำลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส ซึ่งในกระบวนการผลิตเยื่อ (Pulping) นั้นบางส่วนของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะถูกทำลายไป ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ลดลง
3) ลิกนิน (Lignin) เป็นพอลิเมอร์เช่นเดียวกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยมี Unit พื้นฐาน คือ Phenyl propane ลิกนินมีระบบโครงสร้างที่ซับซ้อน และมีอยู่มากที่บริเวณระหว่างเส้นใย (Middle Lamella) ลิกนินจะถูกเอาออกหรือทำให้อ่อนตัวลงในขั้นตอนการทำเยื่อเพราะต้องการแยกเอาเส้นใยเดี่ยว ๆ ออกมาใช้ในการผลิตกระดาษ
4) สารแทรก (Extractive) ซึ่งเป็นสารจำพวก Resin acid, Fatty acid, Turpenoid compound (พวกยางสน) และ Alcohol ซึ่งละลายในน้ำหรือ Neutral organic solvent เป็นต้น

2.3 ชนิดของเส้นใย

โดยทั่วไปแล้วเส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) เส้นใยจากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood fiber)

   เส้นใยจากไม้เนื้อเนื้อแข็งส่วนใหญ่มาจากพืชตระกูลไม้ผลัดใบ เช่น Gum, Maple, Oak, Eucalyptus เป็นต้น ซึ่งเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างรวดเร็ว เส้นใยจะมีขนาดสั้น เมื่อนำไปทำกระดาษจะให้ความเรียบและความทึบแสงสูง
2) เส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood fiber)

เส้นใยจากเนื้ออ่อนส่วนใหญ่มาจากพืชตระกูลสน เช่น Pine, spruce, fir, hemlock, สนสองใบ, สนสามใบ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า เส้นใยจะมีขนาดยาว เมื่อนำไปทำกระดาษจะให้ความแข็งแรงสูง

2.4 การผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีเคมี (Chemical pulping)

Chemical pulping process หรือการผลิตเยื่อเชิงเคมี การผลิตเยื่อโดยกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน วิธีการนี้จะนำวัตถุดิบมาต้มกับสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ (Digester) สารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือส่วนที่ไม่ละลายคือเยื่อ ซึ่งเยื่อจากกระบวนนี้จะมีปริมาณเซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่น ๆ ปนอยู่น้อยมาก มีความแข็งแรงสูง

2.4.1 กระบวนการโซดา (Soda process)

Soda Process หรือกระบวนการโซดา เป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตเยื่อเชิงเคมี โดยการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ ในการต้มเยื่อ เยื่อโซดาไฟฟอกขาวนี้ส่วนใหญ่จะใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียน นอกจากนั้นการผลิตกระดาษชนิดพิเศษ เช่นกระดาษสา ก็นิยมใช้โซดาไฟในการต้มเยื่อเช่นกัน อย่างไรก็ตาม มีการพัฒนากระบวนการซัลเฟต (Sulphate Process) ขึ้น เพื่อมาแทนกระบวนการโซดา เนื่องจากสามารถนำสารเคมีกลับคืนมาได้ และยังมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ดีกว่ากระบวนการโซดา [7]

2.4.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีสถานะเป็นของแข็งสีขาวหรืออาจอยู่ในรูปของเหลวที่เป็นสารละลาย ถือเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันมีจำหน่ายทั้งในสถานะของแข็งและของเหลว บางครั้งเรียกกันว่า ผงมัน ส่วนในรูปสารละลายมักพบความเข้มข้น 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ อาหาร สบู่ ผงซักฟอก และอุตสาหกรรมกระดาษ [8]

2.5 สมบัติของกระดาษ (Paper properties)

2.5.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basic weight หรือ Grammage)

น้ำหนักมาตรฐาน หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็น “กรัมต่อตารางเมตร” ตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า “แกรมเมจ” (Grammage)

แทนน้ำหนักมาตรฐาน โดยทั่วไปแล้วเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษประเภทเดียวกันที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยสภาวะต่าง ๆ เหมือนกัน กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมากกว่าจะมีความแข็งแรง ความหนา และความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานต่ำกว่า

2.5.2 ความหนา (Caliper)

ความหนา หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (inches) หรือมิล (mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (millimeter) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกขณะเดินแผ่น การบดเยื่อ และชนิดของเยื่อที่ใช้

2.5.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density)

ความหนาแน่นปรากฏมีค่าเท่ากับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษหารด้วยความหนาของกระดาษ หน่วยที่นิยมใช้ในระบบ SI จะกำหนดเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กระดาษที่มีค่าความหนาแน่นปรากฏสูงส่วนใหญ่จะมีค่าความแข็งแรงสูง เนื่องจากเส้นใยแนบกันได้ดี

2.5.4 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength)

ความแข็งแรงต่อแรงดึง คือ ความแข็งแรงต่อแรงที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว (Tensile stress) ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญของกระดาษในระบบการพิมพ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิมพ์ป้อนม้วน เนื่องจากการพิมพ์ในระบบป้อนม้วนกระดาษต้องได้รับแรงดึงตึงตลอดเวลา ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของกระดาษ ได้แก่ ชนิดของเยื่อ ปริมาณการบดเยื่อ ปริมาณการกดรีดน้ำ น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ปริมาณของตัวเติม และปริมาณความชื้นในกระดาษ กล่าวคือ เยื่อใยยาว เยื่อที่ผ่านการบดเยื่อมามากแต่ไม่มากจนเกิดการตัดขาดของเส้นใย เยื่อที่ใส่ตัวเติมไม่มาก แผ่นกระดาษที่มีค่าน้ำหนักมาตรฐานสูงและมีความชื้นในกระดาษต่ำจะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูง

