

## นิพนธ์ต้นฉบับ

สมบัติของเยื่อและกระดาษคราฟท์จากไผ่เลี้ยงและไผ่ชางนวล  
เพื่อการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยProperties of Pulp Derived from Liang and White Bamboo  
Used in the Kraft Papermaking Industry in Thailandวิชชุดา เอี่ยมชื่น<sup>1,2</sup>สาวิตรี พิสุทธิพิเชษฐ<sup>1</sup>บัวผัน พวงศิลป์<sup>1,\*</sup>Witchuda Eamchuen<sup>1,2</sup>Sawitree Pisuttiplied<sup>1</sup>Buapan Puangsin<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2</sup>สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 10 (ราชบุรี) บ้านโป่ง ราชบุรี 70110

Forest Resource Management Office No.10 (Ratchaburi), Banpong, Ratchaburi 70110, Thailand

\*Corresponding Author, E-mail: fforbpp@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 8 มิถุนายน 2563

รับแก้ไข 16 กรกฎาคม 2563

รับลงพิมพ์ 20 กรกฎาคม 2563

## ABSTRACT

This study aims to research the potential use of bamboo fibers in the Kraft paper industry in Thailand. *×Thyrsocalamus liang* and *Dendrocalamus membranaceus* were chosen as the raw material to produce unbleached kraft pulp through the kraft process (active alkali 24% and sulfidity 35%). Pulp yield, rejects, and the physical properties were investigated to compare the potential of the fibers in the papermaking industry. The results indicated that pulp contents of *×Thyrsocalamus liang* and *Dendrocalamus membranaceus* were high (47 and 49%) in yield and were low in rejects (0.14 and 0.33%), at a kappa number of 18 and 24. It was found that the physical properties of *×Thyrsocalamus liang* and *Dendrocalamus membranaceus* after beating had an increased tensile index, bursting index and folding endurance with an increase in the beating time (0 to 45 min). However, the tearing index tended to increase for up to 15 min of beating and thereafter decreased with any increases in beating time. According to the results, the potential of *×Thyrsocalamus liang* is similar to unbleached softwood kraft pulp. Thus, *×Thyrsocalamus liang* can be used as a raw material to make kraft pulp and in the paper industry.

**Keywords:** *×Thyrsocalamus liang*, *Dendrocalamus membranaceus*, bamboo fiber, kraft pulp

## บทคัดย่อ

การศึกษาศักยภาพของเส้นใยไม้ในประเทศไทย สำหรับการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ครั้งนี้ ได้พิจารณาใช้ไม้เลียง (*Thyrsocalamus liang*) และไม้ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus*) เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตเยื่อคราฟท์ไม่ฟอก โดยใช้แอกทีฟอัลคาไล (active alkali) ร้อยละ 24 ซัลฟิดิตี (sulfidity) ร้อยละ 35 เพื่อ ศึกษาผลผลิตเยื่อ ส่วนตกค้าง สมบัติด้านความแข็งแรง และเปรียบเทียบสมบัติของเยื่อคราฟท์ไม่ฟอกของไม้ทั้ง 2 ชนิด เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ จากผลการศึกษาพบว่า ไม้ทั้ง 2 ชนิด ให้ผลผลิตเยื่อค่อนข้างสูง (ร้อยละ 47 และ 49) และส่วนตกค้างน้อย (ร้อยละ 0.14 และ 0.33) ในขณะที่ตัวเลขคัปปามีค่า 18 และ 24 และเมื่อนำเยื่อคราฟท์ไม่ฟอกของไม้ทั้ง 2 ชนิดไปทำการบดเยื่อในช่วงเวลา 0 ถึง 45 นาที เติริยม้วนขึ้นตัวอย่างและทดสอบสมบัติความแข็งแรง พบว่า ดัชนีการต้านทานแรงดึง ดัชนีการต้านทานแรงดันทะลุ และความแข็งแรงต่อการหักพับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาการบดเยื่อเพิ่มจาก 0 ถึง 45 นาที ในขณะที่ดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่เวลาบดเยื่อ 15 นาที และลดลงเมื่อระยะเวลาบดเพิ่มขึ้น เยื่อคราฟท์ไม่ฟอกจากไม้เลียงมีแนวโน้มสามารถพัฒนาค่าความแข็งแรงให้ใกล้เคียงเยื่อคราฟท์ไม่ฟอกจากไม้ใบแคบได้ ดังนั้น ไม้เลียงจึงเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษได้

