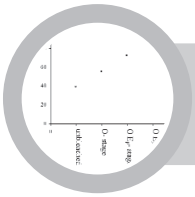


การผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากต้นกระถินยักษ์ โดยใช้กระบวนการฟอกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เกียรติสุดา ปูอุตรี

บทคัดย่อ

รายงานการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากต้นกระถินยักษ์โดยใช้กระบวนการฟอกแบบปราศจากคลอรีนที่มีขั้นการฟอกต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นออกซิเจน ขั้นการสกัดด้วยด่างโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย และขั้นเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ จากผลการฟอกพบว่าที่ขั้นการฟอกต่าง ๆ ให้ผลผลิตเยื่อที่ใกล้เคียงกันและการเพิ่มขั้นการฟอกทำให้เยื่อมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเยื่อก่อนและหลังฟอกพบว่าการฟอกเยื่อไม่ได้ทำให้สมบัติความแข็งแรงเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยจากผลการทดลองพบว่าเยื่อก่อนฟอกและเยื่อหลังฟอกจากขั้นการฟอกต่าง ๆ ให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ดัชนีความต้านแรงดึงขาดและดัชนีความต้านแรงดันทะลุที่ใกล้เคียงกัน

บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการเยื่อกระดาษในประเทศไทยมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากความต้องการใช้เยื่อกระดาษในกิจกรรมต่าง ๆ โดยในปัจจุบันไทยต้องนำเข้าเยื่อบางส่วนจากต่างประเทศและแม้ว่าจะมีความพยายามในการนำพืชชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในประเทศ เช่น ยูคาลิปตัส และชานอ้อย มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ แต่ปริมาณเยื่อที่ผลิตได้ก็มีปริมาณที่ไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งาน นอกจากนี้แล้วการปลูกยูคาลิปตัสเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษก็ยังเป็นข้อโต้แย้งในเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุดังกล่าว การหาวัตถุดิบใหม่ ๆ ที่มีอยู่ภายในประเทศ เพื่อนำมาทำเยื่อกระดาษจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ซึ่งทางผู้วิจัยเห็นว่าวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่น่าจะนำมาศึกษาวิจัยเพื่อใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษได้ คือ ต้นกระถินยักษ์ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit ทั้งนี้เพราะเหตุว่ากระถินยักษ์เป็นไม้โตเร็วที่สามารถปลูกได้ทั่วไปในทุกภูมิภาคของไทย โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำต้นกระถินยักษ์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาว โดยใช้กระบวนการฟอกแบบปราศจากคลอรีนซึ่งเป็นกระบวนการฟอกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลงานวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อไป

วิธีการทดลอง

1. การต้มเยื่อ

นำชิ้นไม้ต้นกระถินยักษ์ 200 กรัมน้ำหนักอบแห้งและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณร้อยละ 24 ของน้ำหนักไม้อบแห้งบรรจุลงในหม้อต้มทรงกระบอกขนาดความจุ 2.5 ลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนในหม้อต้มเยื่อโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการต้ม 4 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำเยื่อที่ได้ไปล้างให้สะอาดด้วยน้ำ แล้วแบ่งเยื่อที่ได้ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐานเพื่อใช้ทดสอบหาสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของเยื่อ ได้แก่ ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ดัชนีความต้านแรงดึงขาด ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ และความขาวสว่าง สำหรับเยื่อส่วนที่เหลือนำไปฟอกในขั้นการฟอกเยื่อต่อไป

2. การฟอกเยื่อ

นำเยื่อที่ได้จากข้อ 2.1 ไปทำการฟอกเพื่อให้ได้เยื่อที่มีสีขาวสะอาดตา ด้วยการฟอกแบบปราศจากคลอรีน (totally chlorine-free bleaching) ซึ่งมีขั้นการฟอกต่าง ๆ ดังนี้

O = ขั้นออกซิเจน (oxygen stage)
E_p = ขั้นการสกัดด้วยด่าง (extraction stage) โดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย
P = ขั้นเปอร์ออกไซด์ (peroxide stage)