2.5.5 ความต้านทานแรงฉีก (Tearing resistance)

ความต้านทานแรงฉีก หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือ กรัม(gram) ความต้านทานแรงฉีกนี้ขึ้นกับความยาวของเส้นใยเป็นสำคัญ โดยเส้นใยยาวมีความแข็งแรงฉีกมากกว่าเส้นใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อก็มีผลทำให้ความต้านทานแรงฉีดกของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม หากบดเยื่อมากเกินไปจนทำให้เส้น

ใยมีขนาดสั้นลงมาก ความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษก็จะลดลง [9] ทั้งนี้เป็นเพราะความต้านทานแรงฉีกขึ้นกับพันธะระหว่างเส้นใยด้วย แต่บทบาทของพันธะระหว่างเส้นใยจะน้อยกว่าความแข็งแรงของเส้นใย

2.5.6 ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength)

ความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนแผ่นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้แผ่นทดสอบนั้นขาดภายใต้สภาวะที่กำหนด มีหน่วยเป็น กิโลปาสกาล (kPa) หรือ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf/cm^2) โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านแรงดันทะลุจะขึ้นอยู่กับ ชนิด สัดส่วน การเตรียมเส้นใย และปริมาณเส้นใย รวมทั้งสารแต่งเติมในแผ่นกระดาษ [10]

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุจยา ฤทธิศร และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากเปลือกสัปปะรด โดยในการทดลองได้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในการต้มเยื่อ และใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0, 10 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในการฟอกเยื่อ จากการทดลองพบว่าในการต้มเยื่อนั้นปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ให้ค่าแคปปานัมเบอร์น้อยสุด ซึ่งค่าแคปปานัมเบอร์ คือ ตัวเลขที่สัมพันธ์กับปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ ส่วนในการฟอกเยื่อนั้นปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 20 ให้ค่าแคปปานัมเบอร์น้อยสุด เมื่อนำกระดาษมาศึกษาคุณสมบัติด้านความเหนียว ความแข็งแรงและด้านกายภาพของกระดาษ พบว่าการต้มเยื่อด้วยปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 และฟอกเยื่อด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิตกระดาษจากเปลือกสัปปะรด ทั้งนี้สามารถอธิบายบทบาทของโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแยกสารประกอบเชิงซ้อนพวกลิกนินซึ่งทำหน้าที่เหมือนกาวเชื่อมเส้นใยไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดการสลายของลิกนิน เส้นใยเป็นอิสระ นำไปใช้ในการผลิตกระดาษได้ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การดูดซึมสารเคมีเข้าสู่เส้นใยเกิดอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาเกิดได้มากและเร็วขึ้น จึงทำให้ขจัดลิกนินออกไปได้มากขึ้น ส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นจะไปทำปฏิกิริยากับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ ทำให้ปริมาณลิกนินลดลงเยื่อหลังการฟอกจึงมีความขาวสว่าง (Brightness) เพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

โครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่อง การผลิตกระดาษจากเปลือกส้มโอ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระดาษจากเส้นใยเปลือกส้มโอและเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกส้มโอชนิดเดียวกันที่อัตราส่วน NaOH ต่างกัน รวมถึงสภาวะการต้มเยื่อที่ต่างกัน ได้ดำเนินการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องหาสภาพระบายได้ (Freeness tester) ยี่ห้อ Regmed รุ่น CF/A บริษัท Regmed ประเทศบราซิล (ภาพที่ 3.1)

ภาพที่ 3.1 เครื่องหาสภาพระบายได้

2. เครื่องวัดคุณภาพของเส้นใย (Fiber quality analyzer, FQA) (ภาพที่ 3.2)

ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดคุณภาพเส้นใย

3. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษอัตโนมัติ (Sheet former) ยี่ห้อ PTI รุ่น RK-2A KWT บริษัท PTI Laboratory Equipment ประเทศออสเตรีย (ภาพที่ 3.3)

ภาพที่ 3.3 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษอัตโนมัติ

4. เครื่องวัดความหนา (Thickness gauge) ยี่ห้อ Frank ประเทศเยอรมนี (ภาพที่ 3.4)

ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดความหนา

5. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile tester) ยี่ห้อ Toyo Seiki รุ่น Strograph E-S บริษัท Toyo Seiki Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 3.5)

ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง

6. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear tester) แบบ Pendulum ยี่ห้อ Thwing Albert รุ่น Protear บริษัท Thwing-Albert Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3.6)

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก

7. เครื่องวัดความเรียบ (Smoothness tester) ยี่ห้อ Toyo Seiki รุ่น Digi-Bekk บริษัท Toyo Seiki Seisaku-SHO Ltd., ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 3.7)

ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเรียบ

8. เครื่องวัดแรงดันทะลุ (Bursting strength tester)

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดแรงดันทะลุ

9. เครื่องวัดความพรุน (Gurley type densometer) ยี่ห้อ Toyo Seiki

ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความพรุน

10. เครื่องวัดความชื้น (Moisture determination balance) ยี่ห้อ KETT รุ่น FD600

11. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Venticell lll R บริษัท MMM Medcenter ประเทษเยอรมนี

12. ตะแกรงกรองเยื่อ

13. กรวยกรองน้ำ

14. เตาไฟฟ้า

15. หม้อสแตนเลส ยี่ห้อหัวม้าลาย

16. ไม้พาย

17. เครื่องชั่งดิจิตอล

18. บีกเกอร์

19. กระบอกตวง

20. pH Meter

21. เทอร์โมมิเตอร์

22. แท่งแก้วคน

23. ช้อนตักสาร

24. ถังพลาสติก

25. กะละมัง

26. กระดาษซับเยื่อ

27. กระดาษกรอง

28. ถุงซิปล็อค

29. ขวดรูปชมพู่

30. ปั๊มสุญญากาศ

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. เปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง จ.นครปฐม

