

# การผลิตกระดาษลูกฟูกเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า

## The production of recycle corrugated paper from used corrugated container

15

ยุทธนาพงศ์ แดงเพ็ง<sup>1</sup>, สุรเดช พานเพ็ง<sup>1</sup>, ขวัญใจ สมบุญ<sup>1</sup>, ภูวดี ตู้จินดา<sup>1\*</sup>

Yutthanapong Daengpeng<sup>1</sup>, Suradej Phanphang<sup>1</sup>, Kwanjai Somboon<sup>1</sup>, Poovadee Tuchinda<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสภาวะและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสองประเภทคือ American Old Corrugated Container (AOCC) และ Local Old Corrugated Container (LOCC) จากการศึกษาพบว่า เยื่อที่ได้จาก AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่า เยื่อที่ได้จาก LOCC และมีสัดส่วนเส้นใยยาวใกล้เคียงกับเยื่อบริสุทธิ์ Unbleached Softwood Kraft Pulp (UBKP) ส่งผลให้ที่รอบการบิดเท่ากันเยื่อ AOCC ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึง ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด และดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน สูงกว่าเยื่อ LOCC เมื่อนำเยื่อทั้งสองชนิดมาผสมในอัตราส่วนที่ต่างกันพบว่า อัตราส่วนผสมเยื่อ AOCC:LOCC ที่มีอัตราส่วนของเยื่อ AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป ให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงสูงกว่า 21.0 kN.m/kg, ดัชนีความต้านแรงฉีกขาดสูงกว่า 10.2 Nm<sup>2</sup>/kg และความต้านแรงกดวงแหวนสูงกว่า 115 N ดังนั้นจึงสามารถใช้เยื่อจาก AOCC ผสมกับเยื่อจาก LOCC มาผลิตกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่แทนการผสมเยื่อบริสุทธิ์ เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต โดยที่สมบัติของกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษ สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อลดต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

### Abstract

The objective of this research project was to develop a condition and suitable mixing ratios between 2 widely used corrugated containers, which were American Old Corrugated Container (AOCC) and Local Old Corrugated Container (LOCC), in order to produce usable recycle paper. This studied was found that the pulp from AOCC contained higher ratio of long-fiber pulp than from LOCC and this ratio was also close to that of Unbleached Softwood Kraft Pulp (UBKP), which was a virgin pulp. At the same degree of refining, AOCC pulp provides the physical properties including tensile index tear index and ringcrush higher than LOCC pulp. The recycle paper produced from the mixture of AOCC and LOCC, where the ratio of AOCC to LOCC was greater than 50% had physical properties including tensile index over 21.0 kN.m/kg tear index over 10.2 Nm<sup>2</sup>/kg and ringcrush over 115 N. Therefore, it was possible to use a mixture of LOCC and AOCC to produce usable recycle paper, complied with the Thai Industrial Standard for corrugated paper which the industries could use the result to further develop into an industrial scale to reduce the use of virgin pulp and production cost in the future.

**คำสำคัญ:** เยื่อเวียนทำใหม่, กระดาษกล่องลูกฟูกเก่านำเข้าจากอเมริกา, กระดาษกล่องลูกฟูกเก่าภายในประเทศ

**Keywords:** Recycled pulp, American old corrugated container, Local old corrugated container

<sup>1</sup> กรมวิทยาศาสตร์บริการ

\* Corresponding author e-mail address: poovadee@dss.go.th

# 1. UNนำ (Introduction)

ปัจจุบันการค้าทั้งภายในและต่างประเทศเติบโตขึ้น ทำให้ความจำเป็นต้องใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นกล่องกระดาษมากขึ้น การผลิตกล่องกระดาษจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการผลิตกล่องกระดาษจากเยื่อบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียวจะส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมหาศาล ก่อให้เกิดขยะกระดาษ เป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้มาตรฐานฉลากเขียวของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยยังผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษนำกระดาษเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผลิตเป็นกระดาษใหม่อีกครั้ง โดยเยื่อกระดาษที่ผลิตจากกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้วเรียกว่าเยื่อเวียนทำใหม่หรือเยื่อรีไซเคิล ซึ่งลำดับขั้นตอนการผลิตแตกต่างกันไปตามลักษณะโรงงานหรือชนิดกระดาษที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยทั่วไปวัตถุดิบในการผลิตเยื่อเวียนทำใหม่แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก คือ กล่องกระดาษลูกฟูก กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษสำนักงาน และกระดาษอื่นๆ ซึ่งกระดาษแต่ละประเภทจะมีสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป เช่น สัดส่วนของเส้นใย และชนิดสารเติมแต่ง ในงานวิจัยของ Chen และคณะ (2016) พบว่า จำนวนครั้งในการรีไซเคิลมีผลต่อความยาวของเส้นใยและทำให้ความแข็งแรงของกระดาษเวียนทำใหม่ลดลง และค่าความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษเวียนทำใหม่จะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการบำบัดเยื่อศึกษาโดย Biricik และ Atik (2012)

