**นิพนธ์ต้นฉบับ**

# ศักยภาพเส้นใยต้นอ้อยักษ์ (*Arundo donax* L.) ในประเทศไทย สำหรับอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์

# Potential of Giant Reed Fiber (*Arundo donax* L.) in Thailand for the Kraft Paper Industries

**ธิติมา เลาหสินณรงค์**[1,2] Thitima Laohasinnarong[1,2]
**สาวิตรี พิสุทธิ์พิเชฏฐ์**[1*] Sawitree Pisutpiched[1*]
**บัวผัน พวงศิลป์**[1] Buapan Puangsin[1]
**ธีรัตว์ อาจสำอางค์**[1] Theerat Ardsamang[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[1]Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
[2]สำนักอุทยานแห่งชาติ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[2]National Park Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, E-mail: fforsap@ku.ac.th

**รับต้นฉบับ** 23 พฤษภาคม 2566 **รับแก้ไข** 3 กรกฎาคม 2566 **รับลงพิมพ์** 7 กรกฎาคม 2566

## ABSTRACT

We studied the potential of giant reed fiber (*Arundo donax* L.) in the kraft paper industries, with the primary focus on the basic properties of the raw material. An analysis of the chemical composition and fiber morphology was conducted. The pulp of giant reed kraft was prepared in 20 to 25% active alkali, having 30% sulfidity, at a maximum temperature of 170°C for 60 minutes. Subsequently, the pulp yield and kappa number were measured for evaluating the optimum potential as an alternative to the industrial kraft pulp. The results indicated that its chemical composition contained 74.88% holocellulose, 41.26% cellulose, 22.42% lignin, 24.59% pentosan, 10.22% extractive, and 4.46% ash. The fiber morphology had a slender fiber shape with a length and width of 1.45 mm and 24.01 micron, respectively. The measured pulp yield, residue, and kappa number were 51.54%, 1.30% and 25.2, respectively. It was observed that the giant reed kraft pulp had a higher potential than some non-wood and wood kraft pulps e.g., bagasse, eucalyptus, and softwood. The various pulps were beaten to 350±20 ml (Canadian Standard Freeness: CSF) freeness and the pulp handsheets were prepared for strength testing. It was observed that tensile index, tear index, burst index, and folding endurance of the giant reed pulp were higher than bagasse and eucalyptus but lower than softwood. We conclude that the giant reed can be considered as a viable raw material option in the kraft paper industry.

**Keywords:** *Arundo donax* L.; Kraft pulp; Non-wood fibers

## บทคัดย่อ

การศึกษาศักยภาพของเส้นใยต้นอ้อยักษ์ในประเทศไทยเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย แล้วจึงนำมาผลิตเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ โดยใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ (active alkali) ร้อยละ 20-25 ซัลฟิดิตี้ (sulfidity) ร้อยละ 30 ภายใต้อุณหภูมิสูงสุดที่ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด 60 นาที จากนั้นหาผลผลิตเยื่อ ค่าตัวเลขคัปปา เพื่อประเมินความเหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ต่อไป จากผลการศึกษา พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอ้อยักษ์ประกอบด้วย ปริมาณโฮโลเซลลูโลสร้อยละ 74.88 เซลลูโลสร้อยละ 41.26 ลิกนินร้อยละ 22.42 เพนโทซานร้อยละ 24.59 สารแทรกร้อยละ 10.22 และขี้เถ้าร้อยละ 4.46 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอ้อยักษ์มีลักษณะเรียวยาว มีความยาวของเส้นใยอยู่ที่ 1.45 มิลลิเมตร และความกว้างของเส้นใย 24.01 ไมโครเมตร และให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 51.54 และมีส่วนตกค้างร้อยละ 1.30 ในขณะที่ตัวเลขคัปปาอยู่ที่ 25.2 จะเห็นได้ว่าเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์มีศักยภาพที่ดีกว่าเยื่อคราฟท์จากพืชที่ไม่ใช่เนื้อไม้บางชนิดและพืชที่มีเนื้อไม้ เช่น เยื่อจากชานอ้อย ยูคาลิปตัสและไม้ใบแคบ เมื่อทำการตีเยื่อแต่ละชนิดจนได้ค่าความเป็นอิสระของเยื่อ 350±20 ml (Canadian Standard Freeness: CSF) และทำการทดสอบสมบัติความแข็งแรงของแผ่นชิ้นทดสอบ พบว่าค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงฉีกขาด แรงดันทะลุและความทนทานต่อการหักพับของแผ่นชิ้นทดสอบจากเยื่ออ้อยักษ์จะได้ค่าความแข็งแรงที่มากกว่าเยื่อชานอ้อยและเยื่อยูคาลิปตัส แต่มีค่าน้อยกว่าเยื่อไม้ใบแคบ ดังนั้น ต้นอ้อยักษ์จึงเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ได้


**คำสำคัญ**: ต้นอ้อยักษ์ เยื่อคราฟท์ เส้นใยจากพืชที่ไม่ใช่เนื้อไม้

## คำนำ

อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตสินค้าและบริการเพื่อส่งต่อให้แก่อุตสาหกรรมอื่น ๆ ในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการเก็บรักษาสินค้าขณะทำการเคลื่อนย้ายหรือขนส่ง และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าอีกด้วย โดยคุณสมบัติของกระดาษคราฟท์ที่สำคัญสำหรับนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ คือ ด้านความแข็งแรง ในปัจจุบันความนิยมในการเลือกใช้กระดาษคราฟท์มาจากกระแสความนิยมด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เพราะมีผู้คนส่วนใหญ่คิดว่าสามารถนำกระดาษคราฟท์ไปรีไซเคิลได้ ในการผลิตกระดาษคราฟท์ 1 แผ่น ประกอบด้วยชั้นเยื่อหลายชั้น ซึ่งมีวัตถุดิบหลักได้แก่ เยื่อเส้นใยสั้น เยื่อเส้นใยยาว และเศษกระดาษรีไซเคิล โดยความแตกต่างของเยื่อแต่ละชนิดย่อมส่งผลต่อคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สำหรับประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตเยื่อชนิดเส้นใยสั้น อาทิ เยื่อยูคาลิปตัส เยื่อชานอ้อย เยื่อไผ่ ส่วนเยื่อเส้นใยยาว ได้แก่ เยื่อที่ผลิตจากไม้ตระกูลสน ประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ รวมถึงเศษกระดาษรีไซเคิลที่ต้องมีการนำเข้ามาด้วยเช่นกัน