2.1 ขั้นออกซิเจน

นำเยื่อที่ได้จากข้อ 2.1 กระจายด้วยเครื่องกระจายเยื่อ แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกทนความร้อน เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมซัลเฟตปริมาณร้อยละ 3.0 และ 1.0 ของน้ำหนักเยื่อออบแห้ง ตามลำดับ ปรับความข้นของเยื่อด้วยน้ำให้ได้ร้อยละ 20 หลังจากนั้นนำเยื่อที่ได้บรรจุในหม้อต้มทรงกระบอก แล้วนำไปให้ความร้อน

โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการฟอก 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา กรองเยื่อที่ได้ด้วยกรวยกรองแบบแก้ว แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลผลิตเยื่อฟอกในขั้นออกซิเจน หลังจากนั้นแบ่งเยื่อที่ได้ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐานเพื่อใช้ทดสอบหาสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของเยื่อ ได้แก่ ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ดัชนีความต้านแรงดึงขาด ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ และความขาวสว่าง สำหรับเยื่อส่วนที่เหลือนำไปฟอกในขั้นการสกัดด้วยด่างโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยต่อไป

2.2 ขั้นการสกัดด้วยด่างโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย

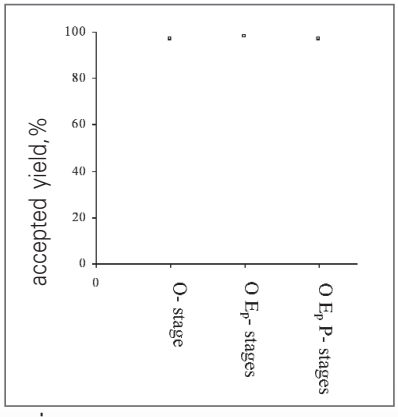
นำเยื่อที่ได้จากข้อ 2.1 กระจายด้วยเครื่องกระจายเยื่อ แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกทนความร้อน เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณร้อยละ 2.0 และ 0.5 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ตามลำดับ ปรับความข้นของเยื่อด้วยน้ำให้ได้ร้อยละ 10 หลังจากนั้นปิดปากถุงแล้วแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการฟอก 1 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา กรองเยื่อที่ได้ด้วยกรวยกรองแบบแก้ว แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลผลิตเยื่อฟอกในขั้นการสกัดด้วยด่างโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย หลังจากนั้นแบ่งเยื่อที่ได้ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐานเพื่อใช้ทดสอบหาสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของเยื่อ ได้แก่ ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ดัชนีความต้านแรงดึงขาด ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ และความขาวสว่างสำหรับเยื่อส่วนที่เหลือนำไปฟอกในขั้นเปอร์ออกไซด์ต่อไป

2.3 ขั้นเปอร์ออกไซด์

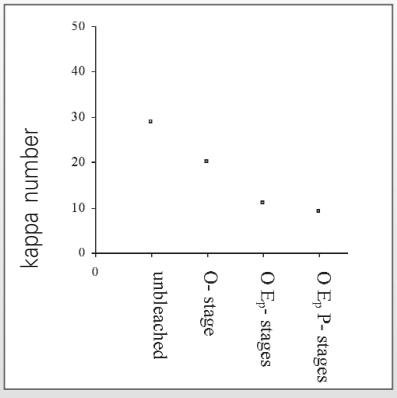
นำเยื่อที่ได้จากข้อ 2.2 กระจายด้วยเครื่องกระจายเยื่อ แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกทนความร้อน เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แมกนีเซียม-ซัลเฟต และโซเดียมซิลิเกต ปริมาณร้อยละ 2.0, 1.0, 0.05 และ 2.0 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ตามลำดับ ปรับความข้นของเยื่อด้วยน้ำให้ได้ร้อยละ 10 หลังจากนั้นปิดปากถุงแล้วแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการฟอก 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา กรองเยื่อที่ได้ด้วยกรวยกรองแบบแก้ว แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาผลผลิตเยื่อฟอกในขั้นเปอร์ออกไซด์ หลังจากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปทำแผ่นทดสอบมาตรฐานเพื่อใช้ทดสอบหาสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของเยื่อ ได้แก่ ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ดัชนีความต้านแรงดึงขาด ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ และความขาวสว่าง