จากข้อจำกัดของโรงงานผู้ผลิตกระดาษจากการใช้เยื่อกระดาษเวียนทำใหม่มาผลิตเป็นกล่องกระดาษซึ่งมีหลายประการ จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิตได้ เช่น เยื่อเวียนทำใหม่ได้มาจากกระดาษหลายประเภทมีสารปนเปื้อนค่อนข้างมากและต่างชนิดกัน ไม่ทราบจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้การควบคุมคุณภาพกระดาษให้สม่ำเสมอทำได้ยาก กลุ่มโรงงานผู้ผลิตจึงได้นำปัญหาที่มีปริศนาทำให้กลุ่มผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการนำเยื่อเวียนทำใหม่มาผลิตเป็นกระดาษกล่องเพื่อทดแทนการใช้เยื่อบริสุทธิ์ จึงได้มีการวางแผนการทดลองโดยนำกล่องกระดาษเก่าสองชนิดคือ American Old Corrugated Container (AOCC) ซึ่งเป็นเศษกระดาษกล่องลูกฟูกเก่านำเข้าจากอเมริกาและ Local Old Corrugated Container (LOCC) ซึ่งเป็นเศษกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าภายในประเทศได้ถูกใช้อย่างแพร่หลาย มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษกล่องจากเยื่อเวียนทำใหม่ โดยเริ่มจากการตรวจวัดสัดส่วนความยาวของเส้นใย อัตราส่วนผสมต่ออัตรากระดาษเยื่อ และทดสอบคุณสมบัติด้านการระบายน้ำของน้ำเยื่อ และความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษเวียนทำใหม่ที่ได้

แม้งานวิจัยนี้จะยังเป็นปัญหาของโรงงานผู้ผลิตกล่องกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่ แต่ในปัจจุบันเยื่อเวียนทำใหม่นี้มีการนำไปใช้ผลิตเป็นกระดาษอีกหลายชนิดนอกเหนือจากผลิตกล่อง และงานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานด้านเชิงกลของกระดาษเวียนทำใหม่ไว้อย่างครอบคลุม ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะมีประโยชน์สำหรับโรงงานผลิตกระดาษทุกประเภทจากเยื่อเวียนทำใหม่ และสามารถนำไปต่อยอดปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

# 2. วิธีการวิจัย (Experimental)

## 2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบคือ กล่องกระดาษลูกฟูกสองประเภทคือ American Old Corrugated Container (AOCC) และ Local Old Corrugated Container (LOCC) ได้รับการอนุเคราะห์จากผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยจังหวัดราชบุรี ซึ่งกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าทั้งสองประเภทจำนวนอย่างละ 2 กิโลกรัม แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำกระดาษที่แช่แล้วแต่ละชนิดไปกระจายด้วยเครื่องกระจายเยื่อความเข้มข้นสูง (Hydra Pulper) ทำการแยกเยื่อด้วยเครื่อง Flat Screen หลังจากนั้นนำเยื่อเข้าเครื่องสไลด์แห้ง ตรวจสอบความชื้นจนได้เยื่อแต่ละชนิดที่มีความชื้นร้อยละ 80

