

นิพนธ์ต้นฉบับ

การปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษปะหน้า  
โดยการใช้เยื่อไผ่ตงทดแทนเยื่อไผ่ยาวจากไม้เบญจพรรณ

**Strength Improvement of Kraft linerboard by Sweet Bamboo Pulp Substitution  
for long Fibers from Softwood Pulp**

อรุณรัตน์ บุปผา  
สาวิตรี พิสุทธิพิเชษฐ\*  
พิชิต สมบูรณ์

Arunrat Bubpha  
Sawitree Pisuttiplied\*  
Phichit Somboon

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

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

รับต้นฉบับ 24 มิถุนายน 2559

รับลงพิมพ์ 29 กรกฎาคม 2559

## ABSTRACT

Generally, linerboard is made from two-ply production. In the industrial linerboard production, a top layer paper is manufactured with a mixture of 55% unbleached eucalyptus pulp and 45% softwood pulp. This study substituted the long fibers of unbleached sweet bamboo pulp for the imported softwood pulp. Various proportions between the softwood pulp and the sweet bamboo pulp were 45:0, 30:15, 15:30 and 0:45, respectively.

The results showed the sweet bamboo pulp had slightly longer fibers (2.48 mm) than the softwood (2.39 mm). However, the runkel ratio of the sweet bamboo (0.97) was obviously higher than the softwood (0.64). Consequently, paper made from the sweet bamboo contained a higher tear index, but indicated a lower tensile index, than paper made from the softwood. The mixtures of softwood and sweet bamboo at ratio of 30:15 and 15:30 at all beating levels produced paper with a higher set of index (tension, tear, burst, and ring crush) and folding endurance than paper made from softwood solely (45:0). It indicated that adding the sweet bamboo pulp into the mixture between eucalyptus and softwood pulp will provide increased strength to the top ply of the linerboard when compared to using only eucalyptus and softwood. The sweet bamboo pulp can be used up to 60% to replace the softwood pulp or at proportions of 30:15 of softwood pulp to sweet bamboo pulp.

**Keywords:** Sweet bamboo, Softwood pulp, linerboard

## บทคัดย่อ

โดยทั่วไปกระดาษปะหน้า จะประกอบไปด้วยกระดาษสองชั้น ได้แก่ กระดาษชั้นบนและกระดาษชั้นฐาน ซึ่งการผลิตกระดาษชั้นบนในโรงงานกระดาษ จะมีการใช้เยื่อไม้ฟอกสีเส้นใยสั้นจากไม้ยูคาลิปตัสปริมาณร้อยละ 55 และเส้นใยยาวจากไม้ไผ่แควปริมาณร้อยละ 45 ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ทำการทดแทนเส้นใยยาวจากไม้ไผ่แควที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเยื่อเส้นใยยาวไม่ฟอกสีจากไผ่ตง ที่สัดส่วนการทดแทนเยื่อไม้ไผ่แควต่อเยื่อไผ่ตงในระดับต่างๆ คือ 45:0, 30:15, 15:30 และ 0:45 ตามลำดับ

จากผลการศึกษา พบว่าเส้นใยไผ่ตงมีความยาวของเส้นใย (2.48 มม.) สูงกว่าเส้นใยของไม้ไผ่แควเล็กน้อย (2.39 มม.) แต่กลับมีปริมาณผนังเซลล์ต่อพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย ซึ่งแสดงด้วยค่าสัดส่วนรังเคิล (0.97) มีปริมาณที่มากกว่าในไม้ไผ่แควมาก (0.64) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อไผ่ตงมีสมบัติด้านความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า แต่ให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำกว่ากระดาษที่ทำจากเยื่อไม้ไผ่แคว เมื่อทำการผสมเยื่อไผ่ตงทดแทนลงไป ในเยื่อไม้ไผ่แคว พบว่า ที่สัดส่วนไม้ไผ่แควต่อเยื่อไผ่ตงที่ 30:15 และ 15:30 ที่ทุกๆ ระดับการตีเยื่อ จะให้กระดาษที่มีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง แรงฉีก แรงคั้นทะลุ และแรงกดวงแหวน รวมถึงความต้านทานต่อการหักพับ ที่สูงกว่ากระดาษที่ไม่มีการผสมเยื่อไผ่ตง ได้แก่ ที่สัดส่วนไม้ไผ่แควต่อเยื่อไผ่ตงที่ 45:0 จะเห็นได้ว่า เยื่อไผ่ตงมีส่วนช่วยทำให้ความแข็งแรงของกระดาษดีขึ้น โดยอาจผสมเยื่อไผ่ตงทดแทนเยื่อไม้ไผ่แควลงไป ในกระดาษปะหน้าชั้นบน ได้มากถึงร้อยละ 60 หรือที่สัดส่วนการทดแทนที่ระดับ 30:15