2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide หรือ NaOH)

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

1. เตรียมเส้นใยจากเปลือกส้มโอ โดยหั่นเปลือกส้มโอออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1.5 เซนติเมตร x 1.5 เซนติเมตร จากนั้นนำเปลือกส้มโอตากแดดจนเปลือกส้มโอแห้งสนิท
2. นำเปลือกส้มโอที่แห้งแล้วจำนวน 2 กิโลกรัม มาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 10% และ 20% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

(NaOH) ที่ความเข้มข้น 20% เป็นเวลา ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะการต้มเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ

สภาวะในการต้มเยื่อ	ปริมาณ NaOH (%)	อุณหภูมิ	เวลา
1	10	100	2 ชั่วโมง
2	20	100	2 ชั่วโมง
3	20	160	1 ชั่วโมง

3. เมื่อต้มเยื่อตนครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำเยื่อที่ได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและแยกเยื่อที่ได้กับ Reject ออกจากกัน จากนั้นนำเยื่อที่ได้ และ Reject บางส่วน มาหาค่าความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น เพื่อคำนวณหาค่า %yield และ %Reject
4. นำเยื่อที่ได้บางส่วนมาทำการหาค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ด้วยเครื่อง Freeness tester
5. นำเยื่อที่ได้บางส่วนมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยด้วยเครื่อง FQA เพื่อหาความยาวของเส้นใย (LWW) ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (Fines percent) ค่าเฉลี่ยความโค้งงอของเส้นใย (Mean Curl) ดัชนีความหักงอของเส้นใย (Kink Index) และความกว้างของเส้นใย (Width)
6. นำเยื่อที่ได้ไปขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบด้วยเครื่องขึ้นแผ่นอัตโนมัติ โดยให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานประมาณ 100 กรัมต่อตารางเมตร
7. นำแผ่นกระดาษทดสอบที่ได้มาวัดสมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้ ความหนา (Thickness) ความเรียบ (Smoothness) ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ความต้านทานแรงฉีก (Tear resistance) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting) ความพรุนหรือการต้านอากาศ (Porosity) รวมถึงคำนวณค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density)
8. นำผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปผล

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของเยื่อ

ตารางที่ 4.1 สภาพระบายได้ของเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ

เยื่อเปลือกส้มโอ	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
สภาพระบายได้ (มิลลิลิตร)	347.5 ± 2.121	392 ± 29.698	355.5 ± 10.607

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าเยื่อทั้ง 3 สภาวะมีค่าสภาพการระบายได้อยู่ในช่วง 350 – 400 ml ซึ่งอยู่ในช่วงที่กำหนด สำหรับการนำมาขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบได้โดยไม่ต้องมีการนำเยื่อมาตีกระจายเยื่อ

4.2 ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Yield) และ %Reject ของเยื่อ

ตารางที่ 4.2 ค่า %Yield และ %Reject ของเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ

เยื่อเปลือกส้มโอ / ค่า Yield	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH %20 อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
Yield	24%	16.75%	16.13%
reject	13.16%	4.29%	0.11%

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า การต้มเยื่อที่สภาวะที่ 1 คือ ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง จะให้ค่า %Yield สูงสุด แต่มี %Reject ที่สูงเช่นกัน เนื่องจากมีการใช้ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยเกินไป ส่งผลให้มีเปลือกส้มโอที่ต้มไม่สุกเหลือจำนวนมาก ไม่สามารถผ่านตะแรงกรองได้มาก ในส่วนของสภาวะที่ 2 ทำการเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 160 องศาเซลเซียส แต่ลดระยะเวลาในการต้มเหลือ 1 ชั่วโมง พบว่า %Reject มีค่าน้อยลง เนื่องจากมีเปลือกส้มโอที่

ต้มไม่สุกจำนวนน้อยลงและสามารถผ่านตะแกรงกรองได้มากขึ้น แต่การต้มด้วยสภาวะนี้จะได้ %Yield ที่น้อยลง เนื่องจากเป็นการต้มเยื่อด้วยสภาวะที่รุนแรงเกินไป ส่งผลให้ส่วนที่เป็นเปลือกส้มโอสีขาวหายไป และส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออกไปมากเนื่องจากความร้อนสูงและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากไป ส่งผลให้ %Yield ลดลง ในขณะที่สภาวะที่ 3 คือ ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง เป็นการต้มเยื่อที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด เนื่องจากมี %Reject น้อยที่สุด เพราะว่ามีเปลือกส้มโอที่ต้มไม่สุกจำนวนน้อยที่สุดและสามารถผ่านตะแกรงกรองได้ดีที่สุด แต่ %Yield มีความใกล้เคียงกับกับสภาวะที่ 2 เนื่องจากเปลือกส้มโอสีขาวถูกทำลายไปจำนวนมาก เพราะปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงจึงส่งผลให้มี %Yield ต่ำ

4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย (Fiber morphology)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยของเยื่อเปลือกส้มโอทั้ง 3 สภาวะ

ลักษณะของเส้นใย	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH %20 อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
ความยาวของเส้นใย (มิลลิเมตร)	0.735 ± 0.042	0.7505 ± 0.150	0.924 ± 0.248
ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (%)	61.15 ± 0.51	65.54 ± 1.66	79.14 ± 0.25
ค่าเฉลี่ยความโค้งงอของเส้นใย	0.819 ± 0.036	0.836 ± 0.028	0.530 ± 0.024
ดัชนีความหักงอของเส้นใย	3.827 ± 0.242	3.891 ± 0.074	2.819 ± 0.188
ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)	35.5 ± 0.14	32.95 ± 0.21	30.55 ± 1.48

