โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การผลิตและพัฒนากระดาษเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์

Production and development of paper form coir fibers for packaging

ชื่อนิสิต นายปริชญ์ ทิพยรัตน์ **เลขประจำตัว** 5832623423

นางสาวศริยา คุ้มวงษ์ **เลขประจำตัว** 5832640023

นางสาวสุรีย์ ใหญ่แก้ว **เลขประจำตัว** 5832646923

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ปีการศึกษา 2561

การผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์
Production and development of paper from coir fibers for packaging

นิสิตผู้รับผิดชอบโครงการ
นายปริชญ์ ทิพยรัตน์ รหัสประจำตัวนิสิต 5832623423
นางสาวศริยา คุ้มวงษ์ รหัสประจำตัวนิสิต 5832640023
นางสาวสุรีย์ ใหญ่แก้ว รหัสประจำตัวนิสิต 5832646923

รายงานโครงการวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิจัย	การผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์ Production and development of paper from coir fibers for packaging
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายปริชญ์ ทิพยรัตน์ รหัสประจำตัวนิสิต 5832623423 นางสาวศริยา คุ้มวงษ์ รหัสประจำตัวนิสิต 5832640023 นางสาวสุรีย์ ใหญ่แก้ว รหัสประจำตัวนิสิต 5832646923
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับว่าโครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่อง “การผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์” เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

.....หัวหน้าภาควิชา
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ)

ชื่อนิสิต 1. นายปริชญ์ ทิพยรัตน์ รหัสประจำตัวนิสิต 5832623423
2. นางสาวศริยา คุ้มวงษ์ รหัสประจำตัวนิสิต 5832640023
3. นางสาวสุรีย์ ใหญ่แก้ว รหัสประจำตัวนิสิต 5832646923
ชื่อโครงการ การผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวทั้งจากมะพร้าวแก่และมะพร้าวอ่อนสำหรับบรรจุภัณฑ์ โดยใช้กระบวนการแช่เยื่อในเมทานอล และต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เข้มข้นร้อยละ 12 และ 15 โดยมวลต่อปริมาตร ที่ระยะเวลาในการต้ม 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อพบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวแก่ที่แช่เส้นใยในเมทานอลเป็นเวลา 4 วัน แล้วนำมาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตร และกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนที่แช่เส้นใยในด้วยเมทานอลเป็นเวลา 1 วัน แล้วนำต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร มีความต้านทานแรงดึงมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวทั้งสองชนิดพบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวแก่ให้คุณสมบัติในด้านของความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงฉีก และความต้านทานแรงกดวงแหวน ส่วนกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนจะให้คุณสมบัติที่ดีในด้านความขาวสว่าง (Brightness) และจากผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกันจำนวน 30 คน พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผิวสัมผัส สี และลวดลายที่สวยงามของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกาบมะพร้าว นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกาบมะพร้าวยังสามารถตอบสนองต่อการเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้

คำสำคัญ มะพร้าว เส้นใย กระดาษ บรรจุภัณฑ์
ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต.....ปริชญ์ ทิพยรัตน์.....
ลายมือชื่อนิสิต.....ศริยา คุ้มวงษ์.....
ลายมือชื่อนิสิต.....สุรีย์ ใหญ่แก้ว.....
ลายมือชื่ออาจารย์.....

Student name Mr. Parich Thipayarata ID No.5832623423
Ms. Sariya Kumwong ID No.5832640023
Ms. Suree Yaikaew ID No.5832646923
Project Production and development of paper from coir fibers for packaging
Project advisor Dr.Kuntinee Suvarnakich

Abstract: This Project aims to study the production and development of paper from young and mature coconut coir fibers for packaging. The coir fibers were soaked in methanol before further pulped using 12% and 15% sodium hydroxide (w/v) at 120ºC for 1 hour. It was found that the optimal pulping condition for young coconut coir fibers was 4 days soaking in methanol and pulping using 15% sodium hydroxide, whereas the optimal pulping condition for mature coconut coir fibers was 1 day soaking in methanol and pulping using 12%sodium hydroxide. The results also showed that the paper produced from mature coconut fiber had better tensile strength, tear resistance and ring crush resistance, while the paper produced from young coconut fiber gave good brightness. The consumer satisfaction survey of a group of 30 people showed that consumers were most satisfied with the texture, color and beautiful patterns of the packaging made from coconut-commercial pulp mixture. Consumers also felt that packaging made with paper containing coconut fiber are environmentally friendly.