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID–19) ที่ส่งผลต่อการดำเนินชีวิตและทำกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้ชีวิต และจากความนิยมในการสั่งซื้อสินค้าอุปโภคและบริโภคผ่านช่องทางออนไลน์หรือช่องทางอื่น ๆ ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการด้านบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษคราฟท์ ส่งผลกระทบต่อวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตกระดาษ ได้แก่ เยื่อกระดาษ ซึ่งมีแนวโน้มที่ไม่เพียงพอต่อกำลังการผลิต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมองหาวัตถุดิบทางเลือกที่เหมาะสม

ต้นอ้อยักษ์ หรือ Giant reed เป็นพืชจำพวกหญ้าขนาดใหญ่และเป็นพืชล้มลุก ส่วนมากขึ้นเป็นกอ มีความสูงประมาณ 2–8 เมตร และมีความกว้าง 1.5–3.0 เซนติเมตร ลักษณะลำต้นเป็นปล้องตั้งตรง ปล้องสั้น ภายในเป็นปล้องกลวงคล้ายไผ่ สำหรับประเทศไทยพบเพียง 1 ชนิด มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Arundo donax* L. สามารถพบได้ตามธรรมชาติบริเวณชายน้ำหรือริมน้ำ เช่น จังหวัดกาญจนบุรี อุทัยธานี นครสวรรค์ เชียงใหม่ เป็นต้น (Plant Varieties Protection Office, 2019)

สำหรับในด้านการใช้ประโยชน์ของต้นอ้อยักษ์ มีดังนี้ (1) การเป็นส่วนประกอบของเครื่องดนตรีประเภทเป่า คือ ลิ้นคลาริเน็ต (2) การผลิตก๊าซชีวภาพ (3) การผลิตไบโอเอทานอล (4) การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช (5) การผลิตเฟอร์นิเจอร์และเครื่องใช้ (6) การผลิตอาหารสัตว์ และ (7) การผลิตกระดาษ นับว่าเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

หลากหลาย แต่ที่นิยมกันมากที่สุด คือ การนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องดนตรีประเภทเป่า เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากและมีราคาค่อนข้างสูง จากงานวิจัยของ Kolesik *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของอ้อยักษ์ที่เหมาะสมกับเครื่องดนตรีประเภทคาริเน็ต พบว่า อ้อยักษ์เป็นไม้ที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีความแข็ง อันเนื่องมาจากมัดของเส้นใยจำนวนมากในพาเรงคิมาของชั้น Inner cortex ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเสียงในเครื่องดนตรีประเภทเป่าอื่น ๆ เมื่อเปรียบกับพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ไผ่ ที่มีลำต้นที่หนาและแข็งเช่นเดียวกัน พบว่า เมื่อนำต้นไผ่ไปปรับแต่งเป็นลิ้นในเครื่องเป่าจะทำให้เกิดความเปราะและขาดความยืดหยุ่น (Theerasuntornvat, 2016) ดังนั้น หากประเทศไทยมีการนำต้นอ้อยักษ์มาผลิตเป็นลิ้นในเครื่องดนตรีจะช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้เป็นจำนวนมากและยังเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกต้นอ้อยักษ์ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตลิ้นเครื่องดนตรีต่อไป นอกจากนี้ เศษของอ้อยักษ์ที่เหลือทิ้งจากการผลิตลิ้นเครื่องดนตรียังสามารถนำมาใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษได้

การศึกษานี้ใช้วัตถุดิบ คือ ต้นอ้อยักษ์ *(Arundo donax* L.*)* โดยใช้ส่วนของลำต้นบริเวณปล้อง ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตเยื่อ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใย ศึกษาสภาวะการผลิตเยื่อที่เหมาะสมโดยวิธีคราฟท์ และศึกษาศักยภาพของเส้นใยต้นอ้อยักษ์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตกระดาษ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมวัตถุดิบ

1. ต้นอ้อยักษ์ *(Arundo donax* L.*)* จากจังหวัดเชียงใหม่ นำส่วนของกาบใบออก และเลือกใช้เฉพาะส่วนของลำต้นบริเวณปล้องมาตัดให้มีขนาดความยาว 1 นิ้ว จากนั้นจึงนำมาผ่าแบ่งเป็น 4 ส่วน และนำไปตากให้แห้ง เพื่อนำไปใช้การต้มเยื่อคราฟท์ต่อไป

2. เยื่อคราฟท์ที่ไม่ผ่านการฟอกสีจากโรงงานกระดาษ ได้แก่ เยื่อชานอ้อย เยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อไม้ใบแคบ เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยและคุณสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรง

### การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำชิ้นอ้อยักษ์สับมาบดให้เป็นผง และคัดแยกด้วยตะแกรงคัดขนาดผงไม้ที่ 40-60 mesh จากนั้นนำมาเตรียมผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกตามมาตรฐาน TAPPI T264 cm-07 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. การหาปริมาณโฮโลเซลลูโลส (holocellulose)

2. การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (alpha-Cellulose) ตามมาตรฐาน TAPPI T203 cm-09

3. การหาปริมาณลิกนิน (lignin) ตามมาตรฐาน TAPPI T222 om-11 และTAPPI UM250

4. การหาปริมาณเพนโทซาน (pentosans) ตามมาตรฐาน TAPPI T223 cm-10

5. การหาปริมาณสารแทรก (extractives)

6. การหาปริมาณขี้เถ้า (ash) ตามมาตรฐาน TAPPI T211 om-07

### การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใย (fiber morphology)

การศึกษารูปร่างของเส้นใย เยื่ออ้อยักษ์ เยื่อชานอ้อย เยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อไม้ใบแคบ ทำโดยการนำเส้นใยแต่ละชนิดไปย้อมสีด้วย 2% safranin นำไปทำบนแผ่นสไลด์ และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ Light microscope กำลังขยาย 10X จากนั้นถ่ายรูปของเส้นใยอ้อยักษ์