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีเส้นใยมีขนาดสั้นที่สุด เนื่องจากใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยเกินไปและใช้สภาวะการต้มเยื่อที่อ่อนไป ดังจะเห็นได้จากมีเปลือกส้มที่ต้มไม่สุกจำนวนมาก ส่งผลให้ยังมีเปลือกส้มโอสีขาวซึ่งเป็นเยื่อขนาดสั้นเหลือเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยลดลง ในขณะที่การต้มเยื่อที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของ

น้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง เนื่องจากมี %Reject น้อยและมีส่วนของเปลือกส้มโอสีขาวน้อยสุด ส่งผลให้ค่าความยาวของเส้นใยมีค่าสูงสุด แต่ในสภาวะที่ 2 คือการต้มเยื่อที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการต้ม 1 ชั่วโมง ซึ่งมีการใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เท่ากับสภาวะที่ 3 แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้เส้นใยถูกทำลายมากขึ้น จึงส่งผลให้ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยลดลง

ปริมาณเส้นใยขนาดเล็กของเยื่อทั้ง 3 สภาวะมีค่าสูงมาก โดยมีค่าตั้งแต่ 60% - 80% เหตุที่มีปริมาณมากเนื่องจากที่เส้นใยในเปลือกส้มโอมีขนาดที่เล็กมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนบริเวณเนื้อเยื่อสีขาวของเปลือกส้มโอ ซึ่งเส้นใยส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับความยาวของเส้นใยของไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ที่มีความยาวเส้นใย 1-3 มิลลิเมตร และเส้นใยของไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ที่มีความยาวเส้นใย 2-4 มิลลิเมตร เมื่อนำมาวัดด้วยเครื่อง Fiber Quality Analyzer จึงส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมีค่าสูง

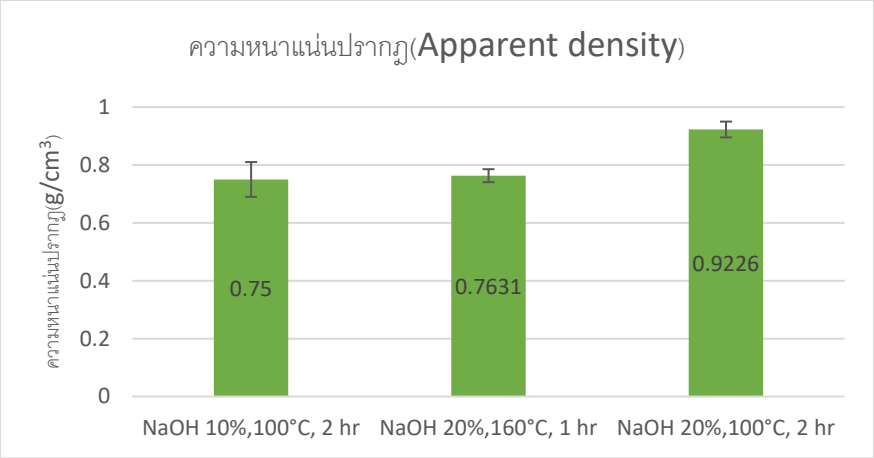
ค่าเฉลี่ยความโค้งงอและดัชนีความหักงอของเส้นใยเปลือกส้มโอที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้เส้นใยมีลักษณะเรียวตรงมากที่สุด เมื่อนำไปทำกระดาษน่าจะทำให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ดีกว่าเส้นใยที่ได้จากการต้มเยื่ออีก 2 สภาวะ ซึ่งเส้นใยมีค่าเฉลี่ยความโค้งงอและดัชนีความหักงอของเส้นใยที่สูงกว่า

ความกว้างของเส้นใยของเยื่อเปลือกส้มโอที่สภาวะความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าอีก 2 สภาวะเนื่องจากในการต้มเยื่อนี้อาจจะมีการนำลิกนินออกไปมาก เส้นในเป็นอิสระต่อกันมาก อาจทำให้เส้นใยยุบตัวลงได้

4.4 สมบัติทางกายภาพของกระดาษ

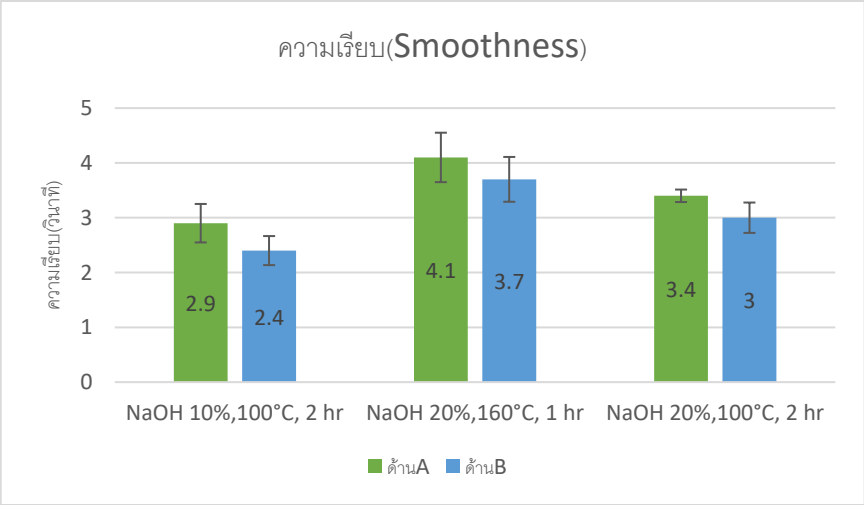
<u>ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density)</u>