Keywords: Coconut, Fiber, Paper, Packaging
Department: Department of Imaging and Printing Technology
Academic year: 2018

Student signature.....Parich Thipayarata.....
Student signature.....Sariya Kumwong.....
Student signature.....Suree Yaikaew.....
Project advisor.....Kuntinee Suvarnakich.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์ เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีเพื่อเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2561 ของภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โครงการนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้หากขาดความอนุเคราะห์จากอาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้ข้อมูล คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ระหว่างปฏิบัติโครงการมาโดยตลอดจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี พี่สมชาย ภวชินวร ที่ให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการทุกด้าน อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ทุกท่านที่คอยสอบถามถึงความคืบหน้า คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนในโครงการวิจัย รวมทั้งเพื่อนนิสิตชั้นปีที่ 4 ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ผู้วิจัยหวังว่าโครงการฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่มีความสนใจไม่มากก็น้อย ประโยชน์และคุณค่าของโครงการนี้คณะผู้จัดทำขอมอบแก่ครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนในการทำโครงการวิจัยนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับความผิดพลาด และพร้อมรับคำแนะนำจากทุกท่านที่เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงการต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
มะพร้าว (Coconut)	3
เคมีของเส้นใย	4
การผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีเคมี (Chemical pulping)	6
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	10
วัตถุดิบและสารเคมี	15
วิธีการดำเนินการทดลอง	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
การหาจำนวนวันที่เหมาะสมสำหรับการแช่เส้นใยกาบมะพร้าวด้วยเมทานอล	20
การหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับต้มเส้นใยกาบมะพร้าว	21
การผลิตกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวและเยื่อการค้า	22
การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง
สรุปผลการทดลอง 28
ข้อเสนอแนะ 28
บรรณานุกรม 29
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 30
ภาคผนวก ข 38

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อน 4
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว 5
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว (wt%) 5
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว 7
ตารางที่ 2.5 สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวแตกต่างกัน 8
ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว 8
ตารางที่ 2.7 สมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยมะพร้าวที่มีความยาวต่างกัน 9
ตารางที่ 2.8 ลักษณะเส้นใยของใยมะพร้าว 9
ตารางที่ 4.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile stength) ของกระดาษที่แช่เมทานอลที่จำนวนวันต่างกัน 20
ตารางที่ 4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile stength) ของกระดาษที่เส้นใยต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน 21
ตารางที่ 4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงแสงของกระดาษ 22
ตารางที่ 4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษ 24
ตารางที่ 4.5 ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน 26
ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness) 30
ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงแสงของกระดาษ 31
ตารางที่ ก-3 ผลการทดสอบความเรียบของกระดาษ (Smoothness) 32
ตารางที่ ก-4 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษ (Tensile strength) 33
ตารางที่ ก-5 ผลการทดสอบความต้านทางต่อแรงฉีกของกระดาษ (Tear resistance) 34
ตารางที่ ก-6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษ (Ring crush resistance) 35

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก-7 ผลสำรวจความพึงพอใจด้านความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ 36
ตารางที่ ก-8 ผลสำรวจความพึงพอใจด้านความสวยงามของสีสันและลวดลาย 36
ตารางที่ ก-9 ผลสำรวจความพึงพอใจต่อผิวสัมผัสของบรรจุภัณฑ์ 37
ตารางที่ ก-10 ผลสำรวจความพึงพอใจด้านการตอบสนองต่อการเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม 37

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเมทานอล (CH_3OH)	6
ภาพที่ 3.1 เครื่องบดชิ้นไม้	10
ภาพที่ 3.2 เครื่องบดเยื่อ	10
ภาพที่ 3.3 เครื่องหาสภาพระบายได้	11
ภาพที่ 3.4 เครื่องตีกระจายเยื่อ	11
ภาพที่ 3.5 เครื่องต้มเยื่อ	12
ภาพที่ 3.6 ตู้อบ	12
ภาพที่ 3.7 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษอัตโนมัติ	12
ภาพที่ 3.8. เครื่องวัดความชื้น	13
ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความหนา	13
ภาพที่ 3.10 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง	13
ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก	14
ภาพที่ 3.12 เครื่องวัดความเรียบ	14
ภาพที่ 3.13 เครื่องวัดความต้านทานแรงกดวงแหวน	14
ภาพที่ 3.14 การบดเยื่อ	16
ภาพที่ 3.15 ขนาดเส้นใยจากการการร่อนแยกด้วยตะแกรง	16
ภาพที่ 3.16 การต้มเส้นใยกาบมะพร้าว	17
ภาพที่ 3.17 การล้างเยื่อ	17
ภาพที่ 3.18 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์	19
ภาพที่ ข-1 ตัวอย่างแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค	38