การวัดความยาว ความกว้างของเส้นใย ความกว้างลูเมนและความหนาของผนังเซลล์เส้นใย เยื่ออ้อยักษ์ เยื่อชานอ้อย เยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อไม้ใบแคบ ทำโดยนำเส้นใยเยื่อแต่ละชนิดไปย้อมสีด้วย 2% safranin นำไปทำบนแผ่นสไลด์ และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ Light microscope กำลังขยาย 40X จากนั้นถ่ายรูปและทำการวัดค่า โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ZEISS vision นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาของผนังเซลล์เส้นใย (cell wall thickness) ค่าสัดส่วนความชะลูด (slenderness ratio) ค่าสัดส่วนรังเคิล (runkel ratio) และค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (flexibility coefficient) โดยใช้สูตร (1) (2) (3) และ (4) (Bubpha *et al.*, 2017; Khantayanuwong *et al.*, 2023) ตามลำดับ

$$\text{Cell wall thickness} = \frac{(\text{fiber width-lumen width})}{2} \quad (1)$$

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{\text{fiber length}}{\text{lumen width}} \quad (2)$$

$$\text{Runkel ratio} = 2 \times \frac{\text{cell wall thickness}}{\text{lumen width}} \quad (3)$$

$$\text{Flexibility coefficient} = \left(\frac{\text{flumen width}}{\text{fiber width}}\right) \times 100 \qquad (4)$$

### การต้มเยื่อคราฟท์

นำชิ้นอ้อยักษ์สับที่เตรียมไว้มาต้มเยื่อด้วยวิธีคราฟท์ โดยมีสภาวะการต้มเยื่อที่มีแอคทีฟอัลคาไลน์ (active alkali) ที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 20, 22 และ 25 ตามลำดับ และมีซัลฟิดิตี้ (sulfidity) ร้อยละ 30 อัตราส่วนของของเหลวต่อวัตถุดิบ (L:W) 4:1 ภายใต้อุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature: max temp.) 170 องศาเซลเซียส และเวลาถึงอุณหภูมิสูงสุด (time to max temp.) 30 นาที โดยใช้เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด (time at max temp.) 60 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการล้างเยื่อและคัดขนาดเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI T275 sp-98 และหาร้อยละผลผลิตของเยื่อ (pulp yield) ร้อยละส่วนที่เหลือตกค้าง (reject) และหาปริมาณลิกนินที่เหลือในเยื่อ (kappa number) ตามมาตรฐาน ISO 302

### การเตรียมแผ่นชิ้นทดสอบและการทดสอบสมบัติความแข็งแรงของกระดาษ

นำเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ เยื่อคราฟท์ชานอ้อย เยื่อคราฟท์ยูคาลิปตัสและเยื่อคราฟท์ไม้ใบแคบ มาทำการบดด้วยเครื่องบดเยื่อ (valley beater) ตามมาตรฐาน TAPPI T200 sp-96 และหาค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (freeness) ตามมาตรฐาน TAPPI T227 om-17 จนได้ค่าเท่ากับ 350±20 ml (CSF) จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ISO 5269-1 และนำชิ้นตัวอย่างที่ขึ้นรูปแล้วแต่ละชนิดเก็บไว้ที่ห้องควบคุมสภาวะ ที่อุณหภูมิ 23±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50±2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ISO 187 เพื่อเตรียมนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและด้านความแข็งแรง ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T494 om-96 ความแข็งแรงต่อการดันทะลุ (bursting strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T403 om-15 ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (tearing strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T414 om-12 และความแข็งแรงต่อการหักพับ (folding strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T511 om-96 โดยทำการทดสอบตัวอย่างละ 5 ซ้ำ และนำมาวิเคราะห์ผลต่อไป

## ผลและวิจารณ์

### องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของอ้อยักษ์ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า อ้อยักษ์มีปริมาณของโฮโลเซลลูโลสร้อยละ 74.88 แอลฟาเซลลูโลสร้อยละ 46.26 ลิกนินร้อยละ 22.42 เพนโทซานร้อยละ 24.59 สารแทรกร้อยละ 10.22 และปริมาณขี้เถ้าร้อยละ 4.46 ดัง Table 1 จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชจำพวกข้อปล้องที่มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ พืชไม่ใช่เนื้อไม้ที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ ไผ่ตง (Khantayanuwong *et al.*, 2023) ชานอ้อย (Samariha *et al.*, 2011) และฟางข้าว (Rodríguez *et al.*, 2008) พบว่าอ้อยักษ์จะให้ปริมาณโฮโลเซลลูโลสใกล้เคียงกับชานอ้อย แต่สูงกว่าไผ่ตงและฟางข้าว ในขณะที่ไผ่ตงและชานอ้อยจะให้ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงกว่าอ้อยักษ์เล็กน้อย แต่อ้อยักษ์จะมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงกว่าฟางข้าวมาก สำหรับปริมาณลิกนิน พบว่าอ้อยักษ์จะมีปริมาณลิกนินใกล้เคียงกับฟางข้าวแต่ละสูงกว่าชานอ้อยเล็กน้อยและต่ำกว่าไผ่ตงมาก อ้อยักษ์มีปริมาณสารที่ละลายในน้ำร้อนใกล้เคียงกับไผ่ตงแต่สูงกว่าฟางข้าว และยังมีปริมาณขี้เถ้าสูงกว่าไผ่ตงและชานอ้อย แต่ต่ำกว่าฟางข้าวมาก

**Table 1** Summary of the chemical composition of *Arundo donax* L., bamboo, bagasse, rice straw, softwood, and *Eucalyptus* (the standard deviations in parentheses).