คำสำคัญ: ไผ่ตง เยื่อไม้ไผ่แคว กระดาษปะหน้า

## คำนำ

กระดาษปะหน้า (Linerboard) เป็นกระดาษที่มีความแข็งแรงเชิงกลค่อนข้างสูง ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ ในการผลิตกระดาษปะหน้า หรือกระดาษสำหรับปะผิวกล่องชั้นบนหรือชั้นผิวหน้าของกระดาษ (Top ply) จะใช้เยื่อใยยาวจากไม้ไผ่แคว (Softwood pulp) ผสมกับเยื่อใยสั้น (Hardwood pulp) โดยมีสัดส่วนผสมเส้นใยสั้นร้อยละ 55 และเส้นใยยาวร้อยละ 45 เยื่อเส้นใยยาวนั้นมีบทบาทเป็นตัวช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับกระดาษ เพราะมีเส้นใยที่ยาว ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการผลิตเยื่อใยยาว จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น ดังนั้นหากมีการค้นพบเส้นใยยาวจากพืชชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ภายในประเทศ มาใช้ทดแทนเยื่อเส้นใยยาวที่นำเข้าจากต่างประเทศ ก็จะช่วยให้เงินตราไม่ไหลออกไปนอกประเทศ

ไผ่ จัดเป็นพืชอเนกประสงค์ ที่มีประโยชน์มากมาย แต่การใช้งานในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเน้นการใช้งานในรูปแบบการนำไม้มาจักสานเป็นเครื่องใช้สร้างที่อยู่อาศัย หรือทำเฟอร์นิเจอร์ ส่วนหน่อจะใช้ประกอบอาหาร ซึ่งไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer) หรือ Sweet Bamboo ก็เป็นไผ่ชนิดหนึ่งที่น่ามาใช้ประโยชน์ดังกล่าว วันทนีย์ และคณะ (2515) ได้ศึกษาคุณสมบัติของไม้ไผ่ในประเทศไทยด้านการทำเยื่อกระดาษ พบว่าไม้ไผ่ที่ให้เยื่อกระดาษที่ดีที่สุดคือ ไผ่ตง (*D. asper*, Backer) และไผ่เขียว (*Bambusa spp.*) รองลงมาคือไผ่หก (*D. hamitonii*, Nees) และไผ่ชางคอย และจากการศึกษาของ Kamthai and Puthson (2005a) พบว่าเส้นใยไผ่ตงมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3.11 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวของเส้นใยจากไม้ไผ่แคว จึงน่าจะเหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตกระดาษปะหน้าได้

การนำเยื่อไผ่ตงมาใช้ทดแทนเยื่อเส้นใยยาวจากไม้ใบแคบในการผลิตกระดาษปะหน้านั้น จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาสมบัติและลักษณะของเส้นใยของเยื่อ ทั้งจากยูคาลิปตัส ไม้ใบแคบ และไผ่ตง และทำการศึกษาถึงสัดส่วนการทดแทนเยื่อ ไม้ใบแคบด้วยเยื่อไผ่ตงที่สภาวะการตีเยื่อในระดับต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำกระดาษปะหน้า สำหรับปะผิวกล่อง

## อุปกรณ์ และวิธีการ

### วัตถุดิบเยื่อและการเตรียม

งานวิจัยนี้ใช้เยื่อในการทดลอง 3 ชนิด คือ เยื่อไม้ใบแคบไม่ฟอก เยื่อยูคาลิปตัสฟอกขาว เป็นเยื่อที่ได้มาจากการผลิตกระดาษปะหน้าจากโรงงานกระดาษ และเยื่อไผ่ตงได้จากการนำไม้ไผ่ตง อายุ 3 ปี จากสวนของเกษตรกร ในจังหวัดปราจีนบุรี ที่ทำการตัดที่ระดับเหนือพื้นดิน 30 เซนติเมตร มาทำชิ้นไม้สับ และผึ่งให้แห้งในอากาศแล้วทำการคัดขนาดชิ้นไม้สับ โดยขนาดชิ้นไม้สับที่นำมาใช้คือ ชิ้นไม้สับที่ค้ำงบนตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 22 และ 19 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นไม้สับ ไปทำการแยกเยื่อ ด้วยวิธีการต้มเยื่อด้วยกรรมวิธีซัลเฟต มีสภาวะในการต้มเยื่อ ดังนี้ ซัลฟิไดตี (Sulfidity) ร้อยละ 35 เอฟเฟกทีฟอัลคาไล (Effective alkali) ร้อยละ 16 สัดส่วนของเหลวต่อเนื้อไม้ 4 : 1 เวลาถึงอุณหภูมิสูงสุด 80 นาที เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด 60 นาที และอุณหภูมิสูงสุด 165 องศาเซลเซียส สภาวะที่ใช้ต้มเยื่ออ้างอิงและประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Nitisoravut and Malinen (2007) เยื่อที่ได้ทำการหาค่าค้ำป้า (Kappa number) ตามมาตรฐาน ISO 302 (International Organization for Standardization, 2011) โดยกำหนดค่าค้ำป้าอยู่ที่ประมาณ 25