## 2.2 การศึกษาความยาวของเส้นใย

นำเยื่อจากข้อ 2.1 มาศึกษาความยาวของเส้นใยของเยื่อจากกล่องแต่ละประเภทโดยใช้วิธีมาตรฐานของ Tappi T 233 cm-15 Fiber length of pulp by

classification โดยนำเยื่อแต่ละชนิดกระจายด้วยเครื่อง Tappi Standard Disintegrator และนำน้ำเยื่อแต่ละชนิดเข้าเครื่อง Fiber Classifier ปรับความดันน้ำและควบคุมอัตราการไหลของน้ำเยื่อตามที่กำหนดในมาตรฐานจนครบ 5 นาที แล้วทิ้งไว้อีก 10 นาที เก็บตัวอย่างเยื่อที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ต่างๆ ซึ่งน้ำหนักเยื่อที่ได้ในแต่ละ Fraction นำไปคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อเริ่มต้น และแบ่งเยื่อจากแต่ละ Fraction ไปวัดขนาดของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์

## 2.3 การศึกษาผลการบำบัดเยื่อ

2.3.1 นำเยื่อจากข้อ 2.1 มาศึกษาการบำบัดเยื่อ โดยนำเยื่อแต่ละประเภทกระจายด้วยเครื่อง Tappi Standard Disintegrator เสร็จแล้วนำไปบดด้วยเครื่อง PFI-mill ที่ระดับการบด 0, 2000, 4000 และ 6000 รอบ

2.3.2 นำเยื่อที่บดแต่ละระดับหาค่าการอุ่มน้ำของเยื่อ (freeness) ด้วยวิธีมาตรฐานของ TAPPI T 227 om-04 Freeness Of Pulp

2.3.3 นำเยื่อที่บดแต่ละระดับทำแผ่นทดสอบขนาด 120 กรัมต่อตารางเมตร ด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI T 205 Handsheet forming

2.3.4 นำแผ่นทดสอบทั้งหมดไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

- น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ตาม Tappi T 410 om-08
- ความหนา (Thickness) ตาม Tappi T 411 om-10
- ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตาม Tappi T 404 cm-92
- ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตาม Tappi T 414 om-12
- ความต้านแรงวงแหวน (Ringcush) ตาม ISO 12192:2011

## 2.4 การศึกษาหาอัตราส่วนการผสม ระหว่าง AOCC กับ LOCC ที่เหมาะสม

2.4.1 นำเยื่อจากข้อ 2.1 ผสมตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนการผสมเยื่อจาก AOCC และ LOCC ในสภาวะต่างๆ

สภาวะการผสมเยื่อ			
สภาวะที่	อัตราส่วนการผสม วัตถุดิบ เยื่อจาก AOCC: เยื่อจาก LOCC	น้ำหนักบดแห้ง เยื่อจาก AOCC, กรัม	น้ำหนักบดแห้งเยื่อ จาก LOCC, กรัม
1	100 : 0	30	0
2	75 : 25	22.5	7.5
3	50 : 50	15	15
4	25 : 75	7.5	22.5
5	0 : 100	0	30

หมายเหตุ: ใช้เยื่อที่ไม่ผ่านการบำบัดเนื่องจากอ้างอิงตามสภาวะของโรงงาน

2.4.2 นำเยื่อที่แต่ละสภาวะทำแผ่นทดสอบขนาด 120 กรัมต่อตารางเมตร ด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI T 205 Handsheet forming

2.4.3 นำแผ่นทดสอบทั้งหมดไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

- น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ตาม Tappi T 410 om-08
- ความหนา (Thickness) ตาม Tappi T 411 om-10
- ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตาม Tappi T 404 cm-92
- ความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตาม Tappi T 414 om-12
- ความต้านแรงวงแหวน (Ringcush) ตาม ISO 12192:2011

# 3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

## 3.1 การศึกษาความยาวของเส้นใยของเยื่อแต่ละประเภท

ผลอัตราส่วนของแต่ละ fraction ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 48, 100 และ 150 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเยื่อทั้งสองประเภทส่วนใหญ่ค้างบนตะแกรง No. 48 (ร้อยละ 60 – 70)

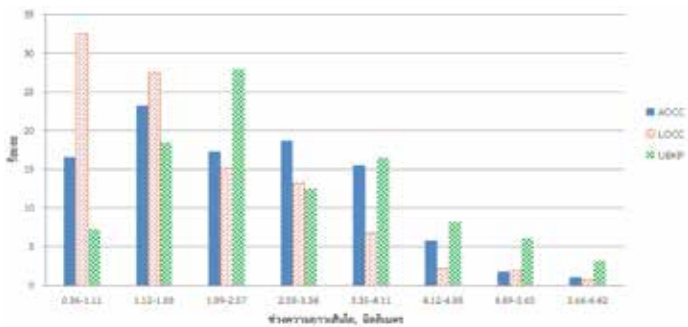
ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนของแต่ละ fraction ที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 48 100 และ 150 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อเริ่มต้น