| Chemical Composition (%) | Giant Reed *(A. donax* L.*)* | Bamboo[1] *(D. asper)* | Bagasse[2] | Rice straw[3] | Softwood[4] *(P. orientalis)* | *Eucalyptus*[5] *(E. camaldulensis)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Holocellulose | 74.88 (0.35) | 70.83 | 74.77 | 60.70 | 74.46 | 72.3 |
| Alpha-cellulose | 46.26 (0.69) | 47.64 | 47.40 | 41.20 | 44.31 | - |
| - Acid-insoluble lignin | 20.27 (0.02) | - | | - | - | - |
| - Acid-soluble lignin | 2.16 (0.16) | - | | - | - | - |
| - Total lignin | 22.42 (0.15) | 29.58 | 20.35 | 21.90 | 25.20 | 27.1 |
| Pentosan | 24.59 (0.26) | - | - | - | - | 15.2 |
| Extractives | | | | | | |
| - Acetone extractives | 1.50 (0.26) | - | 3.15 | - | - | - |
| - Hot water solubility | 8.72 (0.66) | 8.60 | - | 7.30 | 2.81 | - |
| - Total extractives | 10.22 (0.24) | - | - | - | - | 7.90 |
| Ash | 4.46 (0.16) | 1.73 | 1.74 | 9.20 | 0.32 | 0.85 |

**Remarks:** [1]Khantayanuwong *et al.* (2023); [2]Samariha *et al.* (2011); [3]Rodríguez *et al*. (2008); [4]Tutus *et al.* (2010); [5]Pisuttipiched (2004)

ในกรณีเปรียบเทียบกับพืชที่ใช้เนื้อไม้ ได้แก่ ไม้ใบแคบ *(P. orientalis)* (Tutus *et al.*, 2010) และไม้ยูคาลิปตัส *(E. camaldulensis)* (Pisuttipiched, 2004) พบว่าอ้อยักษ์จะมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสใกล้เคียงกับไม้ใบแคบ แต่สูงกว่ายูคาลิปตัส ในขณะที่ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสของอ้อยักษ์สูงกว่าไม้ใบแคบ อ้อยักษ์จะให้ปริมาณลิกนินต่ำกว่าทั้งไม้ใบแคบและยูคาลิปตัส ในขณะที่มีปริมาณเพนโทซานและสารแทรกสูงกว่ายูคาลิปตัส และอ้อยักษ์ให้ปริมาณขี้เถ้าสูงกว่าพืชที่ใช้เนื้อไม้มาก

## ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยอ้อยักษ์

จากการทดลองพบว่า เส้นใยอ้อยักษ์มีความยาวเฉลี่ย 1.45 มิลลิเมตร และความกว้าง 24.01 ไมโครเมตร ตาม Table 2 และจากงานวิจัยของ Shatalov *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยอ้อยักษ์ในประเทศกรีซ โดยมีความยาวเส้นใยเฉลี่ย 1.157 มิลลิเมตร และความกว้าง 14.6 ไมโครเมตร ซึ่งความยาวและความกว้างของเส้นใยอ้อยักษ์ในการทดลองนี้มีค่าสูงกว่าการทดลองของงานวิจัยข้างต้น และความหนาของผนังเซลล์เส้นใยอ้อยักษ์เท่ากับ 4.71 ไมโครเมตร ขณะที่ความกว้างของลูเมนเท่ากับ 9.20 ไมโครเมตร จากลักษณะความยาว ความกว้าง ความหนาของผนังเซลล์และความกว้างของลูเมน พบว่าเส้นใยอ้อยักษ์มีลักษณะเรียวยาวและมีความยืดหยุ่น เนื่องจากมีผนังเซลล์ที่บางทำให้เกิดการสานตัวกันของเส้นใยที่ดีและช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ ซึ่งรูปร่างของเส้นใยแสดงตาม Figure 1

ในการวิจัยนี้ได้นำเยื่อที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในประเทศไทยมาทำการทดลอง ได้แก่ เยื่อชานอ้อย เยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อไม้ใบแคบ เส้นใยมีความยาวเฉลี่ย 1.33, 0.83 และ 1.94 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับเยื่อไผ่ตงและเยื่อฟางข้าวจากงานวิจัยอื่น ซึ่งมีความยาวเส้นใย 2.48 และ 0.80 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Bubpha *et al.*, 2017; Chollakup *et al.*, 2021) พบว่าเยื่ออ้อยักษ์มีความยาวใกล้เคียงกับเยื่อชานอ้อย และมีความยาวมากกว่าเยื่อฟางข้าวและเยื่อยูคาลิปตัส ซึ่งเป็นความยาวที่จัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยสั้น (short fiber) แต่อ้อยักษ์มีความยาวน้อยกว่าเยื่อไม้ใบแคบและไผ่ตง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยยาว (long fiber) สำหรับความกว้างของเส้นใยชานอ้อยและเส้นใยยูคาลิปตัส พบว่าเส้นใยอ้อยักษ์มีความกว้างใกล้เคียงกับเส้นใยชานอ้อยและเส้นใยยูคาลิปตัส

สมบัติความอ่อนตัวของเส้นใย พิจารณาได้จากค่าสัดส่วนความชะลูดของเส้นใย ค่าสัดส่วนรังเคิล และ

ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของเส้นใย โดยเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างเส้นใย การยุบตัวและความคงรูปของเส้นใย ซึ่งจาก Table 2 เส้นใยอ้อยักษ์มีค่าสัดส่วนความชะลูดเท่ากับ 59.79 ซึ่งใกล้เคียงกับไม้ใบแคบและสูงกว่าเยื่อชานอ้อย แต่สูงกว่าเยื่อยูคาลิปตัสมาก ซึ่งค่าสัดส่วนความชะลูดที่สูงจะมีแนวโน้มที่เส้นใยจะเกิดพันธะกับเส้นใยอื่น ๆ ได้หลายจุดบนเส้นใยเดียวกัน ทำให้กระดาษที่ทำจากเยื่อดังกล่าวนี้มีแนวโน้มที่จะมีความแข็งแรงที่ดี สำหรับค่าสัดส่วนรังเคิลเท่ากับ 1.08 ซึ่งน้อยกว่าเส้นใยยูคาลิปตัส แต่มีค่ามากกว่าเส้นใยชานอ้อยและไม้ใบแคบ เนื่องจากค่าสัดส่วนรังเคิลที่มากกว่า 1 (>1) แสดงว่าเส้นใยมีความแข็งและไม่ยุบตัวง่ายเมื่อเทียบกับเส้นใยที่มีค่าสัดส่วนรังเคิลน้อยกว่า 1 (<1) (Khantayanuwong *et al.*, 2023) จะเห็นได้ว่าเส้นใยอ้อยักษ์มีค่าสัดส่วนรังเคิลประมาณ 1.0 ซึ่งจะให้เส้นใยที่มีความแข็งและอาจยุบตัวยาก แต่ต้องมีการพิจารณาหลังจากการบดเยื่อประกอบด้วย เพราะการบดเยื่อจะช่วยทำให้การยุบตัวของผนังเซลล์ดีขึ้น