**คำสำคัญ:** ไม้เลียง ไม้ชางนวล เส้นใยไม้ เยื่อคราฟท์

## คำนำ

อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตสินค้าและบริการต่างๆ ให้กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ในการใช้กระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ วัตถุประสงค์เพื่อเสริมความแข็งแรงในการเก็บรักษา ในขณะที่ทำการขนส่ง และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ กระดาษคราฟท์เป็นกระดาษที่มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากสมบัติที่มีความหนา เหนียว และแข็งแรง สามารถตอบสนองความต้องการให้แก่ผู้ผลิตได้ จึงมีการนำกระดาษคราฟท์มาผลิตเป็นภาชนะห่อ ถุง และกล่องบรรจุภัณฑ์ เพื่อใช้ในการห่อหุ้ม เก็บรักษาและขนส่งสินค้าของอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหาร เครื่องดื่ม เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตกระดาษคราฟท์คือ เยื่อใยสั้น เยื่อใยยาว และเศษกระดาษ แตกต่างกันไป ตามชนิดหรือคุณภาพของกระดาษคราฟท์ที่ผลิต ซึ่งเส้นใยสั้นนั้นประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตได้เอง โดยมีวัตถุดิบหลักคือ ไม้ยูคาลิปตัส ส่วนเส้นใยยาวจะ

ผลิตได้จากไม้ใบแคบ เช่น ไม้สน ซึ่งมีการกระจายพันธุ์บริเวณภูเขาสูงทางภาคเหนือ การนำมาใช้ประโยชน์จึงเป็นไปได้ยาก ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องนำเข้าเส้นใยยาวจากต่างประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2561-2562 ประเทศไทยมีการนำเข้าเยื่อใยยาวเป็นจำนวน 328,000 และ 275,000 ตัน ตามลำดับ (The Thai Pulp and Paper Industries Association, 2020)

ไม้ เป็นพืชในตระกูลหญ้า ส่วนต่างๆ ของไม้สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น หน่อใช้ทำอาหาร ลำใช้ในงานก่อสร้างและพลังงานทางเลือก เส้นใยใช้ผลิตเยื่อและกระดาษ เป็นต้น ทั่วโลกมีการค้นพบไม้มากกว่า 1,000 ชนิด ประเทศไทยพบไม้ที่ขึ้นตามธรรมชาติประมาณ 90 สกุล ขึ้นกระจายตามป่าเบญจพรรณ และป่าดิบชื้นทั่วทุกภูมิภาค (Sangkaeo *et al.*, 2011) จัดว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการเป็นแหล่งผลิตไม้ หากมีการบริหารจัดการทรัพยากรและส่งเสริมการใช้ประโยชน์อย่างเป็นระบบ จากรายงานการวิจัย พบว่า เส้นใยจากไม้จะมีทั้งชนิดที่ให้เส้นใยสั้นและเส้นใยยาว เช่น เส้นใยไม้ชางนวลมีความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ไม้ตงมีความ

ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร (Pisuttipiched, 2016) และจากงานวิจัยของ Bubpha *et al.* (2016) พบว่า เมื่อทำการทดแทนเยื่อไม้ใบแคบด้วยเยื่อไม้ต่ง จะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ โดยช่วยเสริมให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไม้มีศักยภาพสำหรับใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ

การศึกษานี้ใช้วัตถุดิบไม้ 2 ชนิด ได้แก่ ไม้เลื้อย (*Thyrsocalamus liang*) และไม้ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus*) เนื่องจากมีลักษณะเด่น คือ ลำที่ตรง เนื้อลำหนา เป็นไม้ที่มีการใช้ประโยชน์กันมาก แต่ยังไม่มีการปลูกอย่างจริงจัง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเยื่อโดยวิธีคราฟท์ของไม้เลื้อยและไม้ชางนวล และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเยื่อคราฟท์ที่นำออกจากไม้ทั้ง 2 ชนิด เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบทางเลือกในการทดแทนการนำเข้าเส้นใยยาวจากต่างประเทศ และนำไปสู่การจัดการที่เหมาะสมเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมวัตถุดิบ

ไม้เลื้อย (*Thyrsocalamus liang*) และไม้ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus*) อายุประมาณ 3 ปี จากสถานีเพาะชำกล้าไม้ อำเภอลำปาง จังหวัดนครราชสีมา นำมาตัดตัวอย่างชิ้นไม้สับให้ได้ขนาดความยาว 3 เซนติเมตร ความกว้าง 2 เซนติเมตร และความหนา 0.2 เซนติเมตร

### การต้มเยื่อคราฟท์ของไม้

นำตัวอย่างชิ้นไม้สับไปต้มเยื่อโดยวิธีคราฟท์ที่มีสภาวะการต้มเยื่อ คือ แอคทีฟอัลคาไลน์ (active alkali) ร้อยละ 24 และซัลฟิไดตี (sulfidity) ร้อยละ 35 อัตราส่วนของของเหลวต่อวัตถุดิบ (L:W) 5:1 ภายใต้อุณหภูมิสูงสุด 165 องศาเซลเซียส กำหนดเวลาถึงอุณหภูมิสูงสุด 80 นาที และเวลาที่อุณหภูมิสูงสุด 60 นาที หลังจากนั้นนำเยื่อมาล้างและคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดตามมาตรฐาน

TAPPI T275 sp-07 จากนั้นหำร้อยละของผลผลิตเยื่อที่คัดขนาดได้ (pulp yield) และส่วนตกร้าง (reject) โดยต้มเยื่อไม้แต่ละชนิด จำนวน 3 ซ้ำ ส่วนของผลผลิตเยื่อที่คัดขนาดได้ นำไปหาปริมาณตัวเลขคัปปา (Kappa number) ตามมาตรฐาน TAPPI T236 om-06

### การทดสอบสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรงของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ที่ไม้

นำเยื่อคราฟท์ที่ได้จากไม้แต่ละชนิดไปทำการบดด้วยเครื่องบดเยื่อ (Valley beater) ตามมาตรฐาน TAPPI T200 sp-01 โดยใช้เวลาในการบดเยื่อ 0, 15, 30 และ 45 นาที และทดสอบค่าความเป็นอิสระของน้ำเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI T227 om-99 จากนั้นนำไปขึ้นรูปแผ่นขึ้นตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ISO 5269-1 และนำไปฝังในห้องควบคุมอุณหภูมิที่  $23 \pm 1$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $50 \pm 2$  เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นขึ้นตัวอย่างไปทดสอบสมบัติมาตรฐาน (physical properties) ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T494 om-06 ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด (tear strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T414 om-04 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T403 om-10 และความแข็งแรงต่อการหักพับ (folding endurance) ตามมาตรฐาน TAPPI T511 om-08 โดยทำการทดสอบตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

## ผลและวิจารณ์

### ผลผลิตเยื่อคราฟท์ที่ไม้เลื้อยและไม้ชางนวล

ผลผลิตเยื่อของไม้เลื้อยและไม้ชางนวลที่ทำการต้มเยื่อด้วยวิธีคราฟท์ โดยใช้แอคทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 24 ซัลฟิไดตีร้อยละ 35 พบว่า ไม้เลื้อยและไม้ชางนวล มีผลผลิตเยื่อร้อยละ 47.00 และ 48.69 ตามลำดับ ตัวเลขคัปปามีค่า 24 และ 18 ตามลำดับ และส่วนตกร้างมีค่าร้อยละ 0.14 และ 0.33 ตามลำดับ ซึ่งไม้ชางนวลจะให้ผลผลิตเยื่อสูงใกล้เคียงไม้เลื้อย และตัวเลขคัปปามีค่าต่ำกว่า ดังแสดงใน Table 1

**Table 1** Pulp yield, rejects, and Kappa number of bamboo used to produce kraft pulp.

Bamboo species	Pulp yield (%)	Reject (%)	Kappa number
<i>×Thyrsocalamus liang</i>	47.00±0.53 <sup>ns</sup>	0.14±0.03 <sup>ns</sup>	24±0.21 <sup>a</sup>
<i>Dendrocalamus membranaceus</i>	48.69±1.94 <sup>ns</sup>	0.33±0.18 <sup>ns</sup>	18±1.32 <sup>b</sup>

**Remarks:** The error is calculated from standard deviation.

a-b The average value is different at a confidence level of 99 percent as indicated by the Duncan's multiple range test method at a confidence level of 99 percent.

เมื่อพิจารณาผลผลิตเยื่อกระดาษที่ไผ่ทั้ง 2 ชนิด เปรียบเทียบกับผลผลิตเยื่อกระดาษของแหล่งเส้นใยไผ่ชนิดอื่นๆ พบว่า จากรายงานของ Rahmati *et al.* (2010) ที่ทำการต้มเยื่อกระดาษไผ่บงดำ (*Bambusa tulda*) โดยใช้สภาวะในการต้มเยื่อเดียวกัน ได้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 46.40 ซึ่งน้อยกว่าไผ่เลี้ยงและไผ่ชางนวล แต่ที่สภาวะในการใช้แอกทีฟอัลคาไลน์ที่ลดลง จากรายงานของ Nitorisavut and Malinen (2007) ที่ทำการต้มเยื่อกระดาษไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*) ไผ่ชางนวล (*Dendrocalamus membranaceus*) และไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis*) โดยใช้แอกทีฟอัลคาไลน์

ร้อยละ 20 ซัลฟิเต้ร้อยละ 35 พบว่า มีผลผลิตเยื่อกระดาษที่ไผ่ตง ไผ่ชางนวล และไผ่รวกเท่ากับร้อยละ 44.20, 45.20 และ 40.60 ตามลำดับ จะเห็นว่า ผลผลิตเยื่อจากไผ่ชางนวลที่ศึกษามีค่าสูงกว่าเล็กน้อย และจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไผ่ทั้ง 2 ชนิดให้ผลผลิตเยื่อที่ค่อนข้างสูง ถึงแม้จะใช้สภาวะการต้มเยื่อกระดาษที่สูงก็ตาม

### สมบัติของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อกระดาษที่ไผ่

ใน Table 2 แสดงสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อกระดาษไผ่เลี้ยงและไผ่ชางนวล ที่ใช้ระยะเวลาในการบดเยื่อที่ต่างกันคือ 0, 15, 30 และ 45 นาที

**Table 2** Physical properties of a unbleached bamboo kraft handsheet.

Bamboo species	Beating time (min)	Freeness CSF (ml)	Tensile index (Nm g <sup>-1</sup> )	Tear Index (mNm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Burst Index (kPa m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Folding Endurance (r c <sup>-1</sup> )
<i>×Thyrsocalamus liang</i>	0	692±1.53 <sup>a</sup>	8.8±0.76 <sup>g</sup>	6.7±0.55 <sup>e</sup>	0.3±0.01 <sup>e</sup>	1±0 <sup>e</sup>
	15	499±14.19 <sup>c</sup>	46.0±8.46 <sup>d</sup>	21.5±3.62 <sup>a</sup>	4.0±0.58 <sup>c</sup>	207±47 <sup>d</sup>
	30	291±5.86 <sup>e</sup>	67.7±1.89 <sup>b</sup>	18.4±1.60 <sup>b</sup>	6.5±0.40 <sup>a</sup>	568±73 <sup>b</sup>
	45	132±28.92 <sup>g</sup>	80.8±3.50 <sup>a</sup>	16.6±1.13 <sup>bc</sup>	6.7±0.68 <sup>a</sup>	747±48 <sup>a</sup>
<i>Dendrocalamus membranaceus</i>	0	700±16.17 <sup>a</sup>	18.5±1.90 <sup>f</sup>	9.6±0.80 <sup>d</sup>	0.6±0.18 <sup>e</sup>	3±2 <sup>e</sup>
	15	586±5.77 <sup>b</sup>	36.5±8.78 <sup>e</sup>	17.3±1.95 <sup>b</sup>	2.9±0.38 <sup>d</sup>	86±2 <sup>de</sup>
	30	347±29.50 <sup>d</sup>	52.8±4.21 <sup>d</sup>	17.3±2.77 <sup>b</sup>	5.1±0.76 <sup>b</sup>	380±135 <sup>c</sup>
	45	182±3.46 <sup>f</sup>	59.7±6.50 <sup>c</sup>	14.1±1.93 <sup>c</sup>	4.7±0.57 <sup>b</sup>	617±233 <sup>ab</sup>

**Remarks:** The error is calculated from standard deviation.

a-g The average value is different at a confidence level of 99 percent confidence level as indicated by the Duncan's multiple range test method at a confidence level of 99 percent.

1. อิทธิพลของการบดเยื่อต่อค่าความเป็นอิสระของเยื่อ

เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อที่ต่างกัน คือ 0, 15, 30 และ 45 นาที เยื่อคราฟท์ไม้เล็ยงและไม้ซางนวล มีค่าความเป็นอิสระของเยื่ออยู่ระหว่าง 132 ถึง 692 และ 182 ถึง 700 มิลลิลิตร (CSF) ตามลำดับ เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นอิสระของเยื่อคราฟท์ไม้ทั้ง 2 ชนิดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเส้นใยจะถูกกระทำโดยแรงอัดและแรงเฉือน

ของเครื่องบดเยื่อ และเนื่องจากลักษณะของเส้นใยไม่โดยทั่วไปมีลักษณะผนังเส้นใยที่หนา อาจทำให้การบดส่งผลทำให้เกิดเศษเส้นใยขนาดเล็ก (fines) มากกว่าการเกิดแขนงของไฟบริลบริเวณผิวหน้าเส้นใย (Nitorisavut and Malinen, 2007) เป็นเหตุให้ขัดขวางการระบายน้ำ จึงทำให้ค่าความเป็นอิสระของเยื่อลดลง โดยเยื่อคราฟท์ไม้เล็ยงจะตอบสนองต่อการบดเยื่อได้เร็วกว่าเยื่อคราฟท์ไม้ซางนวล ดังแสดงใน Figure 1