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.4.1 พบว่ากระดาษจากเปลือกส้มโอที่เตรียมจากการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีความหนาแน่นปรากฏมากที่สุด เนื่องจากเยื่อมีปริมาณเส้นใยยาวที่สุด มีความหักงอและโค้งงอน้อยที่สุด ทำให้เส้นใยอื่นสามารถพาดผ่านและสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ดี และมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมากสุด ซึ่งเส้นใยขนาดเล็กเหล่านี้อาจเข้าไปถมช่องว่างที่เป็นรูพรุนในกระดาษ ส่งผลให้เนื้อกระดาษแน่นมากขึ้น



ภาพที่ 4.4.1 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อความหนาแน่นปรากฏ

<u>ความเรียบ (Smoothness)</u>



ภาพที่ 4.4.2 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อความเรียบ

กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 160 °C ระยะเวลาในการต้ม 1 ชั่วโมง จะให้ค่าความเรียบที่สูงกว่าสภาวะอื่น ๆ ทั้งด้าน A และ B (ภาพที่ 4.2) และจะเห็นว่าค่าความเรียบของด้าน A ในกระดาษแต่ละสภาวะจะมีค่ามากกว่าด้าน B จึงสามารถสรุปได้ว่าด้าน A เป็นด้าน felt side และด้าน B เป็นด้าน wire side เนื่องจากด้าน felt side เส้นใยน้อยกว่าด้าน wire side จึงส่งผลให้มีความเรียบมากกว่า อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลของปริมาณโซเดียมไฮ

ดรอกไซด์และสภาวะการต้มเยื่อต่อความเรียบของกระดาษได้ เนื่องจากมีปัญหาในการขึ้นแผ่นกระดาษทั้ง 3 สภาวะ ทั้งการที่เยื่อกระดาษติดตะแกรงขึ้นแผ่นหรือการติดผิวที่กระดาษรองซับ

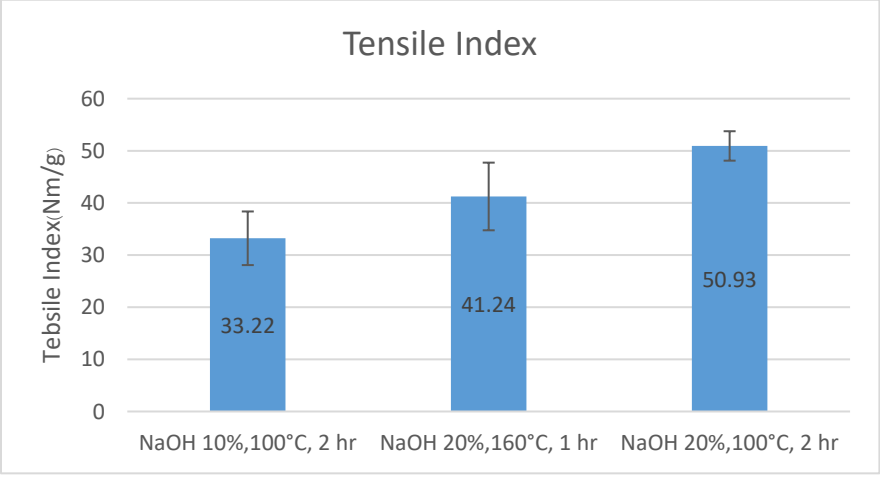
ความพรุน (Porosity)

ตารางที่ 4.4.3 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อความเรียบของกระดาษ

แผ่นทดสอบ	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
ความพรุน (วินาที)	48.16 ± 22.873	66.86 ± 13.499	86.94 ± 21.187

ข้อมูลจากตารางที่ 4.4.3 แสดงให้เห็นว่าแผ่นกระดาษที่เตรียมจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ผ่านการต้มเยื่อโดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงมีค่าความพรุนน้อยที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการให้อากาศไหลผ่านนานที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าแผ่นทดสอบที่เตรียมได้มีความหนาแน่นมากที่สุด อันเป็นผลมาจากเส้นใยยาวที่สุด มีการหักงอและโค้งงอน้อยที่สุด ส่งผลให้การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยเกิดขึ้นได้ดีที่สุด นอกจากนี้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และสภาวะการต้มเยื่อดังกล่าวยังมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กมากสุด ซึ่งเส้นใยขนาดเล็กดังกล่าวอาจไปช่วยปิดรูพรุนที่ปรากฏอยู่ในกระดาษด้วย

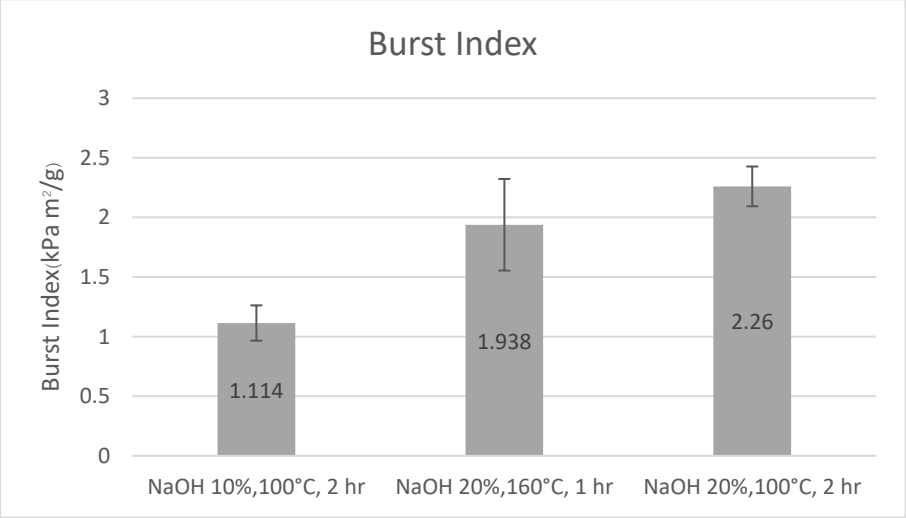
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Index)