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของเส้นใย คือ อัตราส่วนของความกว้างลูเมนต่อความกว้างของเส้นใย ซึ่งเส้นใยอ้อยักษ์มีค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นเท่ากับ 48.71 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยยูคาลิปตัส (46.09) แต่น้อยกว่าเส้นใยชานอ้อย (58.27) และไม้ใบแคบ (56.10) โดย Khantayanuwong *et al.* (2023) ได้มีการจัดประเภทของค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นดังนี้ (1) เส้นใยที่มีความยืดหยุ่นสูง (high elastic fiber) คือเส้นใยที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของเส้นใยมากกว่า 75 (>75) (2) เส้นใยที่มีความยืดหยุ่น (elastic fiber) เป็นเส้นใยที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของเส้นใยอยู่ระหว่าง 50-70 (3) เส้นใยที่ค่อนข้างแข็ง (rigid fiber) เป็นเส้นใยที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของเส้นใยอยู่ระหว่าง 30-50 และ (4) เส้นใยที่มีความแข็ง (highly rigid fiber) เป็นเส้นใยที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของเส้นใยน้อยกว่า 30 (<30) จะเห็นได้ว่าเส้นใยอ้อยักษ์จัดอยู่ในประเภทเส้นใยที่ค่อนข้างยืดหยุ่น คือ มีความคงรูปและสามารถยืดหยุ่นได้ตามแรงที่มากระทำจนเกิดการยุบตัวได้ดีและมีแนวโน้มที่จะเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ดี

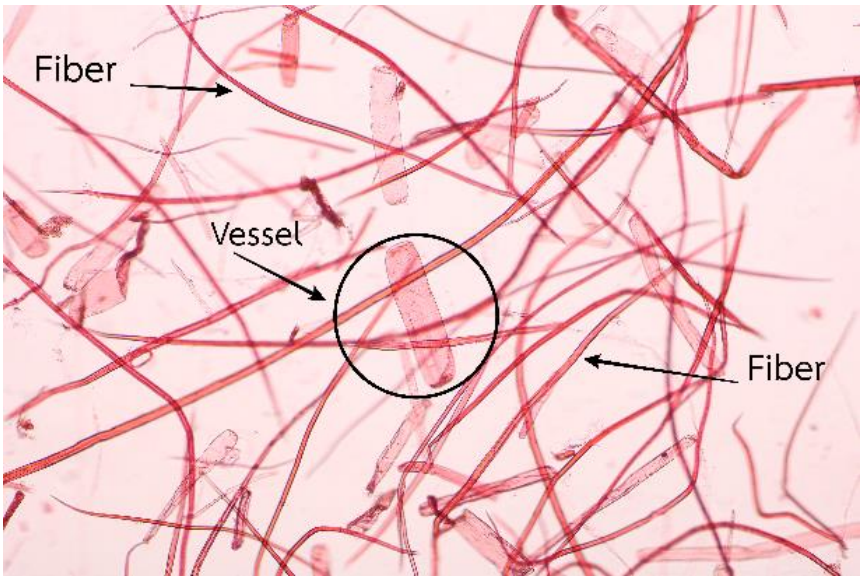


**Figure 1** Fiber morphology of *Arundo donax* L.

**Table 2** Fiber Characteristics of *Arundo donax* L., bagasse, *Eucalyptus*, softwood, bamboo, and rice straw kraft pulps as determined using microphotographs measurement (standard deviations area indicated in parentheses).

| Characteristics | Unbleached Reed kraft pulp *(A.donax L.)* | Bagasse kraft pulp | Unbleached eucalyptus kraft pulp | Unbleached softwood kraft pulp | Bamboo kraft pulp[1] *(D. asper)* | Rice straw kraft pulp[2] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fiber length (mm) | 1.45 (0.55) | 1.33 (0.38) | 0.83 (0.17) | 1.94 (0.75) | 2.48 | 0.80 $\pm$ 0.41 |
| Fiber width (μm) | 24.01 (4.90) | 24.74 (5.86) | 21.76 (3.70) | 40.70 (10.10) | 27.30 | 10.2 $\pm$ 5.3 |
| Lumen width (μm) | 9.20 (2.89) | 11.31 (4.37) | 7.11 (1.87) | 23.25 (9.15) | 2.30 | 8.7 $\pm$ 0.4 |
| Cell wall thickness (μm) | 4.71 (1.13) | 3.88 (1.04) | 4.12 (1.00) | 8.73 (2.22) | 11.64 | 1.5 $\pm$ 0.1 |
| Slenderness ratio | 59.79 (17.57) | 56.30 (20.23) | 38.75 (7.69) | 57.75 (23.09) | - | - |
| Runkel ratio | 1.08 (0.26) | 0.76 (0.28) | 1.24 (0.43) | 0.86 (0.41) | 0.97 | 0.34 $\pm$ 0.01 |
| Flexibility coefficient | 48.71 (5.56) | 58.27 (8.45) | 46.09 (8.23) | 56.10 (10.68) | 9.06 | 85.29 $\pm$ 4.0 |