### การตรวจวัดคุณลักษณะของเส้นใยเยื่อ

การวัดความยาว ความกว้าง และความหนาของเส้นใย เยื่อไผ่ตง เยื่อไม้ใบแคบ และเยื่อยูคาลิปตัส

ตรวจวัดด้วยเครื่อง Fiber Quality Analyzer รุ่น FQA360 อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 16065-1 และ ISO 23713 (International Organization for Standardization, 2011)

การวัดค่าความกว้างลูเมน และความหนาผนังเซลล์เส้นใย ทำโดยการนำเส้นใยเยื่อแต่ละชนิด ไปย้อมสีด้วย safranin นำไปทำแผ่นสไลด์ และนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope กำลังขยาย 40X จากนั้นถ่ายภาพและทำการวัดขนาดความกว้างของเส้นใย และความกว้างของลูเมน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Axio vision โดยทำการวัดค่าจากเส้นใยจำนวน 100 เส้น จากนั้นนำค่าความกว้างของเส้นใย และค่าความกว้างของลูเมน มาคำนวณค่าความหนาของผนังเซลล์เส้นใย ค่าสัดส่วนรังเคิล และค่าสัมประสิทธิ์ความอ่อนตัว โดยใช้สูตร (1) (2) และ (3) (Bawagan, 1972) ตามลำดับสูตร

ความหนาผนังเซลล์เส้นใย (Cell wall thickness)

$$= \frac{(D - L)}{2} \quad (1)$$

ค่าสัดส่วนรังเคิล (Runkel ratio) =  $\frac{(2 \times W)}{L}$  (2)

ค่าสัมประสิทธิ์ความอ่อนตัว (Flexibility coefficient)

$$= \frac{L}{D} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ D = ความกว้างของเส้นใย (ไมโครเมตร)

L = ความกว้างของลูเมน (ไมโครเมตร)

W = ความหนาผนังเซลล์เส้นใย (ไมโครเมตร)

### สภาวะการตีเยื่อ

การตีเยื่อใช้เครื่องวัลเลย์บีทอร์ (Valley Beater) ทำการตีเยื่อ โดยมีช่วงระยะเวลาในการตีเยื่อ 0-60 นาที ควบคุมค่าความเข้มข้นของเยื่อ (Pulp consistency) ที่ร้อยละ 1.57 อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 5264-1 (International Organization for Standardization, 2011) และทำการวัดค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (Freeness) เพื่อพิจารณาผลกระทบจากการตีเยื่อต่อสมบัติการระบายน้ำของเยื่อ โดยตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเป็นอิสระของเยื่อ อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 5267-2 (International

Organization for Standardization, 2011) แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การศึกษาสมบัติความแข็งแรงของเยื่อแต่ละชนิด โดยนำเยื่อไผ่ตง เยื่อไม้ใบแคบ และเยื่อยูคาลิปตัส มาทำการตีเยื่อในช่วงระยะเวลา 0-60 นาที

2. การศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนเยื่อไม้ใบแคบด้วยเยื่อไผ่ตง ทำการนำเยื่อทั้ง 3 ชนิดมาผสมกัน ที่สัดส่วนต่างๆ โดยอ้างอิงสัดส่วนผสมจากสัดส่วนเส้นใยเยื่อที่ใช้ในการผลิตกระดาษปะหน้า โดยมีสัดส่วนผสมเส้นใยสั้นร้อยละ 55 และเส้นใยยาวร้อยละ 45 (Panthai and Somboon, 2014) ในการทดลอง ส่วนของเส้นใยสั้นจะใช้เยื่อยูคาลิปตัส ในสัดส่วนคงที่ผสมกับเยื่อเส้นใยยาวจากเยื่อไม้ใบแคบและเยื่อไผ่ตง ที่มีสัดส่วนการทดแทนกัน ดังนี้ 45:0, 30:15, 15:30 และ 0:45 ทำการตีเยื่อที่ 4 ระดับ ดังนี้ ไม่มีการตีเยื่อ และตีเยื่อที่ระดับค่าความเป็นอิสระ (CSF) 300, 400 และ 500 มิลลิลิตร ลักษณะการตีเยื่อเป็นแบบผสมรวม (Mixed refining)

### การเตรียมแผ่นกระดาษทดสอบ และการทดสอบสมบัติของกระดาษ

ทำแผ่นทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน 60 กรัมต่อตารางเมตร อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 5269-1 (International Organization for Standardization, 2011) นำแผ่นทดสอบไปเก็บไว้ในห้องควบคุมสภาวะ ที่อุณหภูมิ 23±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50±2% อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 187 (International Organization for Standardization, 2011) และทำการทดสอบความแข็งแรงดังนี้ ความแข็งแรงต่อแรงดึง อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 1924-2 (International Organization for Standardization, 2011) ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด ISO 1974 (International Organization for Standardization, 2011) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ ISO 2758 (International Organization for Standardization, 2011) ความแข็งแรงต่อแรงกดในแนววงแหวน (RCT test) ISO 1291 (International