ภาพที่ 4.4.4 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง

จากผลการทดลองที่ปรากฏในภาพที่ 4.4.4 พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเปลือกส้มโอโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีความแข็งแรงต่อแรงดึงมากที่สุด เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากมีความยาวมากที่สุด มีความโค้งงอและความหักงอน้อยที่สุด นอกจากนี้กระดาษที่เตรียมได้ยังมีความหนาแน่นปรากฏของกระดาษมากที่สุด ส่งผลให้มีพันธะระหว่างเส้นใยมากที่สุด ซึ่งความแข็งแรงต่อแรงดึงนั้นเป็นผลมาจากความแข็งแรงของเส้นใยและพันธะระหว่างเส้นใย

ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting index)



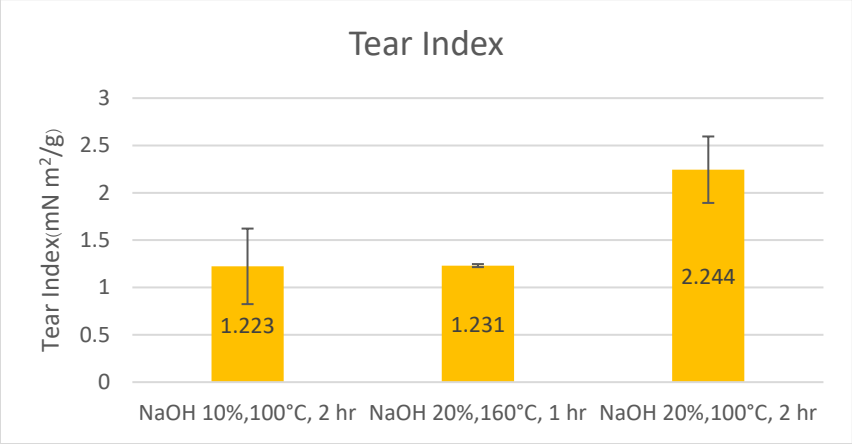
ภาพที่ 4.4.5 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.4.5 พบว่า กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีความต้านทานแรงดันทะลุมากที่สุด เนื่องจากเยื่อมีพันธะระหว่างเส้นใยสูงสุด รวมถึงตัวเส้นใยเองมีความแข็งแรงมากที่สุด จึงส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมาก (ดังที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นในกรณีของความแข็งแรงต่อแรงดึง) เมื่อทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษจึงต้องแรงที่มากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อในสภาวะอื่น ๆ

ดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีก (Tear index)

กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง มีความต้านทานแรงฉีกมากที่สุด (ภาพที่ 4.5) เนื่องจากเยื่อมีพันธะ

ระหว่างเส้นใยและความหนาแน่นปรากฏของกระดาษมีค่าที่สูงที่สุด และเส้นใยมีความยาวสูงที่สุดและยังมีความสมบูรณ์ของเส้นใยมากที่สุด คือ ความโค้งงอและความหักงอต่ำที่สุด ซึ่งค่าดัชนีความต้านแรงฉีกจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่าพันธะระหว่างเส้นใย จึงส่งผลให้กระดาษสามารถต้านแรงฉีกได้มาก ทำให้ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกสูงที่สุดในทั้ง 3 สภาวะ



ภาพที่ 4.4.6 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาต่อดัชนีความต้านทานแรงฉีก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตกระดาษด้วยเปลือกส้มโอโดยวิธีการต้มเยื่อด้วยกระบวนโซดาที่ใช้ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์แตกต่างกัน และต้มในสภาวะที่ต่างกัน ได้ผลการทดลองที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยและคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ โดยเรียงลำดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อที่ส่งผลที่ดีจากมากไปน้อย คือ ความเข้มข้นร้อยละ 20 ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง > ความเข้มข้นร้อยละ 20 ที่อุณภูมิ 160°C ระยะเวลาในการต้ม 1 ชั่วโมง > ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง
2) ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการต้มเยื่อเปลือกส้มโอคือ ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในสภาวะที่อุณภูมิ 100°C ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง เนื่องจากให้ค่าลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ดี โดยให้ค่าความยาวของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยขนาดเล็กสูง มีค่าความโค้งงอและความหักงอที่ต่ำ แต่ให้ค่าความกว้างของเส้นใยที่ไม่สูง และกระดาษที่ได้จากการขึ้นแผ่นมีคุณสมบัติทางกายภาพที่สูง เนื่องจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ได้จากการต้มเยื่อในสภาวะนี้เส้นใยมีความยาวและมีความแข็งแรงสูง ทำให้มีการทำพันธะระหว่างเส้นใยที่ดี กระดาษที่ผลิตได้จึงมีความแข็งแรงสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรทำการทดลองต้มเยื่อด้วยความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณแตกต่างกันออกไปมากขึ้น รวมถึงใช้สภาวะในการต้มเยื่อที่กว้างขึ้น (เปลี่ยนอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน)
2) ควรทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงเพิ่ม เช่น ความทึบแสง
3) ควรทำการแยกเปลือกชั้นนอก (Exocarp) และเปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) ของส้มโอออกจากกัน เพื่อทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณเส้นใยและคุณสมบัติของกระดาษที่เตรียมได้เมื่อเทียบกับการทดสอบที่ไม่ได้มีการแยกเปลือกออกจากกัน