**Remarks:** [1]Bubpha *et al.* (2017); [2]Chollakup *et al.* (2021)

## ผลผลิตเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์

ผลผลิตเยื่อจากต้นอ้อยักษ์ที่ทำการต้มเยื่อด้วยวิธีคราฟท์ โดยใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 20, 22 และ 25 ซัลฟิดิตี้ร้อยละ 30 พบว่ามีผลผลิตเยื่อร้อยละ 51.54, 50.49 และ 49.11 ตามลำดับ มีตัวเลขคัปปาเท่ากับ 25.2, 18.65 และ 14.39 ตามลำดับ และมีส่วนตกค้างร้อยละ 1.30, 0.96 และ 0.16 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อใช้แอคทีฟอัลคาไลน์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลผลิตเยื่อและตัวเลขคัปปาลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการ Delignification คือ กระบวนการดึงลิกนินออกจากเยื่อ เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มากขึ้น ทำให้เกิดการสลายลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสในเยื่อมากขึ้น จึงทำให้ผลผลิตเยื่อลดลง ดังแสดงใน Table 3

เมื่อพิจารณาสภาวะการผลิตเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ จากการศึกษาของ Shatalov and Pereira (2002) โดยใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 20 (as $Na_2O$) ซัลฟิดิตี้ร้อยละ 30 (as $Na_2O$) และอัตราส่วน L:W เท่ากับ 8:1 พบว่าได้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 44.5 ตัวเลขคัปปาเท่ากับ 25 และส่วนตกค้างร้อยละ 0.2 จากการรายงานของ Abrantes *et al.* (2003) ที่ทำการต้มเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ โดยใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 25 (as NaOH) ซัลฟิดิตี้ร้อยละ 30 (as NaOH) และอัตราส่วน L:W เท่ากับ 6:1 พบว่าได้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 35.9 ตัวเลขคัปปาเท่ากับ 10 ซึ่งผลผลิตเยื่อจากการศึกษาครั้งนี้จะมีค่ามากกว่าการศึกษาทั้งสองครั้งในข้างต้น และสภาวะการต้มเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์โดยใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 20 (as NaOH) ซัลฟิดิตี้ร้อยละ 30 (as NaOH) และอัตราส่วน L:W เท่ากับ 4:1 จะให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุดและตัวเลขคัปปา (25) อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการนำเยื่อไปใช้ในกระดาษกลุ่มไม่ฟอกเยื่อ เช่น กระดาษคราฟท์ เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับตัวเลขคัปปาเท่ากับ 25 ของเยื่อไผ่ตง เยื่อฟางข้าว เยื่อไม้ใบแคบ เยื่อยูคาลิปตัสและเยื่อชานอ้อย พบว่ามีผลผลิตเยื่อร้อยละ 54.2, 33.85, 44.0, 44.3 และ 49.55 ตามลำดับ (Vu *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2008; Rautiainen and Alén, 2009; Rana *et al.*, 2014; Chibudike *et al.*, 2021)

**Table 3** Pulping conditions and pulp obtained for *Arundo donax* L.

| Result | Active alkali (%) | | |
|---|---|---|---|
| | 20 | 22 | 25 |
| Pulp yield (%) | 51.54 | 50.49 | 49.11 |
| Reject (%) | 1.30 | 0.96 | 0.16 |
| Kappa number | 25.20 | 18.65 | 14.39 |

**สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ**

ใน Table 4 แสดงสมบัติของแผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ เยื่อคราฟท์ชานอ้อย เยื่อคราฟท์ยูคาลิปตัสและเยื่อคราฟท์ไม้ใบแคบ ในขณะที่ค่าความเป็นอิสระของเยื่อเท่ากับ 350±20 มิลลิลิตร

1. ความแข็งแรงต่อแรงดึง

แผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ ชานอ้อย ยูคาลิปตัสและไม้ใบแคบ มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 59.12, 39.18, 41.77 และ 69.75 นิวตันเมตรต่อกรัม ตามลำดับ เนื่องจากการตีเยื่อเป็นกระบวนการของการเกิดไฟบริลของผนังเซลล์เส้นใยทั้งภายในและภายนอก (internal and external fibrillation) ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยและทำให้เส้นใยเกิดความยืดหยุ่น (Fiserova *et al*., 2013) จาก Figure 2(a) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงของเยื่อแต่ละชนิด พบว่าแผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์จะมีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดึงน้อยกว่าไม้ใบแคบ แต่มีค่ามากกว่าชานอ้อยและยูคาลิปตัส เนื่องจากความยาวของเส้นใยอ้อยักษ์น้อยกว่าเส้นใยไม้ใบแคบ ทำให้เส้นใยอ้อยักษ์มีพื้นที่การเกิดพันธะบนเส้นใยแต่ละเส้นน้อยกว่าเส้นใยไม้ใบแคบและเกิดพันธะระหว่างเส้นใยในแผ่นกระดาษน้อยกว่า อย่างไรก็ตามความยาวของเส้นใยอ้อยักษ์ยังมีความยาวมากกว่าเส้นใยชานอ้อยและยูคาลิปตัส ซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าเยื่อทั้งสองชนิด

2. ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด

แผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ ชานอ้อย ยูคาลิปตัสและไม้ใบแคบ มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดเท่ากับ 7.24, 5.28, 4.83 และ 10.50 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ แม้ว่าการตีเยื่อจะเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเพราะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใย แต่หากมีการตีเยื่อมากเกินไปอาจจะทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักและความยาวของเส้นใยสั้นลง จนส่งผลให้ค่าความแข็งแรงลดลงได้ ซึ่งความแข็งแรงต่อการฉีกขาดมีผลมาจากความแข็งแรงและความยาวของเส้นใย (Chen *et al.*, 2016) ซึ่งจาก Figure 2(b) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดของเยื่อแต่ละชนิด พบว่าแผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดน้อยกว่าไม้ใบแคบ แต่มีค่ามากกว่าชานอ้อยและยูคาลิปตัส เนื่องจากเส้นใยของไม้ใบแคบมีความยาวมากกว่า ทำให้สามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ดีกว่าเยื่อเส้นใยสั้น และเมื่อผ่านการตีเยื่อจะทำให้ความยาวเส้นใยสั้นลงและความแข็งแรงลดลงเช่นกัน ดังนั้นเยื่อที่มีความยาวเส้นใยมากจะมีโอกาสที่จะมีตำแหน่งในการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยมากกว่าเส้นใยสั้น (Bubpha *et al.*, 2017)