Organization for Standardization, 2011) และความแข็งแรงต่อการหักพับ อ้างอิงตามมาตรฐาน TAPPI T511 om-02 (Technical Association of the Pulp and Paper industry (TAPPI), 2002)

## ผลและวิจารณ์

### 1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อ

จากการทดลองพบว่า เส้นใยไผ่ตงอายุ 3 ปี มีความยาวเฉลี่ย 2.48 มิลลิเมตร ความกว้าง 27.3 ไมโครเมตร และความหนา 0.201 มิลลิกรัมต่อเมตร จะเห็นว่าความยาวของเส้นใยไผ่ตงในการทดลองนี้มีความยาวเดียวกับงานวิจัยเส้นใยไผ่ตงของ Kamthai and Puthson (2005a) โดยมีความยาวเส้นใยอยู่ในช่วง 2.15-3.99 มิลลิเมตร แต่มีความยาวของเส้นใยสั้นกว่าการวิจัยของ Nitorisravut and Malinen (2007) ที่มีความยาวเส้นใย 2.91 มิลลิเมตร สำหรับความกว้างของเส้นใยพบว่าเส้นใยไผ่ตงในการทดลองนี้มีความกว้างของเส้นใยสูงกว่าการทดลองของทั้งสองงานวิจัยข้างต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ความหนาของผนังเซลล์เส้นใยไผ่ตงจะอยู่ที่ 6.0-10.7 ไมโครเมตร ขณะที่ความกว้างของลูเมนอยู่ที่ 3.9-4.8 ไมโครเมตร จากลักษณะความยาว ความกว้าง ความหนาของผนังเซลล์ และความกว้างของลูเมน ทำให้ทราบว่า เส้นใยไผ่ตงจะมีลักษณะเส้นใยที่แน่นแข็งและน่าจะขูดตัวได้ยาก

ในส่วนเยื่อไม้ใบแคบไม่ฟอก เส้นใยมีความยาวเฉลี่ย 2.39 มิลลิเมตร ส่วนเยื่อยูคาลิปตัสฟอกขาว เส้นใยมีความยาวเฉลี่ย 0.71 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวเส้นใยที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับความยาวที่ได้จากการทดลองของ Pisuttipiched (2004) ที่เส้นใยมีความยาวอยู่ในช่วง 0.7-0.8 มิลลิเมตร เส้นใยจากไม้ยูคาลิปตัสนั้นจัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยสั้น ส่วนเส้นใยจากไผ่ตงและไม้ใบแคบนั้นจัดอยู่ในกลุ่มเส้นใยยาว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยของไผ่ตงและไม้ใบแคบที่นำมาทดลองในครั้งนี้ พบว่าเส้นใยจากไผ่ตงมีความยาวมากกว่าเส้นใยจากไม้ใบแคบเล็กน้อย แต่เส้นใยไม้ใบแคบมี

ความกว้างมากกว่าเส้นใยไผ่ตงมาก ส่วนความหยาบมีค่ามากกว่าเล็กน้อย

สมบัติความอ่อนตัวของเส้นใยนั้น พิจารณาได้จากดัชนีชี้วัดความอ่อนตัวของเส้นใยและค่าสัดส่วนรังเคิล (Runkel ratio) ที่บอกรถึงความคงรูปและความสามารถในการยุบตัวของเส้นใย จาก Table 1 เส้นใยไผ่ตงมีค่าสัดส่วนรังเคิล เท่ากับ 0.97 ซึ่งมากกว่าค่าสัดส่วนรังเคิลของเส้นใยไม้ไผ่แคบ และเส้นใยยูคาลิปตัส แสดงว่าเส้นใยไผ่ตงมีความคงรูปมาก และเมื่อมีแรงกระทำ จะเกิดการยุบตัวได้ยากกว่าเส้นใยไม้ไผ่แคบ และเส้นใยยูคาลิปตัส

## 2. ผลของการตีเยื่อแต่ละชนิดต่อการระบายน้ำของเยื่อ และสมบัติกระดาษ

### 2.1 การระบายน้ำของเยื่อ

เยื่อไผ่ตงมีค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 251-730 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาตีเยื่อ 0-30 นาที โดยเมื่อระยะเวลาในการตีเยื่อเพิ่มมากขึ้น ค่าความเป็นอิสระของเยื่อจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงถึงว่า เยื่อมีความสามารถในการระบายน้ำลดลง เช่นเดียวกันกับเยื่ออีก 2 ชนิด เยื่อไม้ไผ่แคบมีค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 306-733 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาตีเยื่อ 0-60 นาที และเยื่อยูคาลิปตัสมีค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 291-586 มิลลิลิตร ดัง Figure 1(a) เยื่อไผ่ตงมีการตอบสนองต่อการตีเยื่อเร็วที่สุด โดยเยื่อไผ่ตงจะใช้เวลาในการตีเยื่อไม่เกิน 30 นาที เพื่อให้เยื่อมีค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 300 มิลลิลิตร ในขณะที่เยื่อไม้ไผ่แคบและเยื่อยูคาลิปตัสใช้เวลามากกว่า 30 นาที ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยของไผ่ตงมีลักษณะแข็งดิ่ง ยึดหยุ่นน้อย เมื่อถูกแรงกระทำจากการตีเยื่อเส้นใยจึงเกิดการแตกหักเกิดเป็นเศษเส้นใยขนาดเล็ก (Fine) ได้ง่ายกว่าเยื่อไม้ไผ่แคบและเยื่อยูคาลิปตัสที่เส้นใยมีความยึดหยุ่นมากกว่า