ผลการทดลอง

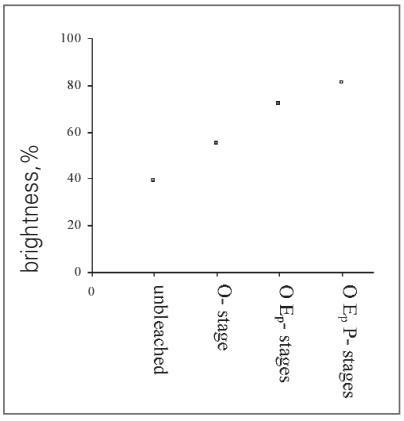
เมื่อนำเยื่อต้นกระถินยักษ์ที่ได้หลังการต้มไปทำการฟอกเพื่อให้ได้เยื่อที่มีสีขาวสะอาดตา ด้วยการฟอกแบบปราศจากคลอรีนในขั้นต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นออกซิเจน ขั้นการสกัดด้วยด่างโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วย และขั้นเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ ได้ผลการฟอกเยื่อและสมบัติทางกายภาพของเยื่อฟอก ดังแสดงในภาพที่ 1 ถึง 7



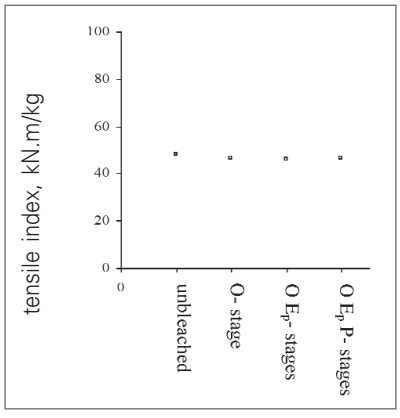
ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเยื่อที่ใช้ได้และขั้นการฟอก



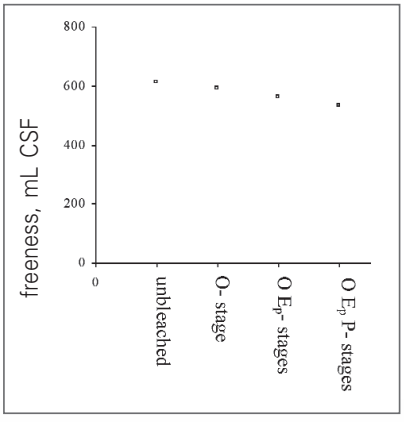
ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Kappa number และขั้นการฟอก



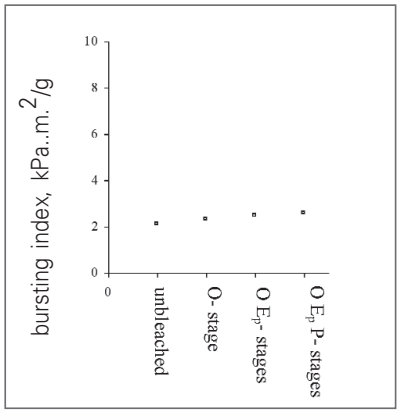
ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขาวสว่างและขั้นการฟอก



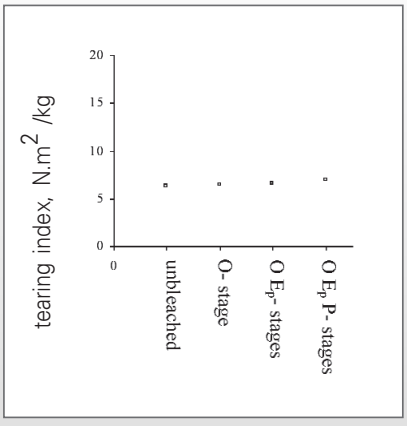
ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความต้านแรงดึงและขั้นการฟอก



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟรีเนสและขั้นการฟอก



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความต้านแรงดันทะลุและขั้นการฟอก



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความต้านแรงฉีกขาดและขั้นการฟอก

วิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากต้นกระถินยักษ์โดยใช้กระบวนการฟอกแบบปราศจากคลอรีน โดยทำการฟอกเยื่อต้นกระถินยักษ์ด้วยกระบวนการฟอกแบบปราศจากคลอรีน 3 ขั้นตอนที่มีขั้นการฟอกต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นออกซิเจน ขั้นการสกัดด้วยด่างโดยมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมด้วยและขั้นเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ จากผลการฟอกพบว่าที่ขั้นการฟอกต่างๆ ให้ผลผลิตเยื่อที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาผลของการฟอกที่มีต่อปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อซึ่งแสดงด้วยค่า Kappa number พบว่าการเพิ่มขั้นการฟอกทำให้ค่า Kappa number ลดลง ซึ่งส่งผลให้เยื่อมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการฟอกแต่ละขั้น

สามารถละลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินได้ โดยที่ด่างสามารถละลายลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใย ในขณะที่ออกซิเจนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับลิกนิน ภายใต้สภาวะที่เป็นด่างและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนินเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ซึ่งทำให้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงที่ตามองเห็นมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้มองเห็นว่าเยื่อมีความขาวเพิ่มขึ้น

เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะด่าง จึงทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับโลหะหนักที่มีในเนื้อไม้ รวมทั้งโลหะจากเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการฟอก เช่น เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส เป็นต้น ซึ่งวิธีลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการเติมโซเดียมซิลิเกต และแมกนีเซียมซัลเฟตลงไปในขั้นการฟอกด้วยเปอร์ออกไซด์ สารเคมีดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดความเสถียร โดยสามารถควบคุมการฟอกให้อยู่ในสภาวะด่างและป้องกันการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากคอลลอยด์ของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์หรือซิลิเกตสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักต่างๆ ไม่ให้ส่งผลรบกวนในขั้นการฟอกด้วยเปอร์ออกไซด์

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเยื่อก่อนและหลังฟอก พบว่าการฟอกเยื่อทำให้ค่าฟรีเนสลดลง เนื่องมาจากเส้นใยบางส่วนถูกตัดให้สั้นลง เยื่อจึงอุ้มน้ำได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการฟอกเยื่อไม่ได้ทำให้สมบัติความแข็งแรงเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยจากผลการทดลองพบว่าเยื่อก่อนฟอกและเยื่อหลังฟอกจากขั้นการฟอกต่างๆ ให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ดัชนีความต้านแรงดึงขาด และดัชนีความต้านแรงดันทะลุที่ใกล้เคียงกัน

สรุปผลการทดลอง

จากผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากต้นกระถินยักษ์ได้โดยใช้กระบวนการฟอกแบบปราศจากคลอรีน ซึ่งเป็นกระบวนการฟอกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และผลงานวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อไป

ข้อเสนอแนะ

มีความเป็นไปได้ที่จะนำกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากต้นกระถินยักษ์ได้จากงานวิจัยนี้ มาประยุกต์ใช้สำหรับผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวในเชิงอุตสาหกรรมจากวัตถุดิบอื่น เช่น ยูคาลิปตัสและซานอ้อย เป็นต้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากวัตถุดิบแต่ละชนิด เพราะกระบวนการที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้อาจไม่ใช่กระบวนการที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษจากวัตถุดิบอื่นก็เป็นไปได้

เอกสารอ้างอิง

Casey, James P. **Pulp and paper : chemistry and chemical technology.** Vol. I. 2nd rev. and enl. ed. New York : Interscience Publishers, 1960. p 535-545.

Colodette, JL; and Dence, CW. Factors affecting hydrogen peroxide stability in the brightening of mechanical and chemimechanical pulps. Part IV: The effect of Transition metals in Norway spruce TMP on hydrogen peroxide stability. **Journal of Pulp and Paper Science,** May, 1989, vol. 15, p. 79-83.

Colodette, JL; Rothenberg, S.; and Dence, CW. Factors affecting hydrogen peroxide stability in the brightening of mechanical and chemimechanical pulps. Part II: Hydrogen peroxide stability in the presence of sodium silicate. **Journal of Pulp and Paper Science,** January, 1989, vol. 15, p. 3-10.

_____. Factors affecting hydrogen peroxide stability in the brightening of mechanical and chemimechanical pulps. Part III : Hydrogen peroxide stability in the presence of magnesium and combinations of stabilizers. **Journal of Pulp and Paper Science,** March, 1989, vol. 15, p. 45-50.

Patrick, Ken L. **Bleaching technology for chemical and mechanical pulps.** San Francisco : Miller Freeman, 1991, p. 83-91.