บรรณานุกรม

1. Medthai, ส้มโอ สรรพคุณและประโยชน์ของส้มโอ 32 ข้อ! (Pomelo), https://medthai.com/%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%AD/, เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์2564
2. Sujaya Ritthisorn, การผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมด้วยเปลือกสับปะรดจาก โรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง, http://www.sci.rmutt.ac.th/stj/index.php/stj/article/view/155, เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์2564
3. มุกดา เกดมณี, เนาวรัตน์ ตรีพงษพันธ์, ดารณี เลียวกิตติกุล, กระดาษกล้วย, http://www.scimath.org/file/upload/1/1661_1.pdf, เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์2564
4. Klong Phai Botanical Garden, Rotaceae, http://www.rspg.or.th/plants_data/kp_bot_garden/kpb_28-4.htm, เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์2564
5. ส้มโอ, https://th.wikipedia.org/wiki/ส้มโอ, เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์2564
6. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/thesis/2555/Kittichai_Soranacom/chapter2.pdf, เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์2564
7. โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC) (อุตสาหกรรมกระดาษ), https://www.enconlab.com/paper/file_downloads/report2/chap2.pdf เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์2564
8. Siamchemi, โซดาไฟ/โซเดียมไฮดรอกไซด์, https://www.siamchemi.com/โซดาไฟ/, เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม 2564
9. ธิติสุดา มูลดับ, นภมาศ ยามาลี (2561), เอกสารโครงการเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยตนเอง, ผลของเอนไซม์ไซลาเนสในการฟอกเยื่อต้นข้าวโพดด้วยคลอรีนไดออกไซด์, เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม2564
10. การทดสอบกระดาษลูกฟูก, http://www.pt-pack.com/กระดาษลูกฟูก/การทดสอบกระดาษลูกฟูก.html, เข้าถึงเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2564

ภาคผนวก ก

การคำนวณสารเคมีและการเตรียมเยื่อ

วิธีหาความชื้นของเปลือกส้มโอ

นำชิ้นเปลือกส้มโอมาหาความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้น (Moisture balance) ใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง โดยเครื่องจะแสดงปริมาณความชื้นให้อัตโนมัติ ทำการทดสอบ 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย

วิธีการคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ

การทดลองต้องการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง โดยกำหนดให้ส้มโอมีน้ำหนัก 2,000 กรัม และมีความชื้นร้อยละ 10 สามารถคำนวณได้ดังนี้

- หาน้ำหนักเปลือกส้มโอแห้งจากเปลือกส้มโอที่มีความชื้นร้อยละ 10

  น้ำหนักเปลือกส้มโอ 100 กรัม จะมีน้ำหนักเปลือกส้มโอแห้งเท่ากับ 100 – 10 = 90 กรัม

  ถ้าน้ำหนักเปลือกส้มโอแห้ง 2,000 กรัม จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ (2,000 X 90)/100 = 1,800 กรัม

- หาปริมาณสารเคมีที่ต้องเติม (โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง)

  น้ำหนักเปลือกส้มโอแห้ง 100 กรัม จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม

  ถ้าน้ำหนักเปลือกส้มโอแห้ง 1,800 กรัม จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ (1,800 X 10)/100 = 180 กรัม

วิธีการคำนวณหา %Yield และ %Reject ของเยื่อ

หลังจากที่ทำการต้มเยื่อในแต่ละสภาวะและทำการกรองแยกเยื่อที่ได้กับ reject แล้ว นำเยื่อที่ได้กับ Reject ไปชั่งน้ำหนัก และหาความชื้นของเยื่อและ Reject เพื่อนำมาหาค่า %Yield และ %Reject โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

● ตัวอย่างที่ใช้คำนวณ คือ เยื่อที่ต้มที่สภาวะที่ 1 (NaOH 10%,100°C,1 hr.) โดยมีน้ำหนักเยื่อเปียก 2,645.2 กรัม ความชื้น 88.6 % และมีน้ำหนัก reject 83.8 กรัม ความชื้น 7.8 %

● หาน้ำหนักของเยื่อแห้งในเยื่อเปียกโดย

(เปอร์เซ็นเยื่อแห้งจากเยื่อเปียก / 100) x น้ำหนักเยื่อเปียกทั้งหมด

จะได้น้ำหนักเยื่อแห้งในเยื่อเปียกเท่ากับ (11.4 / 100) x 2645.2 = 301.55 กรัม

● หา % Yield โดย (น้ำหนักเยื่อแห้ง / น้ำหนักเยื่อเปลือกส้มโอแห้งทั้งหมด) x 100

จะได้ %Yield เท่ากับ (301.55 / 1800) x 100 = 16.75%

● หา %Reject โดยใช้วิธีคำนวณแบบเดียวกับ %Yield

น้ำหนักเยื่อเปียกใน Reject มีค่าเท่ากับ (92.2 / 100) x 83.8 = 77.3 กรัม

%Reject มีค่าเท่ากับ (77.3 / 1800) x 100 = 4.29%

<u>วิธีการคำนวณหาปริมาณเยื่อแห้งสำหรับหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ (Freeness)</u>

กำหนดให้การหาค่าสภาพระบายได้ของเยื่อ มีความเข้มข้นของเยื่อเท่ากับ 0.3 ในปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร (มีเยื่อแห้ง 3 กรัม รวมกับน้ำให้เป็นปริมาตรทั้งหมด 1000 มิลลิลิตร) โดยคำนวณหาน้ำหนักเยื่อแห้งสำหรับหาค่าสภาพระบายได้ดังนี้

● ตัวอย่างที่ใช้คำนวณคือเยื่อที่ต้มที่สภาวะที่ 1 (NaOH 10%,100°C,1 hr.) โดยมีน้ำหนักเยื่อเปียก 2,645.2 กรัม ความชื้น 88.6 % และมีน้ำหนัก Reject 83.8 กรัม ความชื้น 7.8 %