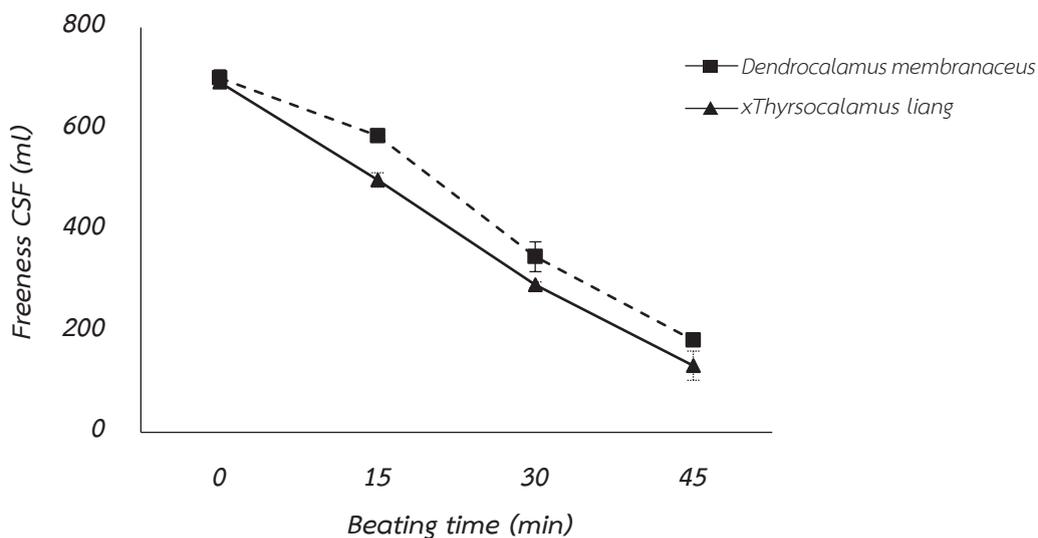


Figure 1 Relationship between freeness and beating time of bamboo kraft pulp.

2. อิทธิพลของการบดเยื่อต่อสมบัติความแข็งแรงของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้

### 2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้เล็ยงและไม้ซางนวล มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดึงอยู่ในช่วงระหว่าง 8.8 ถึง 80.8 และ 18.5 ถึง 59.7 นิวตันเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการบดจาก 0 ถึง 45 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการบดเยื่อทำให้เส้นใยสานตัวและยึดเหนี่ยวกันได้ดีจากการแตกแขนงของไฟบริลบริเวณด้านนอกของผนังเซลล์เส้นใย ซึ่งจาก Figure 2 เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อเพิ่มขึ้น แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้เล็ยงจะมี

ค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดึงมากกว่าไม้ซางนวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่า ค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นขึ้นตัวอย่างจากเยื่อคราฟท์ไม้ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มต้องใช้ระยะเวลาในการบดมาก เพื่อพัฒนาให้ได้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อคราฟท์ของไม้ไผ่แคบ (Nitorisavut and Malinen, 2007; Gülsoy and Eroğlu, 2010) ซึ่งค่าความแข็งแรงดังกล่าวมีอิทธิพลมาจากความสามารถของการเกิดพันธะของเส้นใย โดยเฉพาะการเกิดไฟบริลของผนังเซลล์เส้นใยภายใน (internal fibrillation) นอกจากนี้ ยังต้องการการเกิดไฟบริลของผนังเซลล์เส้นใยด้านนอก (external fibrillation) ด้วย ดังนั้น จากการ

พบว่าไม่มีผนังเซลล์หนา จึงทำให้ยากต่อการเกิดไฟบริลของผนังเซลล์เส้นใยภายในด้วยการบดเยื่อในระยะเวลาอันสั้น เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่สูง ทั้งนี้ จะ

เห็นได้ว่าชนิดของไม้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่แตกต่างกัน (Nitorisavut and Malinen, 2007; Kamthai and Puthson, 2005)

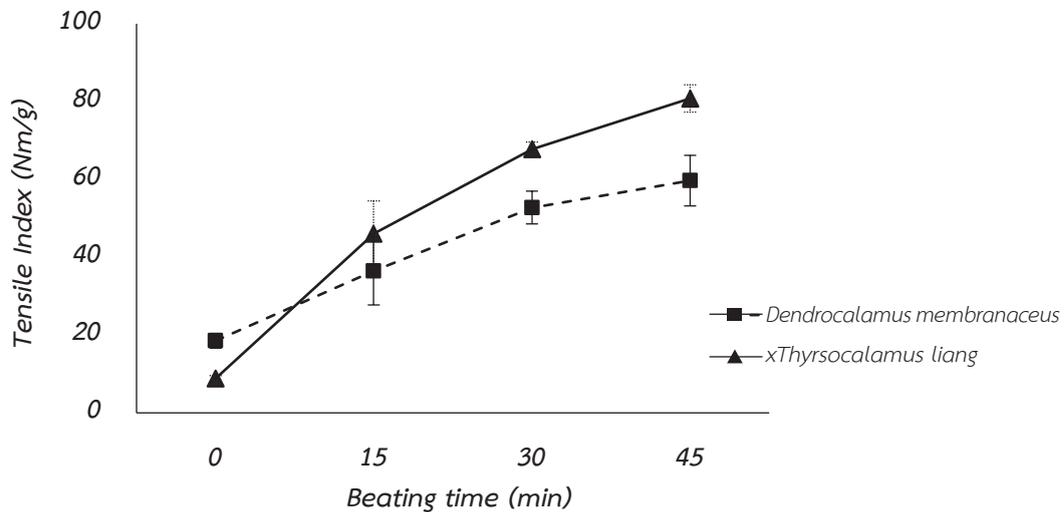


Figure 2 The relationship between tensile index and beating time of bamboo kraft pulp.