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญกับประเทศ เนื่องจากมีการปลูกและส่งออกเป็นจำนวนมาก ส่วนประกอบของมะพร้าวได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน แม้ว่ากาบมะพร้าวจะเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์เช่นเดียวกัน แต่ก็ยังมีส่วนที่เหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก จึงได้เกิดงานวิจัยเพื่อนำกาบมะพร้าวที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าให้มากที่สุด โดยการนำมาทำเป็นเยื่อที่ใช้สำหรับผลิตกระดาษ

การใช้เยื่อจากกาบมะพร้าวค่อนข้างได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยแต่ละงานวิจัยได้มีการศึกษาความเหมาะสมของเส้นใยจากกาบมะพร้าวที่เหมาะสำหรับนำไปผลิตเยื่อ โดย สุภา จุฬคุปต์ [2] ได้ทำการศึกษาหาความเป็นไปได้ในการนำใยมะพร้าวไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ โดยใช้กระบวนการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาวโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าเส้นใยมะพร้าวมีศักยภาพที่จะนำมาทำแผ่นกระดาษเพื่อใช้ประโยชน์และสามารถต้านทานแรงดันทะลุและแรงฉีกขาดได้ Rajan และ Abraham [6] ได้ทำการศึกษากระบวนการและความเหมาะสมของเส้นใยมะพร้าว โดยให้ความสนใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของเส้นใยในด้านโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีเป็นหลัก โดยได้เส้นใยที่มีความยาวมากสุดถึง 35 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-1 มิลลิเมตร เส้นใยมีผนังเซลล์ที่แข็งแรงจากการยึดเกาะประสานกันของเซลลูโลสในเส้นใย ทำให้เส้นใยทนต่อสารเคมีและแรงทางกายภาพ นอกจากนี้เส้นใยยังมีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น สามารถกันน้ำ และทนแรงเชิงกลได้ Main และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของเส้นใยมะพร้าวเพื่อเป็นนำไปผลิตเยื่อและกระดาษ จากผลการวิเคราะห์พบว่าเส้นใยเป็นเส้นใยสั้นมีความยาวเฉลี่ย 0.84 มิลลิเมตร ความกว้าง 20.09 ไมโครเมตร ความหนาของผนังเซลล์ 4.41 ไมโครเมตร และเส้นใยมีความยืดหยุ่น ซึ่งสามารถให้ผลผลิตเยื่อกระดาษที่มีค่าการฉีกขาดและต้านทานแรงดึงที่ยอมรับได้ จากที่กล่าวมาในข้างต้น จะเห็นได้ว่ายังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบการผลิตเยื่อและกระดาษของเส้นใยจากกาบมะพร้าวแก่และกาบมะพร้าวอ่อน จึงทำให้เกิดความสนใจในการผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อของกาบมะพร้าว ทั้งมะพร้าวอ่อนและมะพร้าวแก่ที่ผลิตด้วยวิธีโซดาที่ภาวะต่างกัน จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาผสมกับเยื่อทางการค้าด้วยอัตราส่วนเส้นใยที่แตกต่างกัน และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เพื่อหาความเหมาะสมในการนำกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวไปใช้สำหรับการทำเป็นบรรจุภัณฑ์

วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตกระดาษจากเส้นใยมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการทำบรรจุภัณฑ์ และเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวสองชนิดที่อัตราส่วนต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลในการผลิตกระดาษจากใยของกาบมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ

2. ได้ผลิตภัณฑ์กระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับนำไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์

3. เป็นการนำส่วนเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาสร้างมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์สูงสุด โดยการนำมาผลิตกระดาษที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างอาชีพและส่งเสริมเกษตรกรที่ปลูกต้นมะพร้าว

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะพร้าว (Coconut)

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Cocos nucifera L. เป็นพืชชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูล Palmae [1]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นพืชยืนต้น ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบแบบขนนกจะมีรอยแผลจากการหลุดร่วงของใบตลอดลำต้น สามารถคำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้จากรอยแผลนี้ และใบประกอบด้วยก้านทาง (rechis) มีขนาดใหญ่และยาว และมีใบย่อย (leaflet) บนก้านทางประมาณ 200-250 ใบ ระบบรากเป็นรากฝอยแผ่กระจายออกรอบลำต้น มีลำต้นเดียวไม่แตกแขนง ลักษณะของผลเป็นแบบไฟบรัส ดรูป (Fibrous drupe) ผลกลมโตมีเปลือกเป็นเส้นใยหนา เปลือกมี 3 ชั้น คือ