**Table 4** Physical properties of unbleached kraft handsheet at 350±20 ml (CSF) (standard deviations are indicated in parentheses).

| Unbleached kraft pulp | Tensile index ($Nm\ g^{-1}$) | Tear index ($mN\ m^2\ g^{-1}$) | Burst index ($kPa\ m^2\ g^{-1}$) | Folding endurance (double fold) |
|---|---|---|---|---|
| Giant reed *(Arundo donax L.)* | 59.12 (2.03) | 7.24 (0.27) | 3.45 (0.20) | 141.0 (45.89) |
| Bagasse | 39.18 (1.49) | 5.28 (0.08) | 1.64 (0.26) | 19.2 (2.14) |
| *Eucalyptus* | 41.77 (3.89) | 4.83 (0.21) | 2.23 (0.17) | 10.4 (1.36) |
| Softwood | 69.75 (3.70) | 10.50 (0.27) | 5.25 (0.44) | 772.0 (175.15) |

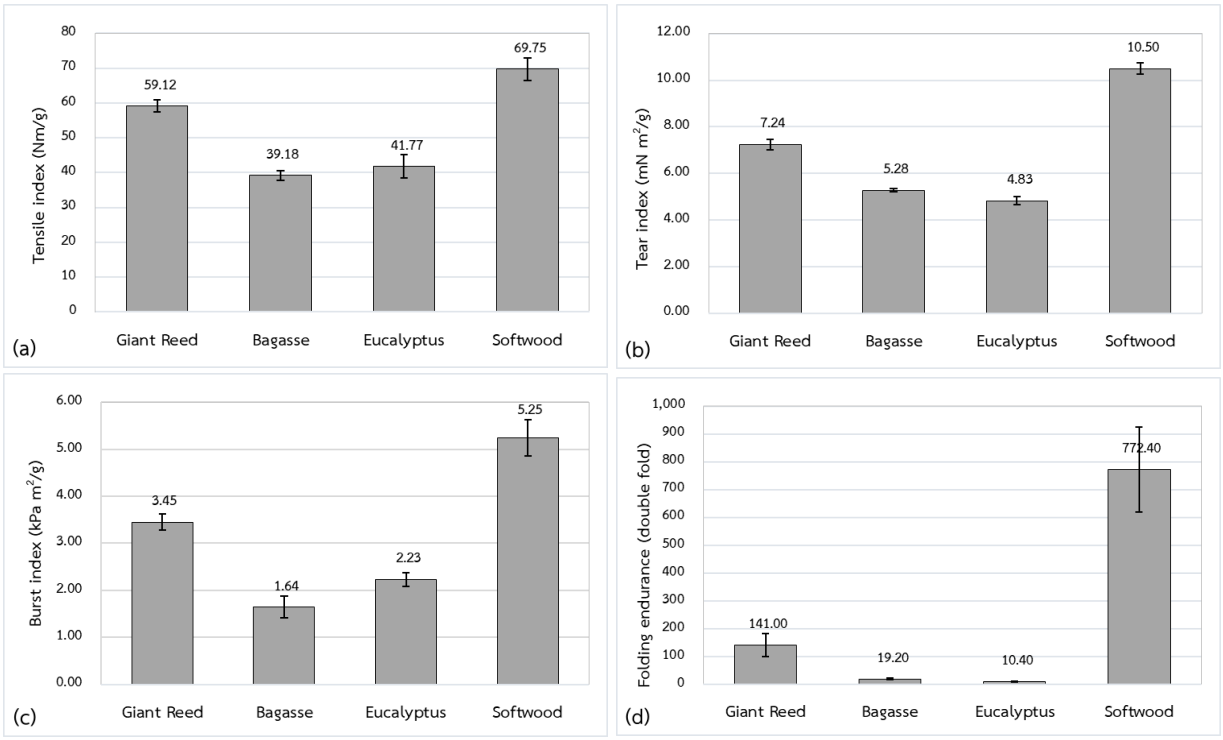


**Figure 2** Physical properties of unbleached kraft handsheets (a) Tensile strength (b) Tear strength (c) Burst strength and (d) Folding endurance.

3. ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ

แผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ ชานอ้อย ยูคาลิปตัสและไม้ใบแคบ มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุเท่ากับ 3.45, 1.64, 2.23 และ 5.25 กิโลปาสคาลตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ จากการตีเยื่อจะส่งผลให้เกิดการแตกแขนงของกลุ่มไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของเส้นใยมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เส้นใยมีการสานตัวกันได้ดี (Chen *et al*., 2016) ซึ่งจาก Figure 2 (c) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุของเยื่อแต่ละชนิด พบว่าแผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุน้อยกว่าไม้ใบแคบ แต่มีค่ามากกว่าชานอ้อยและยูคาลิปตัส ซึ่งค่าที่ได้จะมีความสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด

4. ความแข็งแรงต่อการหักพับ

แผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ ชานอ้อย ยูคาลิปตัสและไม้ใบแคบ มีค่าความแข็งแรงต่อการหักพับเท่ากับ 141, 19, 10 และ 772 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งจาก Figure 2 (d) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความแข็งแรงต่อการหักพับของเยื่อแต่ละชนิด พบว่าแผ่นชิ้นทดสอบเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์มีค่าความแข็งแรงต่อการหักพับน้อยกว่าไม้ใบแคบ แต่มีค่ามากกว่าชานอ้อยและยูคาลิปตัส

## สรุป

การศึกษาคุณสมบัติและศักยภาพของอ้อยักษ์ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตกระดาษ สรุปผลดังนี้

1. อ้อยักษ์มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับพืชที่ให้เส้นใยเพื่อการผลิตเยื่อกระดาษอื่น ๆ เช่น ปริมาณโฮโลเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสที่สูง ในขณะที่ปริมาณลิกนินค่อนข้างต่ำกว่าพืชที่ให้เนื้อไม้ทั่วไป