### 2.2 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

ในช่วงค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 251-730 มิลลิลิตร เยื่อไผ่ตงมีค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงอยู่ระหว่าง 13.03-48.95 นิวตันเมตร/กรัม ซึ่งให้ค่าต่ำ

กว่าผลการศึกษาของ Kamthai and Puthson (2005b) และ Nitorisavut and Malinen (2007) ที่มีค่าดัชนีการต้านทานแรงดึง อยู่ในช่วง 22.44-70.20 นิวตันเมตร/กรัม ส่วนเยื่อไม้ไผ่แคบ ค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงมีค่าอยู่ระหว่าง 14.84-77.74 นิวตันเมตร/กรัม (ความเป็นอิสระของเยื่อ 306-733 มิลลิลิตร) และเยื่อยูคาลิปตัสมีค่าอยู่ระหว่าง 14.25-60.53 นิวตันเมตร/กรัม (ความเป็นอิสระของเยื่อ 152-504 มิลลิลิตร) ค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเป็นอิสระของเยื่อลดลงหรือมีการตีเยื่อเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงใน Figure 1(b) เนื่องจากการตีเยื่อทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนงของเส้นใยทั้งภายนอกและภายใน (External and internal fibrillation) เส้นใยเกิดการพองตัวจากน้ำ ทำให้ผนังเส้นใยมีความอ่อนตัว (Flexible) จึงยุบตัวได้ง่าย (Spencer *et al.*, 1983) ทำให้พันธะและพื้นที่ในการเกิดพันธะของเส้นใยในเนื้อกระดาษมีมากขึ้น ความแข็งแรงต่อแรงดึงจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งเยื่อไม้ไผ่แคบและเยื่อยูคาลิปตัสก็มีแนวโน้มค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการตีเยื่อเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงของเยื่อไผ่ตงและเยื่อไม้ไผ่แคบที่ระดับค่าความเป็นอิสระของเยื่อเดียวกัน พบว่าเยื่อไม้ไผ่แคบมีค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงสูงกว่าเยื่อไผ่ตง ซึ่งเกิดจากเส้นใยไผ่ตงมีความสามารถในการยุบตัว (Collapse) ได้น้อยกว่าเส้นใยของไม้ไผ่แคบ โดยจะเห็นว่าเส้นใยไผ่ตงมีค่าสัดส่วนรังเคิลสูงกว่าเยื่อไม้ไผ่แคบ เพราะเส้นใยไผ่ตงมีลูเมนที่เล็กมาก การที่เส้นใยไผ่ตงยุบตัวได้น้อย เส้นใยจึงไม่แนบสนิทกันในเนื้อกระดาษ ทำให้พื้นที่การเกิดพันธะระหว่างเส้นใยน้อย การต้านทานแรงดึงของกระดาษจึงน้อยกว่า

### 2.3 ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด

การตีเยื่อในช่วงแรก มีผลให้ค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลง จาก Figure 1(c) ค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อไผ่ตงเริ่มลดลง เมื่อเยื่อมีค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF)

ประมาณ 400 มิลลิลิตร การตีเยื่อทำให้ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการตีเยื่อมากเกินไปจะทำให้เส้นใยมีขนาดสั้นลง มีผลให้ความต้านทานแรงฉีกขาดลดลง แม้ว่าเส้นใยจะมีการสร้างพันธะระหว่างกันได้มากกว่าก็ตาม (Kline, 1991) ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ จะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยและความแข็งแรงของตัวเส้นใย เส้นใยที่ยาวจะมีโอกาสที่จะมีตำแหน่งการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยภายในโครงสร้างของกระดาษมากกว่าเส้นใยที่สั้น (สมหวัง, 2551) เยื่อไม้