ประเภทค้ำ	AOCC		LOCC	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
No. 48	71.4	72.7	62.8	61.5
No.48/100	6.2	6.2	12.7	14.5
No.100/150	5.0	5.0	6.0	6.3
Fine loss (No.150)	17.4	16.1	18.5	17.7

ความยาวของเส้นใยของเยื่อแต่ละประเภทแสดงตามตารางที่ 3 และรูปที่ 1 โดยมีการเปรียบเทียบค่ากับเยื่อ UBKP (Unbleached Softwood Kraft Pulp) ซึ่งเป็นเยื่อบริสุทธิ์

ตารางที่ 3 แสดงการกระจายของความยาวเส้นใยของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC, LOCC และ เยื่อบริสุทธิ์ UBKP

ชนิดของเยื่อ	ช่วงความยาวเส้นใย, มิลลิเมตร							
	0.36-1.11	1.12-1.88	1.89-2.57	2.58-3.34	3.35-4.11	4.12-4.88	4.89-5.65	5.66-6.42
	ร้อยละ							
AOCC	16.6	23.2	17.3	18.7	15.5	5.8	1.8	1.1
LOCC	32.5	27.5	15.2	13.2	6.8	2.2	1.9	0.7
UBKP	7.2	18.4	27.9	12.5	16.5	8.2	6.1	3.2



รูปที่ 1 แสดงร้อยละการกระจายของเส้นใยแต่ละช่วงความยาว ของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC, LOCC และเยื่อบริสุทธิ์ UBKP

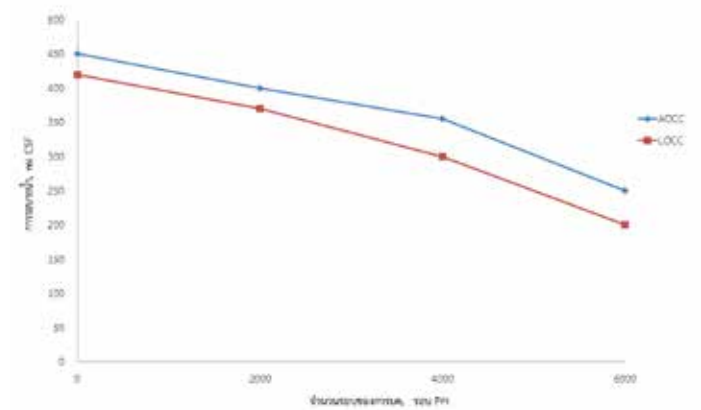
เมื่อใช้เกณฑ์แบ่งสัดส่วนเส้นใยยาวและสั้น พบว่าเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยที่มีความยาวในช่วง 2.58-6.42 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเส้นใยยาวร้อยละ 42.9 และเยื่อ LOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวร้อยละ 24.8 เมื่อเทียบกับสัดส่วนเส้นใยจากเยื่อบริสุทธิ์ UBKP ที่มีเส้นใยยาวอยู่ร้อยละ 46.5 พบว่าเยื่อ AOCC มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเยื่อ AOCC น่าจะใช้เป็นวัตถุดิบไปผสมกับเยื่อ LOCC แทนการใช้เยื่อบริสุทธิ์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเวียนทำใหม่ได้

### 3.2 การศึกษาผลการบดเยื่อ

ผลการบดเยื่อต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC แสดงในตารางที่ 4 และจากตารางที่ 4 สามารถแสดงในลักษณะของกราฟ โดยแยกแต่ละคุณสมบัติดังรูปที่ 2 ถึง 5

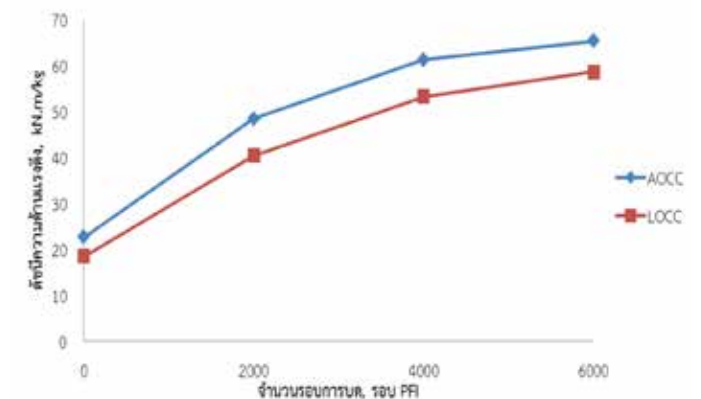
ตารางที่ 4 แสดงผลการบดเยื่อต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC

ประเภทของเยื่อ	0		2000		4000		6000	
	AOCC	LOCC	AOCC	LOCC	AOCC	LOCC	AOCC	LOCC
จำนวนรอบในการบด, รอบ PFI								
การระบายน้ำ, ml CSF	450	420	400	370	355	300	250	200
ดัชนีความต้านแรงดึง, kN.m/kg	22.6	18.4	48.4	40.4	61.3	53.2	65.3	58.6
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, N.m <sup>2</sup> /kg	12.0	10.4	13.7	11.5	15.0	10.3	13.5	9.2
ความต้านแรงกดวงแหวน, N	113	80	147	101	159	117	177	125



รูปที่ 2 แสดงค่าการระบายน้ำของเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

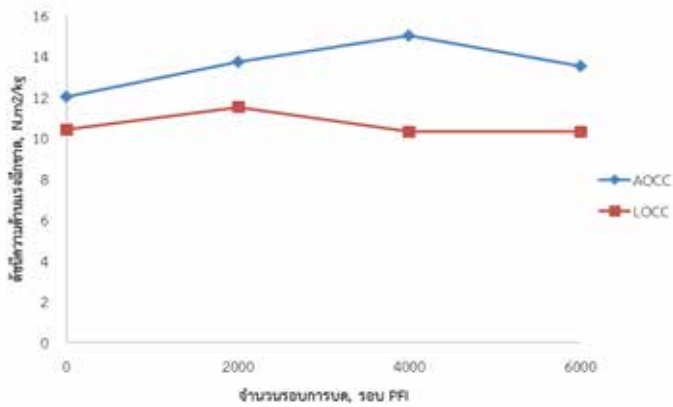
รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าที่จำนวนรอบการบดที่เท่ากัน ค่าการระบายน้ำของเยื่อ LOCC ลดลงมากกว่าเยื่อ AOCC เนื่องจากเยื่อ LOCC มีสัดส่วนเส้นใยสั้นมากกว่า ทำให้การบดเยื่อเป็นไปได้ง่ายกว่า เส้นใยจึงมีโอกาสแตกหักและเกิดเป็นเศษอนุภาคขนาดเล็กได้มากกว่าซึ่งจะไปขัดขวางการระบายน้ำ ทำให้ค่าการระบายน้ำลดลงรวดเร็วกว่าเยื่อ AOCC



รูปที่ 3 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

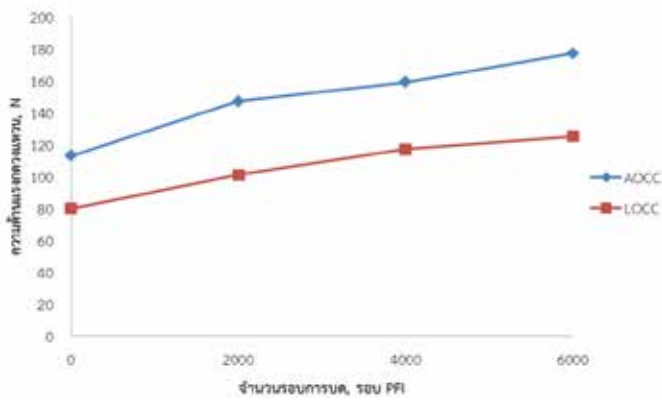
รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มรอบการบดมากขึ้น แนวโน้มค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยเกิดการแตกแขนง ช่วยให้มีพื้นที่ในการสานตัวกันของเส้นใยเพิ่มขึ้น และดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC เพิ่มขึ้นสูงกว่าเยื่อ LOCC เนื่องจากเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวสูง การบดช่วยเพิ่ม