## 2.2 ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด

แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้เล็งและไม้ชางนวน มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดอยู่ในช่วงระหว่าง 6.7 ถึง 21.5 และ 9.6 ถึง 17.4 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า เวลาในการบดเยื่อมีผลกับค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใย ดังนั้น เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อมากเกินไป จะทำให้เส้นใยมีขนาดสั้นลง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดลดลง แม้ว่าเส้นใยจะมีการสร้างพันธะระหว่างกันได้มากก็ตาม ซึ่งจาก Figure 3 เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อ 15 นาที แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้เล็ง จะมีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดมากกว่าไม้ชางนวนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อจาก 15 ถึง 45 นาที ค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้ทั้ง 2 ชนิด จะมีค่าลดลง และค่าความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ

ทางสถิติ จะเห็นได้ว่า ค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไม้ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มที่ต้องใช้ระยะเวลาในการบดที่เหมาะสม เพื่อพัฒนาให้ได้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดที่สูงขึ้นตามที่ต้องการ เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อคราฟท์ของไม้ไผ่แคบ (Nitorisavut and Malinen, 2007; Gulsoy and Eroglu, 2010) ซึ่งค่าความแข็งแรงดังกล่าวมีอิทธิพลมาจากความยาวและความแข็งแรงของเส้นใย ซึ่งเกิดจากลักษณะสัณฐานวิทยาและการเรียงตัวของไฟบริลที่ประกอบกันเป็นผนังเซลล์เส้นใย เส้นใยที่ยาวมีโอกาสมันจะมีตำแหน่งการเกิดพันธะระหว่างเส้นใย (fiber bonding) ในโครงสร้างของกระดาษมากกว่าเส้นใยที่สั้น และหากมีการบดเยื่อมากเกินไป ผนังเซลล์เส้นใยจะอ่อนแอ ทำให้ความแข็งแรงดังกล่าวลดลง และจากการศึกษาไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้ กับงานวิจัยไม้อื่นๆ (Nitorisavut and Malinen, 2007; Kamthai and Puthson, 2005) จะเห็นได้ว่า ชนิดของไม้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดที่แตกต่างกัน

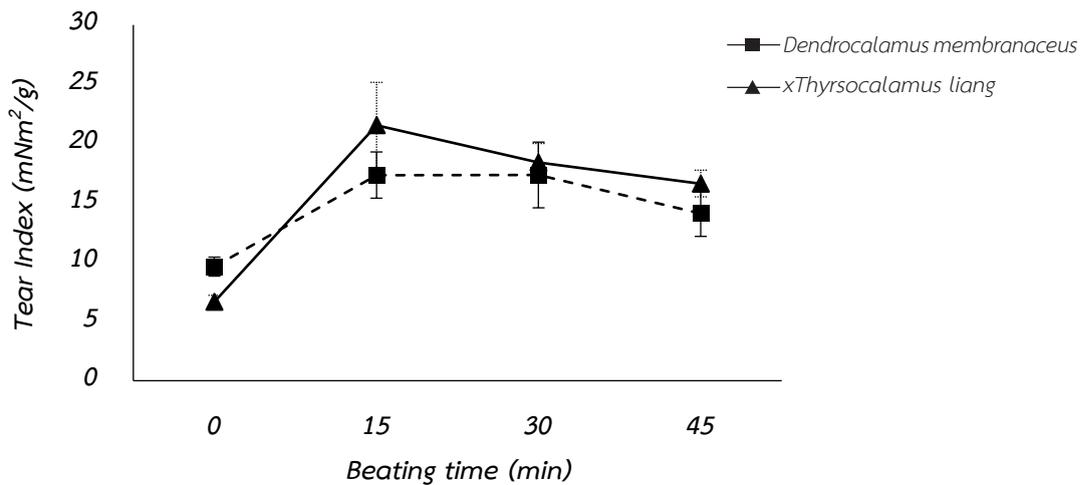


Figure 3 The relationship between tear index and beating time of bamboo kraft pulp.