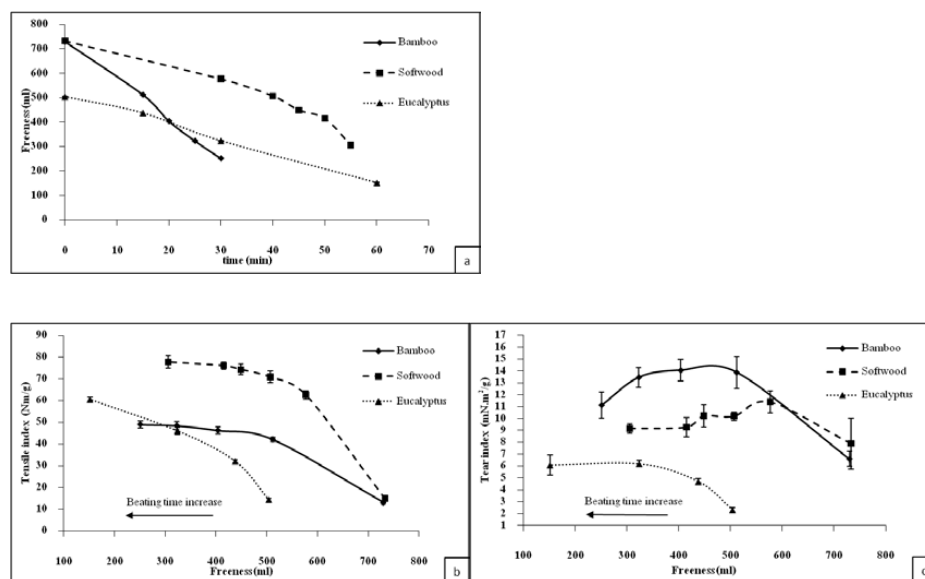
ไบแคบและเยื่อคาลิปต์สก็มีความโน้มเอียงการพัฒนาของค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดเช่นเดียวกันกับเยื่อไม้ฝัดง เยื่อคาลิปต์สจะมีค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดต่ำกว่า เยื่อไม้ฝัดงและเยื่อไม้ไบแคบ เนื่องจากเยื่อคาลิปต์สมีเส้นใยที่สั้นกว่าเยื่อไม้ฝัดงและเยื่อไม้ไบแคบ และเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อไม้ฝัดงและเยื่อไม้ไบแคบ ที่ระดับค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 300 มิลลิลิตร พบว่าค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดของเยื่อไม้ฝัดงจะสูงกว่าเยื่อไม้ไบแคบ

**Table 1** Fiber characteristics of Bamboo, Softwood and Eucalyptus pulps.

	Bamboo kraft pulp ( <i>D. asper</i> )	Unbleached softwood kraft pulp	Bleached eucalyptus kraft pulp
Fiber length, LW (mm.) <sup>a</sup>	2.48	2.39	0.71
Fiber width (μm) <sup>a</sup>	27.3	40.1	22.4
Fiber coarseness (mg/m) <sup>a</sup>	0.201	0.223	0.053
Lumen width (μm) <sup>b</sup>	2.30	23.47	8.15
Cell wall thickness (μm) <sup>b</sup>	11.64	13.82	3.57
Runkel ratio	0.97	0.64	0.56
Flexibility coefficient	9.06	46.61	52.89

**Notes:** <sup>a</sup> data from the measurement of fibers thru Fiber Quality Analyzer Model FQA360

<sup>b</sup> data from the examination micro slide of fibers



**Figure 1** Effect of beating on (a) drainability (b) tensile strength and (c) tear strength.



### 3. ผลของสัดส่วนการทดแทนเยื่อไม้ใบแคบด้วยเยื่อไผ่ตง ต่อสมบัติความแข็งแรงของกระดาษ

#### 3.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง

จาก Figure 2(a) ที่ระดับค่าความเป็นอิสระของเยื่อ(CSF) 300 มิลลิลิตร แผ่นทดสอบจะมีค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงสูงที่สุดในทุกๆ สัดส่วนเยื่อ และยังพบว่าที่สัดส่วนเยื่อไม้ใบแคบต่อเยื่อไผ่ตง 30:15 แผ่นทดสอบจะมีความต้านทานต่อแรงดึงมากที่สุด รองลงมาคือที่สัดส่วน 15:30, 45:0 และ 0:45 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเยื่อไผ่ตงลงไป เยื่อผสม จะมีผลให้แผ่นทดสอบมีค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีสัดส่วนของเยื่อไผ่ตงมากเกินไป ค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงก็จะมีค่าน้อยลง