การแตกแขนงเกิดเป็นไฟบริล แต่ไม่ทำลายความยาวของเส้นใย ต่างจากเยื่อ LOCC ที่สัดส่วนโดยมากเป็นเส้นใยสั้น แม้ว่าคาร์บดจะช่วยให้เกิดไฟบริลก็ตามแต่ก็ทำให้เส้นใยแตกหัก และสั้นลง ดัชนีความต้านแรงดึงจึงเพิ่มขึ้นไม่เท่ากับเยื่อ AOCC



รูปที่ 4 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มรอบบดมากขึ้นดัชนีความต้านแรงฉีกขาดจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากเส้นใยสานตัวกันได้ดีขึ้น แต่เมื่อบดนานขึ้นค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดจะลดลง เนื่องจากความยาวของเส้นใยถูกตัดให้สั้นลงและค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC สูงกว่าเยื่อ LOCC เพราะมีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่า เมื่อผ่านการบดเส้นใยจึงถูกตัดตั้น้อยกว่า ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดจึงสูงกว่าแผ่นทดสอบจากเยื่อ LOCC



รูปที่ 5 แสดงค่าความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC และ LOCC ที่ระดับการบดต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มรอบบดมากขึ้นค่าความต้านแรงกดวงแหวนของเยื่อจากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเส้นใยเกิดการแตกแขนง ช่วยให้เกิดการสานตัวกันระหว่างเส้นใยมากขึ้นและค่าความต้านแรงกดวงแหวนของแผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC เพิ่มขึ้นสูงกว่าเยื่อ LOCC เนื่องจากเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวสูงกว่า การบดช่วยเพิ่มพื้นที่การสานตัวกันของเส้นใย แต่ไม่ทำลายความยาวของเส้นใย

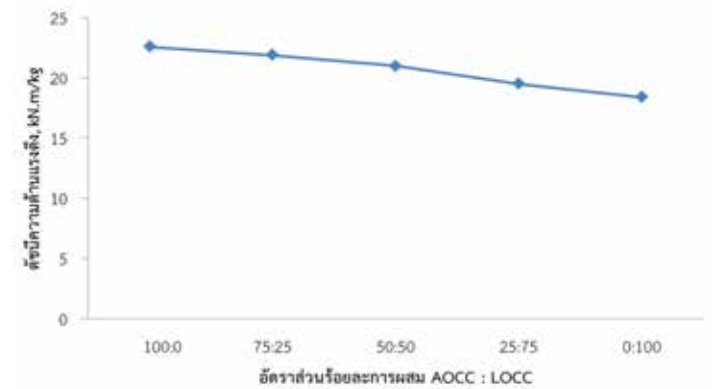
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มรอบการบดมากขึ้น คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อทั้งสองประเภทนั้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการบด พบว่าค่าความแข็งแรงมากพอที่จะขึ้นรูปเป็นกระดาษเวียนทำใหม่ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดขั้นตอนในการผลิตกระดาษเวียนทำใหม่ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เยื่อจากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าที่ไม่ผ่านการบดในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมต่อไป

### 3.3 ศึกษาหาอัตราส่วนการผสมระหว่างกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่จากการผสมระหว่างกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 5 และจากตารางที่ 5 สามารถแสดงในลักษณะของกราฟ โดยแยกแต่ละคุณสมบัติดังรูปที่ 6 ถึง 8

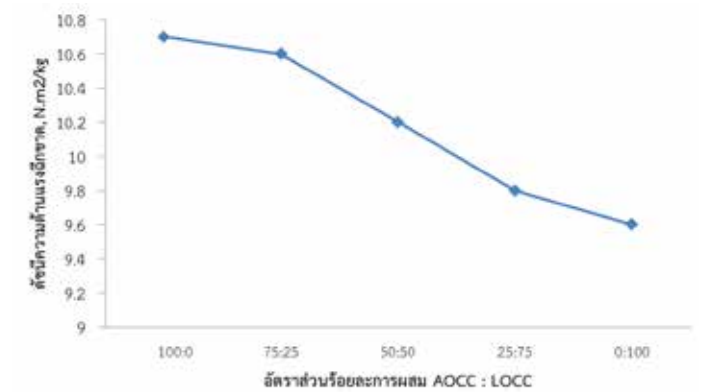
ตารางที่ 5 แสดงสมบัติทางการภาพของกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่จากการผสมระหว่างกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC ในอัตราส่วนต่างๆ