2. อ้อยักษ์มีความยาวเส้นใยที่จัดอยู่ในประเภทเส้นใยสั้น (short fiber) แต่มีความยาวเส้นใยที่สูงกว่าพืชเส้นใยสั้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษในประเทศไทยอื่น ๆ เช่น ยูคาลิปตัสและชานอ้อย ลักษณะของเส้นใย เช่น ความกว้าง ความหนาของผนังเซลล์และความกว้างลูเมน มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษ

3. สภาวะการต้มเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์ที่เหมาะสม คือ การใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 20 (as NaOH) ซัลฟิดิตี้ร้อยละ 30 (as NaOH) ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อสูง (ร้อยละ 51.54) ส่วนตกค้างต่ำ (ร้อยละ 1.30) และตัวเลขคัปปา (เท่ากับ 25) ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตกระดาษคราฟท์

4. กระดาษที่ได้จากเยื่อคราฟท์อ้อยักษ์มีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อคราฟท์ชานอ้อยและยูคาลิปตัส แต่ก็ยังมี

ค่าต่ำกว่าเยื่อคราฟท์ไม้ใบแคบ ดังนั้นในการนำเยื่ออ้อยักษ์มาใช้ในกลุ่มเส้นใยสั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกที่ดีในการผลิตกระดาษได้

## ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาต้นอ้อยักษ์จากแหล่งอื่น ๆ ในประเทศไทยเพิ่มเติม เพื่อให้ทราบถึงแหล่งวัตถุดิบที่มีคุณภาพของแต่ละพื้นที่

## REFERENCES


Abrantes, S., Amaral, E., Duarte, A.P., Pereira, H., Shatalov, A. 2003. Study of papermaking potencial of giant reed and cynara thistle. a comparison with eucalypt pulp. In: **WPP. Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper.** Slovak university of technology, Bratislava, Slovakia, pp. 96–101.

Bubpha, A., Pisuttipiched, S., Somboon, P. 2017. Strength improvement of kraft linerboard by sweet bamboo pulp substitution for long fibers from softwood pulp. **Thai Journal of Forestry**, 36(2): 98-106.

Chen, T., Xie, Y., Wei, Q., Wang, X., Hagman, O., Karlsson, O., Liu, J. 2016. Effect of refining on physical properties and paper strength of *Pinus massoniana* and China fir cellulose fibers. **Bioresources,** 11(3): 7839-7848.

Chibudike, H., Ndukwe, N., Chibudike, E., Obi, N., Adeyoju, O. 2021. Comparative assessment of the pulping potentials of soda and mea processes for the development of paper-pulp from sugarcane bagasse. **World Journal of Advanced Research and Reviews,** 12(01): 230-242.

Chollakup, R., Kongtud, W., Sukatta, U., Premchookiat, M., Piriyasatits, K., Nimitkeatkai, H., Jarerat, A. 2021. Eco-friendly rice straw paper coated with longan (*Dimocarpus Longan*) peel extract as bio-based and antibacterial packaging. **Polymers,** 13(18): 3096. doi:10.3390/polym13183096

Fiserova, M., Illa, A., Boháček, Š., Kasajova, M. 2013. Handsheet properties of recovered and virgin fibre blends. **Wood Research,** 58(1): 57-66.

Khantayanuwong, S., Yimlamai, P., Chitbanyong, K., Wanitpinyo, K., Pisutpiched, S., Sungkaew, S., Sukyai, P., Puangsin, B. 2023. Fiber morphology, chemical composition, and properties of kraft pulping handsheet made from four Thailand bamboo species. **Journal of Natural Fibers,** 20(1): 2150924. doi:10.1080/15440478.2022.2150924

Kolesik, P., Mills, A., Sedgley, M. 1998. Anatomical characteristics affecting the musical performance of clarinet reeds made from *Arundo d*onax L. (Gramineae). **Annals of Botany,** 81(1): 151-155.

Pisuttipiched, S. 2004. Effect of tree age on wood properties of *Eucalyptus camaldulensis* in Thailand. **Thai Journal of Forestry,** 23(2): 152-160.

Plant Varieties Protection Office. 2019. **Study for Development the Test Guidelines and Methodology for DUS Examination in Giant Reed *(Arundo donax L.)*.** Department of Agriculture, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Rana, V., Joshi, G., Singh, S.P., Gupta, P.K. 2014. Eucalypts in pulp and paper industry. In: **Eucalypts in India.** ENVIS Centre on Forestry. Dehradun, India.

Rautiainen, R., Alén, R. 2009. Influence of cooking conditions on the properties of first-thinning scots pine (*Pinus sylvestris*) kraft pulp. **Cellulose Chemistry and Technology,** 43(7): 281-286.

Rodríguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., Jiménez, L. 2008. Rice straw pulp obtained by using various methods. **Bioresource Technology,** 99(8): 2881-2886. doi:10.1016/j.biortech.2007.06.003

Samariha, A., Khakifirooz, A. 2011. Application of NSSC pulping to sugarcane bagasse. **BioResources,** 6(3): 3313-3323.

Shatalov, A., Quilhó, T., Pereira, H. 2001. *Arundo donax* L. reed: New perspectives for pulping and bleaching - 1. Raw material characterization. **Tappi Journal,** 84(1): 1-12.

Shatalov, A., Pereira, H. 2002. Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax L.* reed. **Industrial Crops and Products,** 15(1): 77-83.

Theerasuntornvat, T. 2016. **Bassoon Reed Making by Bassoonists in Thailand.** M.S. Thesis, Silpakorn University. Bangkok, Thailand. (in thai)

Tutus, A., Ates, S., Deniz, I. 2010. Pulp and paper production from spruce wood with kraft and modified kraft methods. **African Journal of Biotechnology,** 9(11): 1648-1654.

Vu, T.H.M., Pakkanen, H., Alén, R. 2004. Delignification of bamboo (*Bambusa procera* acher): Part 1. Kraft pulping and the subsequent oxygen delignification to pulp with a low kappa number. **Industrial Crops and Products,** 19(1): 49-57. doi:10.1016/j.indcrop.2003.07.001