#### 3.2 ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด

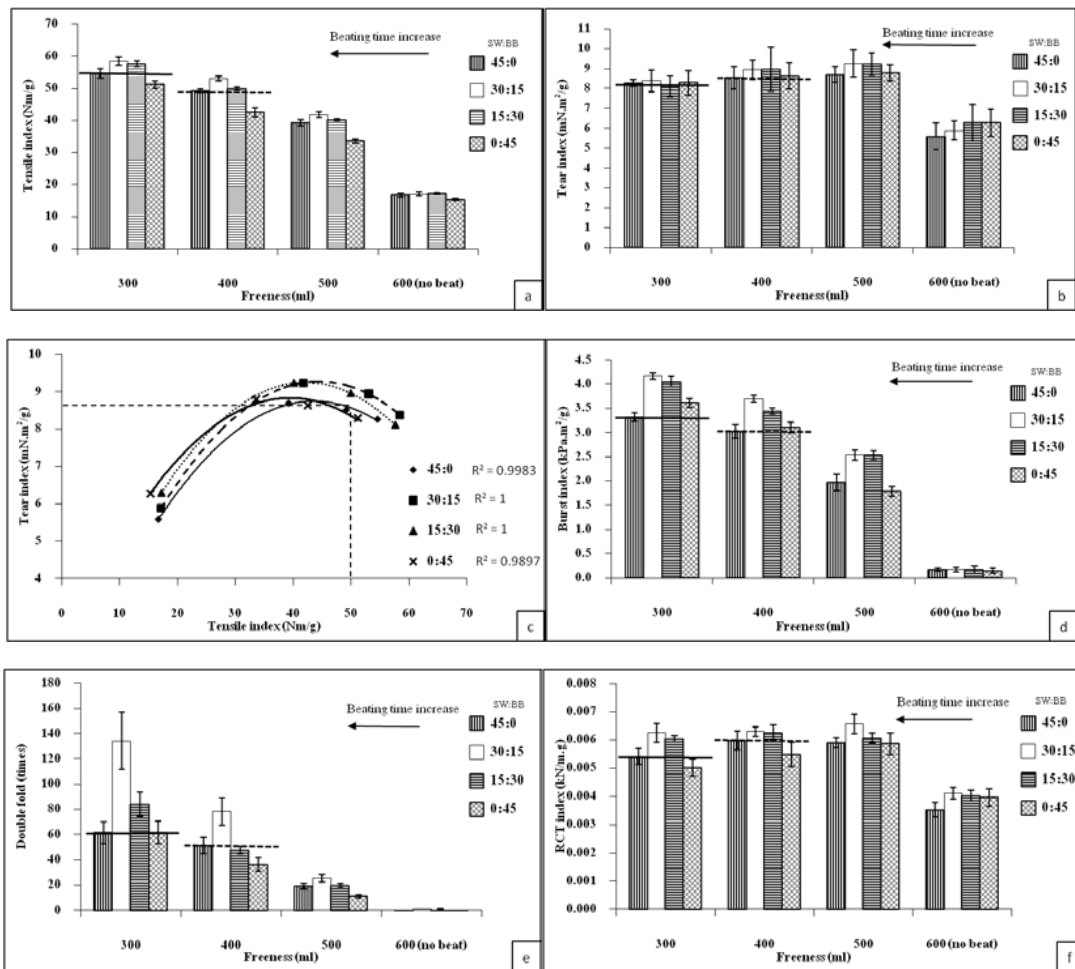
จาก Figure 2(b) ระดับสัดส่วนการทดแทนเยื่อไม้ใบแคบด้วยเยื่อไผ่ตงที่แตกต่างกัน ไม่มีอิทธิพลต่อค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบ เนื่องจากค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของเส้นใย และเยื่อไผ่ตงและเยื่อไม้ใบแคบ มีความยาวเส้นใยใกล้เคียงกัน จึงไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาด

จาก Figure 2(c) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงและค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดจะเห็นว่า เมื่อค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงมี

ค่าเพิ่มขึ้น จากการตีเยื่อเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อถึงจุดที่มีการตีเยื่อมากเกินไป เส้นใยจะถูกตัดให้สั้นลง จึงส่งผลให้ค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดมีค่าลดลง แม้ว่าค่าดัชนีการต้านทานแรงดึงจะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ค่าดัชนีการต้านทานแรงดึง 50 นิวตันเมตร/กรัม ซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงของเยื่อที่ใช้ในการผลิตกระดาษปะหน้าพบว่าที่สัดส่วนการทดแทนเยื่อไม้ใบแคบด้วยเยื่อไผ่ตง 30:15 และ 15:30 แผ่นทดสอบจะมีค่าดัชนีการต้านทานแรงฉีกขาดสูงกว่าที่สัดส่วน 45:0 ส่วนที่สัดส่วน 0:45

#### 3.3 ความแข็งแรงต่อแรงคั้นทะลุ, การหักพับ และ แรงกดวงแหวน

ความแข็งแรงต่อแรงคั้นทะลุ ความแข็งแรงต่อการหักพับ และความแข็งแรงต่อแรงกดวงแหวน มีความสำคัญสำหรับกระดาษปะผิวกล่อง โดยความแข็งแรงต่อแรงคั้นทะลุจะทำให้กล่องทนต่อแรงคั้นจากภายในและภายนอกกล่อง ส่วนความแข็งแรงต่อการหักพับ จะชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการพับขึ้นรูปกล่อง โดยไม่ปริแตก ในขณะที่ความแข็งแรงต่อแรงกดวงแหวน จะใช้เพื่อทำนายความสามารถในการซ้อนทับกันของกล่อง จากการทดลองนี้พบว่า ที่ความเป็นอิสระของเยื่อ(CSF) 300 มิลลิลิตร สัดส่วนเยื่อไม้ใบแคบต่อเยื่อไผ่ตง 30:15 จะให้ค่าความแข็งแรงทั้ง 3 ค่า สูงที่สุด รองลงมาคือที่สัดส่วน 15:30 (Figure 2(d-f))