### 2.3 ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ

แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไผ่เลี้ยงและไผ่ชางนวล มีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 6.7 และ 0.6 ถึง 5.1 กิโลปาสคาลตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงเวลาการบดจาก 0 ถึง 45 นาที เนื่องจากการบดเยื่อจะทำให้ผนังเซลล์เส้นใยเกิดการแตกแขนงของไฟบริลบริเวณด้านนอกของผนังเซลล์เส้นใย เส้นใยเกิดการยุบตัว ทำให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้มากขึ้น เมื่อมีแรงยึดเกาะสูง กระดาษจึงมีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมากขึ้น ซึ่งจาก Figure 4 เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อจาก 0 ถึง 45 นาที แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์

ไผ่เลี้ยงจะมีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุมากกว่าไผ่ชางนวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่า ค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุของแผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไผ่ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มต้องใช้ระยะเวลาในการบดมากเพื่อพัฒนาให้ได้ค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อคราฟท์ของไม้ใบแคบ (Gulsoy and Eroglu, 2010) และเมื่อเปรียบเทียบกับไผ่ทั้ง 2 ชนิดนี้กับงานวิจัยไผ่ตงของ Kamthai and Puthson (2005) พบว่า ไผ่ทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้ทดลองมีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดันทะลุมากกว่าไผ่ตง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชนิดของไผ่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุที่แตกต่างกัน

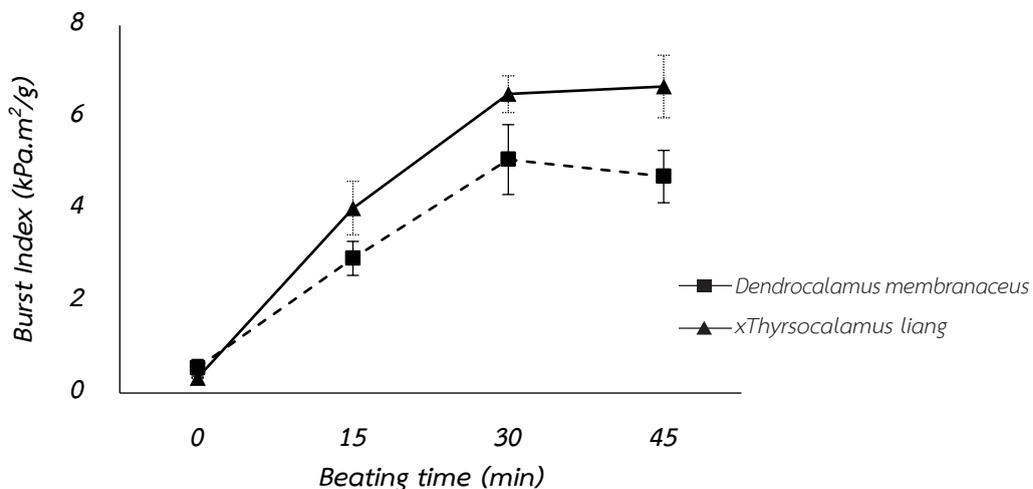


Figure 4 Relationship between the burst index and beating time of bamboo kraft pulp.

#### 2.4. ความแข็งแรงต่อการหักพับ

แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไผ่เลี้ยง และไผ่ชางนวล มีค่าความแข็งแรงต่อการหักพับอยู่ระหว่าง 1 ถึง 747 และ 3 ถึง 617 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการบดจาก 0 ถึง 45 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการบดเยื่อจะทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนงของไฟบริลบริเวณด้านนอกของผนังเซลล์เส้นใย เกิดพันธะระหว่างเส้นใยมากขึ้น โดยพันธะภายในระหว่างเส้นใยนี้มีความสำคัญในด้านความ

แข็งแรงต่อการหักพับสำหรับกระดาษปะผิวกล่อง ในการพับขึ้นรูปกล่องโดยไม่ปริแตก ซึ่งจาก Figure 5 เมื่อใช้เวลาในการบดเยื่อที่ 30 นาที แผ่นขึ้นตัวอย่างเยื่อคราฟท์ไผ่เลี้ยง จะมีความแข็งแรงต่อการหักพับมากกว่าไผ่ชางนวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งแรงต่อการหักพับของแผ่นขึ้นตัวอย่างจากเยื่อคราฟท์ไผ่ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มต้องใช้ระยะเวลาในการบดที่มากขึ้นเพื่อพัฒนาให้ได้ค่าความแข็งแรงต่อการหักพับที่สูงขึ้น (Kamthai and Puthson, 2005)