การทดสอบ	อัตราส่วนการผสม, ร้อยละ				
	AOCC: LOCC 100:0	AOCC: LOCC 75:25	AOCC: LOCC 50:50	AOCC: LOCC 25:75	AOCC: LOCC 0:100
ดัชนีความต้านแรงดึง, kN.m/kg	22.6	21.9	21.0	19.5	18.4
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, N.m²/kg	10.7	10.6	10.2	9.8	9.6
ความต้านแรงกดวงแหวน, N	123	120	115	95	80



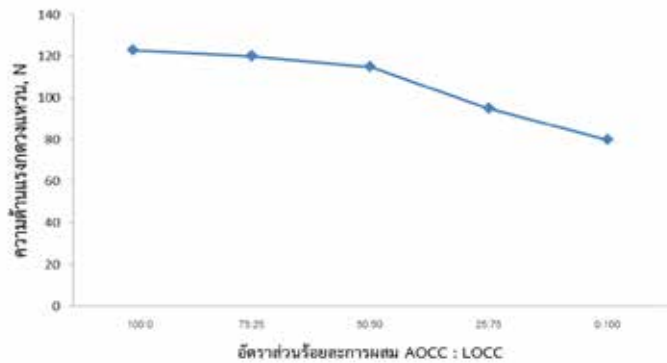
รูปที่ 6 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมระหว่าง AOCC และ LOCC ที่ อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนของเยื่อ AOCC ลดลงจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงดึงของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้ เนื่องจากอัตราส่วนเส้นใยยาวลดลง



รูปที่ 7 แสดงค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมระหว่าง AOCC และ LOCC ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนของเยื่อ AOCC ลดลงจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนเส้นใยยาวลดลง



รูปที่ 8 ความต้านแรงดึงความหนาของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมระหว่าง AOCC และ LOCC ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของเยื่อ AOCC ลดลงจะทำให้ค่าความต้านแรงดึงความหนาของแผ่นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนเส้นใยยาวลดลงและเมื่ออัตราส่วนเยื่อ AOCC ลดต่ำกว่าร้อยละ 50 ค่าความต้านแรงดึงความหนาจะลดลงต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด

#### 4. สรุป (Conclusion)

4.1 เยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่าเยื่อ LOCC และสัดส่วนเส้นใยยาวใกล้เคียงกับเยื่อ UBKP ซึ่งเป็นเยื่อบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงสามารถใช้เยื่อ AOCC เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษเวียนทำใหม่ แทนการใช้เยื่อบริสุทธิ์ได้

4.2 ผลจากการบดเยื่อที่ระดับต่างๆ จะทำให้ค่าระดับการระบายน้ำลดลงเนื่องจากการบดจะทำให้เส้นใยเกิดการแตกแขนง เพิ่มพื้นที่ในการสานตัวกันเป็นแผ่นและบางส่วนจะแตกหักเกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ดังนั้นที่ระดับการบดเยื่อจำนวนรอบเท่ากัน ค่าการระบายน้ำของเยื่อ LOCC จะลดลงมากกว่าเยื่อ AOCC เนื่องจากเยื่อ LOCC มีสัดส่วนเส้นใยสั้นมากกว่า ทำให้บดเยื่อได้ง่ายกว่า เส้นใยจึงมีโอกาสแตกหักและเกิดเป็นเศษอนุภาคขนาดเล็กได้มากกว่า ซึ่งจะไปขัดขวางการระบายน้ำ ทำให้ค่าการระบายน้ำลดลงเร็วกว่าเยื่อ AOCC ส่วนค่าดัชนีความแข็งแรงต่อการดึง, ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด และความต้านแรงดึงความหนาของแผ่นทดสอบที่ได้จากเยื่อ AOCC และ LOCC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่แผ่นทดสอบจากเยื่อ AOCC มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบที่ได้จากเยื่อ LOCC ที่ระดับการบดเยื่อเท่ากัน เนื่องจากเยื่อ AOCC มีสัดส่วนเส้นใยยาวมากกว่า เมื่อผ่านการบดเยื่อที่ระดับเท่ากันเส้นใยที่เกิดการแตกแขนง ช่วยให้เกิดการสานตัวกันระหว่างเส้นใยดีขึ้น และยังคงความยาวของเส้นใยไว้ได้ จึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นทดสอบได้มากกว่า ในขณะที่ LOCC ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยสั้น การบดทำให้เส้นใยแตกแขนง แต่จะเกิดการตัดเส้นใยในขณะเดียวกัน ค่าความแข็งแรงของแผ่นทดสอบจึงต่ำกว่าเยื่อ AOCC