● ในเยื่อเปียก 100 กรัม มีเยื่อแห้ง 11.4 กรัม

ถ้าการทดสอบหาสภาพระบายได้ต้องการเยื่อแห้ง 3 กรัม จะต้องใช้เยื่อเปียกเท่ากับ

(3 / 11.4) x 100 = 26.32 กรัม

<u>วิธีการคำนวณน้ำเยื่อสำหรับขึ้นแผ่นทดสอบ</u>

ในการทดลองใช้แผ่นทดสอบที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมต่อตารางเมตร และเครื่องขึ้นแผ่นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่ของเครื่องขึ้นแผ่นทดสอบจะมีพื้นที่เท่ากับ 0.0314 ตารางเมตร ดังนั้น

ถ้าจะขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบที่น้ำมาตรฐาน 100 กรัมต่อตารางเมตร เยื่อแห้งที่ต้องใช้ในการขึ้นแผ่นคำนวณได้จาก

- แผ่นทดสอบ 1ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่น 100 กรัม

ถ้าแผ่นทดสอบมีขนาด 0.0314 ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่นเท่ากับ 100 x 0.0314 = 3.14 กรัม

- ตัวอย่างที่ใช้คำนวณคือเยื่อที่ต้มที่สภาวะที่ 1 (NaOH 10%,100°C,1 hr.) โดยมีน้ำหนักเยื่อเปียก 2,645.2 กรัม ความชื้น 88.6 % และมีน้ำหนัก Reject 83.8 กรัม ความชื้น 7.8 %

- ถ้าต้องการใช้เยื่อแห้ง 3.14 กรัม ในการขึ้นแผ่นทดสอบที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมต่อตารางเมตร 1 แผ่น ซึ่งเยื่อมีความชื้นเท่ากับ 88.6% ทำให้มีเยื่อแห้งเท่ากับ 11.4% ดังนั้นเยื่อเปียกที่ต้องใช้ในการขึ้นแผ่นคำนวณได้จาก

- แผ่นทดสอบมีน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ 11.4 กรัม จะต้องใช้เยื่อเปียก 100 กรัม

ถ้าแผ่นทดสอบต้องการเยื่อแห้งเท่ากับ 100 กรัม จะต้องใช้เยื่อแห้ง 3.140 กรัม

ถ้าขึ้นแผ่นทดสอบที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมต่อตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อเปียก (100 x 3.140) / 11.4 = 27.54 กรัม

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติกระดาษ

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบน้ำหนักแผ่นกระดาษ

แผ่น	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
น้ำหนัก (กรัม)	3.223 ± 0.068	2.692 ± 0.087	3.124 ± 0.069

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (Basic weight หรือ Grammage)

แผ่น	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
น้ำหนัก (กรัมต่อตารางเมตร)	103.15 ± 2.174	86.15 ± 2.801	99.98 ± 2.218

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness)

แผ่น	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง	NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
ความหนา (ไมโครเมตร)	138 ± 10.663	113 ± 5.148	108 ± 2.408

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบความพรุนของกระดาษ (Porosity)

แผ่น	เยื่อNaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	เยื่อNaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง 5 นาที	เยื่อNaOH 20% ครั้งใหม่ อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง
ความพรุน (วินาที)	48.16 ± 22.873	66.86 ± 13.499	86.94 ± 21.187

ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบของผลการทดสอบคุณสมบัติกระดาษ

ตารางที่ ค-1 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength)

แผ่น	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง			NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง			NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง		
	Load (N)	Stroke (mm)	Index (Nm/g)	Load (N)	Stroke (mm)	Index (Nm/g)	Load (N)	Stroke (mm)	Index (Nm/g)
1	58.6	0.8	39.15	46.8	0.6	36.74	79.5	1.2	51.62
2	45.9	0.8	29.56	58.9	1.0	47.74	84.7	1.2	55.36
3	46.6	0.6	29.40	63.8	0.9	48.84	73.2	1.5	49.30
4	59.4	0.6	38.55	50.5	0.7	37.49	70.2	0.9	47.95
5	46.0	0.8	29.45	46.1	0.8	35.41	75.6	1.0	50.41
เฉลี่ย	51.3	0.7	33.22	53.2	0.8	41.24	76.6	1.2	50.93

ตารางที่ ค-2 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีก (Tear strength)

แผ่น	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง		NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง		NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	
	Tear resistance (mN)	Tear index (mN m^2/g)	Tear resistance (mN)	Tear index (mN m^2/g)	Tear resistance (mN)	Tear index (mN m^2/g)
1 และ 2	152.984	1.505	101.989	1.220	254.973	2.492
3 และ 4	98.0665	0.941	109.834	1.242	196.133	1.995

เฉลี่ย	125.525		105.912		225.553	

ตารางที่ ค-3 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength)

แผ่น	NaOH 10% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง		NaOH 20% อุณหภูมิ 160 องศา เวลา 1 ชั่วโมง		NaOH 20% อุณหภูมิ 100 องศา เวลา 2 ชั่วโมง	
	Bursting strength (kPa)	Bursting index (kPa m^2/g)	Bursting strength (kPa)	Bursting index (kPa m^2/g)	Bursting strength (kPa)	Bursting index (kPa m^2/g)
1	128.6	1.28	205.9	2.42	248.4	2.42
2	114.8	1.11	186.7	2.27	213.6	2.10
3	111.8	1.06	147.8	1.70	204.7	2.06
4	92.6	0.90	137.9	1.54	231.9	2.38
5	127.1	1.22	152.4	1.76	231.4	2.34
เฉลี่ย	114.98		166.14		226.0	

ภาคผนวก ง

ภาพผลการทดลอง

ภาพที่ ง-1 ตัวอย่างของเยื่อเปียกของเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ ง-2 ตัวอย่างของ Reject ของเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ ง-3 ตัวอย่างกระดาษทดสอบจากเยื่อเปลือกส้มโอที่ต้มในสภาวะต่าง ๆ