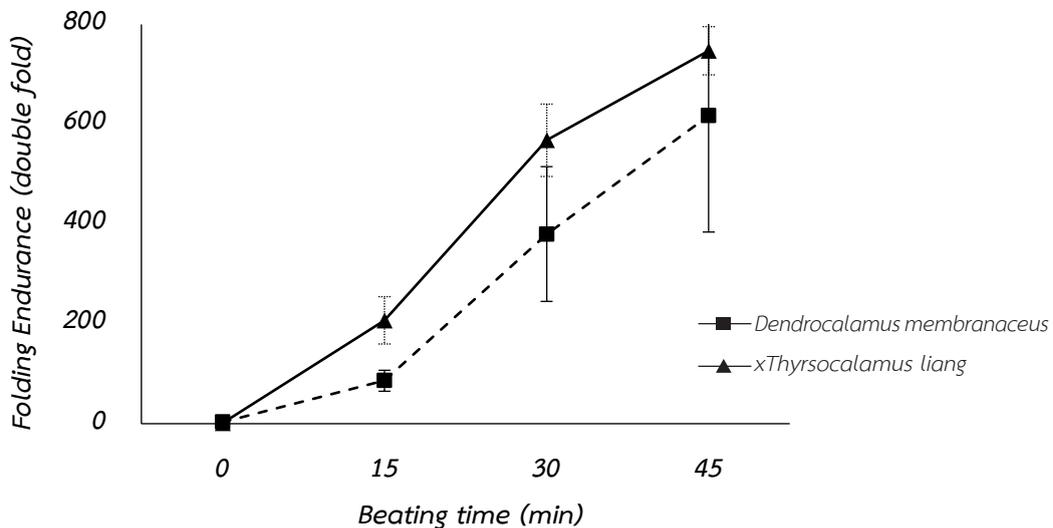


Figure 5 Relationship between the folding endurance and beating time of bamboo kraft pulp.

### สรุป

จากการทดลองต้มเยื่อไผ่เลี้ยงและไผ่ชางนวล ด้วยวิธีคราฟท์ โดยใช้แอกทีฟอัลคาไลน์ร้อยละ 24 และ ซัลฟิตี ร้อยละ 35 สรุปผลดังนี้

1. ผลผลิตเยื่อของไผ่ทั้ง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ไผ่ชางนวลมีตัวเลขคัปต่ำกว่าไผ่เลี้ยง
2. เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบดเยื่อในช่วงเวลา 0 ถึง 45 นาที พบว่า ค่าความเป็นอิสระของเยื่อจะลดลง ซึ่งเยื่อคราฟท์ไผ่เลี้ยง จะตอบสนองต่อการบดเยื่อได้เร็วกว่าไผ่ชางนวล

3. เมื่อระยะเวลาในการบดเยื่อเพิ่มขึ้น พบว่า สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษจะเพิ่มขึ้น โดยเยื่อคราฟท์ไผ่เลี้ยงจะมีค่าดัชนีการต้านทานต่อแรงดึง แรงฉีกขาด แรงดันทะลุ และความแข็งแรงต่อการหักพับมากกว่าไผ่ชางนวล

4. เยื่อคราฟท์ไผ่ทั้ง 2 ชนิด มีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อคราฟท์ไผ่ยูคาลิปตัสและใกล้เคียงกับเยื่อคราฟท์จากไม้ใบแคบที่ทำการอ้างอิง โดยเฉพาะไผ่เลี้ยง จึงน่าจะสามารถนำมาใช้ในการทดแทนการนำเข้าเยื่อคราฟท์ของไม้ใบแคบได้

## REFERENCES

- Bubpha, A., S. Pisuttipiched and P. Somboon. 2016. Strength improvement of kraft linerboard by sweet bamboo pulp substitution for long fibers from softwood pulp. **Thai Journal of Forestry** 36(2): 98-106. (in Thai)
- Gülsoy, S.K. and H. Eroğlu. 2010. Effects of sodium borohydride on biokraft pulping of European black pine (*Pinus nigra* Arn.). **Technology** 13(4): 245-250.
- Kamthai, S. and P. Puthson. 2005. Effect of beating revolution on sweet bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer) kraft pulp properties. **Chiang Mai University Journal (Thailand)** 4(2): 137-147.
- Nitorisravut, N. and R.O. Malinen. 2007. Fiber morphology and papermaking properties of selected Thai bamboos, pp. 83-89. *In* 61<sup>st</sup> Appita Annual Conference and Exhibition. 7-10 May 2007. Appita, Australia.
- Pisuttipiched, S. 2016. Bamboo fiber: The future of Thai long fiber, pp. 150-151. *In* P. Sunthornhao., ed. **8<sup>th</sup> Decades Forestry, Science of Life**. Forestry Research Center, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Rahmati, H., P. Ebrahimi and M. Sedghi. 2010. Effect of cooking conditions and oxygen-delignification on *Bambusa tulda* kraft pulping. **Indian Journal of Chemical Technology** 17: 74-77.
- Sangkaeo, S., A. Tirawatthananon and K. Jindawong. 2011. **Bamboo of Thailand**. Baanlaesuan, Bangkok. (in Thai)
- The Thai Pulp and Paper Industries Association. 2020. **TPPIA Directory 2020-2022**. The Thai Pulp and Paper Industries Association, Bangkok.
-