4.3 ถึงแม้ว่าการบดเยื่อจะช่วยให้คุณสมบัติด้านความแข็งแรงสูงขึ้นก็ตาม แต่ในโรงงานผู้ผลิตกล่องจากเยื่อเวียนทำใหม่นี้ ใช้เยื่อที่ไม่ผ่านการบดเพื่อเป็นการลดต้นทุนของโรงงาน ดังนั้นจากการศึกษาในส่วนนี้พบว่า สามารถผลิตกระดาษเยื่อเวียนทำใหม่จากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC โดยอัตราส่วนผสมเยื่อกระดาษกล่องลูกฟูกเก่า AOCC และ LOCC จะต้องใช้อัตราส่วนของกระดาษกล่องลูกฟูกเก่า AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะได้กระดาษที่ผ่านมาตรฐานกระดาษทำลูกฟูกตาม มอก. 321-2530 ที่โรงงานใช้อยู่ซึ่งกำหนดเกณฑ์ให้ค่าความต้านแรงดึงความหนาสำหรับกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร ต้องไม่น้อยกว่า 95 นิวตัน โดยผลการทดลอง พบว่า ถ้าอัตราส่วนผสมเยื่อ AOCC: LOCC มีเยื่อ AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะมีค่าความต้านแรงดึงความหนาของแผ่นทดสอบมากกว่า 115 N ส่วนความแข็งแรง

ด้านการต้านแรงดึงและต้านแรงฉีกขาด ไม่มีการกำหนดในมาตรฐานของ มอก. สำหรับกระดาษทำลูกฟูก เนื่องจากกระดาษทำลูกฟูก ใช้ทำลอนตรงกลางจึงไม่ได้รับแรงดึงหรือแรงฉีกขาดโดยตรง โดยผลการทดลอง พบว่า ถ้าอัตราส่วนผสมเยื่อ AOCC: LOCC มีเยื่อ AOCC มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะมีค่าดัชนีความต้านแรงดึงมากกว่า 20 kN•m/kg และดัชนีความต้านแรงฉีกขาดมากกว่า 10 N•m<sup>2</sup>/kg ผลงานวิจัยครอบคลุมสำหรับการผลิตกระดาษชนิดอื่นๆ ด้วย ภาคอุตสาหกรรมสามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษชนิดอื่นๆต่อไป

#### 5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. ใน: *เอกสารการอบรมเรื่องเทคโนโลยีการผลิตเยื่อและกระดาษ รุ่นที่ 2 15-17 มิถุนายน 2542*. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2542.
- [2] รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ และ ชีระชัย รัตนโรจน์มงคล. กระดาษรีไซเคิล. ใน: *เอกสารการอบรมเรื่อง เทคโนโลยีการผลิตเยื่อและกระดาษ รุ่นที่ 2 15-17 มิถุนายน 2542*. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2542.
- [3] สมชาติ รุ่งอินทร์. *ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบเยื่อและกระดาษและคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ*. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2528.
- [4] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 233 cm-15: *Fiber length of pulp by classification*
- [5] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. TAPPI T 205 *Handsheet forming*
- [6] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 410 om-08: *Grammage of Paper And Paperboard (weight per unit area)*
- [7] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 411 om-10: *Thickness (caliper) of Paper, Paperboard, And Combined Board*
- [8] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 404 cm-92: *Tensile Breaking Strength and Elongation of Paper and Paperboard (using Pendulum-type Tester)*
- [9] TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard. T 414 om-12: *Internal Tearing Resistance of Paper (Elmendorf-Type Method)*
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 12192:2011, *Paper and board -- Determination of compressive strength -- Ring crush method*
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 321-2530. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษทำลูกฟูก*
- [12] CHEN Y., J. WAN, Q. WU, Y. MA and M. HUANG. Effect of recycling on fundamental properties of hardwood and wheat straw pulp fibers, and of handsheets made thereof. *Cellulose chemistry and technology, 2016, 50(9-10), 1061-1067.*
- [13] BIRICIK Y. and C. ATIK. Effect of cellulase treatment of long fiber fraction on strength properties of recycled corrugated medium. *African Journal of Biotechnology, 2012, 11(58), 12199-12205.*