**Figure 2** Influence of pulp proportions on strength properties as (a) Tensile strength (b) Tear strength (c) Tear-Tensile strength relationship and (d) Burst strength (e) Folding strength and (f) Ring crush strength

เมื่อเปรียบเทียบกับที่สัดส่วนเยื่อไม้ใบแคบต่อเยื่อไม้ดง 45:0 และ 0:45 ที่ค่าความเป็นอิสระของเยื่อ (CSF) 300 มิลลิลิตร พบว่าที่สัดส่วน 0:45 แผ่นทดสอบจะมีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมากกว่า ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการตีเยื่อทำให้เยื่อไม้ใบแคบสัดส่วน 0:45 เกิดปริมาณเศษเส้นใยขนาดเล็ก (fine) จำนวนมาก ซึ่งเข้าไปอุดช่องว่างในโครงสร้างกระดาษ ทำให้การต้านแรงดันทะลุมีมาก แต่ในส่วนของความแข็งแรงต่อแรงกดวงแหวนนั้น จะมีน้อยกว่า ดัง Figure 2(f) เนื่องจากการตีเยื่อทำให้เส้นใยไม้ดงถูกทำลายโครงสร้าง เส้นใยเกิดการ

แตกหัก ในขณะที่เส้นใยไม้ใบแคบในสัดส่วน 45:0 เส้นใยมีความยืดหยุ่นมากกว่า จึงเกิดการแตกหักน้อยกว่า

## สรุป

สัดส่วนการทดแทนเยื่อไม้ใบแคบด้วยเยื่อไม้ดงที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ การทดแทนเยื่อไม้ดงลงไปเยื่อไม้ใบแคบ จะช่วยเสริมให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยที่สัดส่วนเยื่อไม้ใบแคบต่อเยื่อไม้ดง 30:15 แผ่นทดสอบจะมีความแข็งแรงโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือที่สัดส่วน



15:30 45:0 และ 0:45 ตามลำดับ สรุปได้ว่า เชื้อไฟต์งสามารถใช้ทดแทนเชื้อไม้ใบแคบในเชื้อผสมของการผลิตกระดาษปะหน้า ที่ใช้ทำผิวกล่องบรรจุภัณฑ์ ได้มากที่สุดถึงร้อยละ 60 (สัดส่วน 15:30) โดยที่ไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษต่ำกว่าที่สัดส่วน 45:0 (สัดส่วนที่ใช้เชื้อใยขาวที่เป็นไม้ใบแคบเพียงอย่างเดียว)

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

วันทนีย์ สาดรารคม, บวร วัฒนเสวี, บุญสืบ จิตติวานิชย์ และดวงใจ ลิ้มสกุล. 2515. **คุณสมบัติของไม้ไฟในประเทศไทยด้านทำเยื่อกระดาษ**. กรมวิทยาศาสตร์, กระทรวงอุตสาหกรรม.

สมหวัง ชันตยานวงศ์. 2551. **เอกสารประกอบการสอนเรื่องเส้นใยเยื่อและกระดาษ: สมบัติทางกายภาพ**. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Bawagan, P.V. 1972. **The Analyses of some Fundamental Fiber-Paper Property Relationship**. M.S. Thesis, Norwegian University of Science and Technology.

International Organization for Standardization. 2011. Paper, board and pulp. **ISO Standards Correction (CD-ROM)**, Geneva, Switzerland.

Kamthai, S. and P. Puthson. 2005a. The Physical Properties, Fiber Morphology and Chemical Composition of Sweet Bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer). **Kasetsart journal (Nat.sci)**

39 (4): 581-587.

\_\_\_\_\_. 2005b. Effect of Beating Revolution on Sweet Bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer) Kraft Pulp. **Chiang Mai journal sci** 4 (2): 137-147.

Kline, J.E. 1991. **Paper and Paperboard Manufacturing and Converting Fundamentals**. 2<sup>nd</sup>ed. Miller Freeman Publications, inc., San Francisco.

Nitorisravut, N. and R.O. Malinen. 2007. Fiber morphology and papermaking properties of selected Thai bamboos. **Appita Annual Conference** 1: 83-89.

Panthai, S. and P. Somboon. 2014. Examination of Separate and Mixed Refining Method on Softwood and Hardwood Pulp for Linerboard Production. **Kasetsart journal** 48 (4): 540-547.

Pisuttipiched, S. 2004. Effect of Tree Age on Wood Properties of Eucalyptus camaldulensis in Thailand. **Thai Journal of Forestry**. 23 (2): 152-160.

Spencer, H.S., N.G.M. Tuck and R.W. Gordon. 1983. Beating and Refining, pp.136. In R.G. Macdonald and J.N. Franklin., eds. **Pulp and Paper Manufacture**. Mcgraw-hill book company, Atlanta.

Technical Association of the Pulp and Paper industry (TAPPI). 2002. **2002-2003 TAPPI Test Methods**. TAPPI Press, Atlanta, Georgia.