1. เปลือกชั้นนอก (exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลืองหรือน้ำตาล
2. เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ
3. เปลือกชั้นใน (endocarp) มีลักษณะแข็งหรือที่เรียกกันว่า กะลา

2.1.2 ประเภทของมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชผสมข้ามพันธุ์ แต่ละต้นจึงไม่เป็นพันธุ์แท้ อาศัยหลักทางการผสมพันธุ์ที่เป็นไปโดยธรรมชาติ อาจแบ่งมะพร้าวออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทต้นเตี้ย และประเภทต้นสูง [4]

1. ประเภทต้นเตี้ย มะพร้าวประเภทนี้มีลำต้นเล็ก โคนต้นไม่มีสะโพก ต้นเตี้ย โตเต็มที่สูงประมาณ 12 เมตร ทางใบสั้น ถ้ามีการดูแลปานกลางจะเริ่มให้ผลเมื่ออายุ 3-4 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 35-40 ปี มีการผสมตัวเองค่อนข้างสูงจึงมักให้ผลดกและไม่ค่อยกลายพันธุ์ส่วนใหญ่นิยมปลูกไว้เพื่อรับประทานผลอ่อน เพราะในขณะที่ผลยังไม่แก่ อายุประมาณ 4 เดือน เนื้อมีลักษณะอ่อนนุ่มและน้ำมีรสหวาน บางพันธุ์น้ำมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม

2. ประเภทต้นสูง มะพร้าวประเภทนี้ลำต้นใหญ่ โคนต้นมีสะโพกใหญ่ ต้นสูง โตเต็มที่สูงประมาณ 18 เมตร ทางใบใหญ่และยาว ถ้ามีการดูแลปานกลางจะเริ่มให้ผลเมื่ออายุ 5-6 ปี อายุยืนให้ผลผลิตนานประมาณ 80 ปี ตามปกติมะพร้าวต้นสูงจะผสมข้ามพันธุ์ คือ ในแต่ละช่อดอก (จั่น) ดอกตัวผู้จะค่อย ๆ ทยอยบาน และร่วงหล่นไปหมดก่อนที่ดอกตัวเมียในจั่นนั้นจะเริ่มบาน จึงไม่มีโอกาสผสมตัวเอง มะพร้าวประเภทนี้เป็นมะพร้าวเศรษฐกิจส่วนใหญ่ปลูกเป็นสวนอาชีพ เพื่อใช้เนื้อจากผลแก่ไปประกอบอาหาร หรือเพื่อทำมะพร้าวแห้งใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช

2.2 เคมีของเส้นใย (Fiber chemistry)

สาคร ชลสาคร [3] ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยวิธีการวิเคราะห์เยื่อใย เรียกว่า Detergent analysis ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนมีปริมาณเซลลูโลสสูงถึงเกือบร้อยละ 50 และเนื่องจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ จึงทำให้มีส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) ร้อยละ 86.97 และมีเฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 2.04 เป็นส่วนประกอบของเปลือก ส่วนลิกนินมีสูงถึงร้อยละ 36.80

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อน

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
เถ้า (Ash), %	0.98
ผนังเซลล์ (NDF), %	86.97
ลิกนินเซลลูโลส (ADF), %	84.93
ลิกนิน (ADL), %	36.80
เซลลูโลส (Cellulose), %	46.70
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), %	2.04

Rajan and Abraham [6] ได้ทำการศึกษากระบวนการและความเหมาะสมของเส้นใยมะพร้าว โดยจะเน้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของเส้นใยในด้านโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมี จากสัณฐานวิทยาของเส้นใยแสดงให้เห็นโครงสร้างภายในของเส้นใย เส้นใยมีผนังเซลล์ที่แข็งแรงจากการยึดเกาะประสานกันของเซลลูโลสในเส้นใย ทำให้เส้นใยทนต่อสารเคมีและแรงทางกายภาพ เส้นใยอาจมีความยาวได้มากสุดถึง 35 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3-1 มม. โดยวัดจากช่วงกลางของความยาว (ตารางที่ 2.2) เส้นใยมีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น กันน้ำ และทนแรงเชิงกล นอกจากจะเป็นเส้นใยเซลลูโลสแล้ว ยังมีลิกนินและสารอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างเซลล์ เส้นใยอ่อนจะมีสีขาวและมีสีเหลือง เมื่อแห้งจะมีสีเข้มขึ้นและมีสีน้ำตาลแดง และจากการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยแสดงให้เห็นว่าเส้นใยมีการสลายตัวแบบสองขั้นตอนและมีการสลายตัวระหว่าง 190 ถึง 230 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว

สมบัติของเส้นใย	ค่าที่วัดได้
Length in cm	15-20
Diameter (μm)	100-450
Density (g/cm^3)	1.15
Tenacity (g/tex)	10.0
Tensile strength (MPa)	131-175
Young's modulus (GPa)	4-6
Elongation at break (%)	15-40
Swelling in water (%)	6-8.5

เมื่อทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเส้นใยมะพร้าว (ตารางที่ 2.3) พบว่าเส้นใยมะพร้าวสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เนื่องจากเส้นใยมีปริมาณลิกนินอยู่มากเมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น ๆ โดยเส้นใยมะพร้าวมีข้อดี ดังนี้

- เป็นองค์ประกอบทางธรรมชาติ 100%
- ย่อยสลายทางชีวภาพ
- มีอยู่มากในธรรมชาติ
- สามารถกักเก็บน้ำได้
- ทนการกัดกินของแมลง ทนการเน่าเปื่อย
- เป็นฉนวนกันความร้อนและเสียง

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว (wt%)

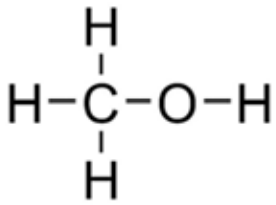
องค์ประกอบของเส้นใย	ปริมาณที่วัดได้
Lignin	41-45
Cellulose	36-43
Pectin	3-4
Hemicellulose	0.15-0.25
Microfibrillar/spiral angle (Deg.)	41-45
Moisture content	8.0

2.3 การผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีเคมี (Chemical pulping)

กระบวนการทางเคมี (Chemical refining) เป็นกระบวนการปรับปรุงเส้นใยพืชด้วยการใช้สารเคมี เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ เกิดการสลายตัวของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในเส้นใยพืชได้ วิธีนี้มีจุดเด่น คือ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการขจัดลิกนิน แต่ผลเสียของวิธีนี้ คือ มีค่าใช้จ่ายสูง สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ สารออกซิไดซ์ ด่าง กรดตและตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ เช่น sodium hydroxide, hydrochloric acid, sulphur dioxide และ ethanol เป็นต้น

2.3.1 เมทานอล (Methanol)

เมทานอลมีสถานะเป็นของเหลว ระเหยง่าย ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนหวานเหมือนเอทิลแอลกอฮอล์ สามารถผสมกับน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ไอระเหยหนักกว่าอากาศเล็กน้อยและอาจเดินทางไปในระยะทางที่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดประกายไฟและย้อนกลับมา ใช้ทำสารเคมีกำจัดน้ำออกจากยานยนต์และเชื้อเพลิงการบิน เป็นตัวทำละลายสำหรับสีและพลาสติก และเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเมทานอล (CH_3OH)

2.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ นิยมนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นฐานของสารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสิ่งทอ น้ำดื่ม ผงซักฟอก และเยื่อกระดาษ เป็นต้น ในรูปของสารบริสุทธิ์มีสถานะเป็นของแข็งสีขาวมีทั้งแบบเม็ดและสารละลายอิ่มตัว 50% ละลายในน้ำได้ดี โดยมีการปลดปล่อยความร้อน และยังละลายในเอทานอลรวมทั้งเมทานอล [10]

โซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษคราฟท์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของ “White liquor” ร่วมกับโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อใช้แยกพันธะระหว่างลิกนิน และเซลลูโลส และถูกนำมาใช้สำหรับขั้นตอนแรกในการผลิตเส้นใย โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำให้เซลลูโลสบวมและอาจละลายเซลลูโลสในช่วงแคบ ๆ ของไดอะแกรมเฟส พบว่าสำหรับเซลลูโลสที่มีระดับพอลิเมอไรเซชันในระดับต่ำถึงปานกลางจะมีการละลายสูงสุดเกิดขึ้นกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ [8]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภา จุฬคุปต์ [2] ได้ทำการศึกษาหาความเป็นไปได้ในการนำใยมะพร้าวไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ โดยใช้กระบวนการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำหนักเส้นใยแห้ง และนำเส้นใยมะพร้าวที่ได้ไปฟอกขาวโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6% 9% และ 12% ตามลำดับ จากนั้นจึงนำเส้นใยไปทดสอบเพื่อหาเส้นใยที่เหมาะสมมาใช้ในการผลิตกระดาษ โดยจากผลการศึกษา พบว่าใยมะพร้าวมีศักยภาพที่จะสามารถนำมาทำแผ่นกระดาษเพื่อใช้ประโยชน์ สามารถต้านทานแรงดันทะลุและแรงฉีกขาดได้ แต่ต้องใช้ร่วมกับสารช่วยยึดติด หรือซ้อนแผ่นร่วมกับเยื่อกระดาษชนิดอื่น เพื่อช่วยในการประสานเส้นใยเข้าด้วยกัน เนื่องจากใยมะพร้าวมีความแข็งแรง แต่ไม่มีความสามารถในการประสานหรือยึดเกาะเส้นใยกันเอง

Bujang และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาวัสดุคอมโพสิตหรือพลาสติกเสริมแรงพอลิเอสเตอร์ที่เสริมด้วยเส้นใยมะพร้าว ทำให้สามารถอ้างอิงข้อมูลของเส้นใยมะพร้าวได้จากทฤษฎีงานวิจัยนี้ โดยพื้นฐานแล้วเส้นใยมะพร้าวที่ได้จากเปลือกมะพร้าว เมื่อผ่านกระบวนการแยกแล้วเส้นใยจะถูกทำให้แห้งโดยใช้เตาอบอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C ถึง 80 °C เพื่อหลีกเลี่ยงการย่อยสลายเส้นใยจึงต้องนำเส้นใยไปผ่านกระบวนการ โดยการใช้เส้นใยใส่ในสารละลาย NaOH 5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเส้นใยไปล้างด้วยน้ำเพื่อล้าง NaOH ก่อนนำไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 70 °C ถึง 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเส้นใยแช่ลงในสารละลาย Silane 95% และเมทานอล 5% เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเสร็จสิ้นการอบแห้งเส้นใยมะพร้าวแล้ว จึงนำเส้นใยที่ได้ใส่เข้าไปในเครื่องตัดเพื่อตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ (เรียกกระบวนการนี้ว่า whickers) ให้มีความยาวน้อยกว่า 10 มม. เพื่อให้สามารถนำเส้นใยไปใช้ผสมได้ทันที โดยคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว

สมบัติของเส้นใย	ค่าที่วัดได้
Density (g/ cm^3)	1.2
Elongation at break (%)	30
Tensile strength (MPa)	175
Young modulus (GPa)	4-6
Water absorption (%)	130-180

จากผลงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณเส้นใยมะพร้าวมีผลต่อสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติเชิงพลวัตของคอมโพสิต คุณสมบัติทั้งสองขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยอย่างมาก โดยปริมาณเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 5 จะให้ผลที่ดีที่สุด ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสยังลดลงด้วยการรวมตัวกันของเส้นใย และการเพิ่มขึ้นของเส้นใยมะพร้าวจะทำให้คอมโพสิตมีแนวโน้มที่จะมีความแข็งและความเหนียวต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวแตกต่างกัน

Fiber content (vol%)	Tensile Strength (MPa)	Failure Strain (%)	Young Modulus (MPa)
5	24.8	3.9	633
10	21.9	4.8	461.4
15	19.8	6.1	318.8

Reddy,และ Yang [7] ได้นำเส้นใยมะพร้าวมาศึกษาการหมักด้วยสารเคมีและเอนไซม์ควบคู่กัน ซึ่งการหมักจะใช้วิธีการแช่ brackish water ระยะเวลา 3-6 เดือน หรือแช่ในน้ำเกลือ (salt water) ใช้ระยะเวลา 10-12 เดือน จากนั้นนำเส้นใยมาแยกสกัดด้วยการทุบ จนได้เส้นใยที่มีความละเอียด นอกจากนี้ในบางครั้งก็ยังมีการแยกสกัดเส้นใยด้วยวิธีการทางเชิงกลแบบดั้งเดิมด้วยวิธีการทุบ แล้วนำมาแช่ต่อด้วยน้ำอีก 5 วัน ก็จะได้เส้นใยทีมีคุณภาพดีเช่นกัน ส่วนวิธีการแยกสกัดเส้นใยด้วยการใช้เอนไซม์นั้น นับเป็นวิธีการแยกสกัดเส้นใยที่ใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่ สามารถแยกสกัดเส้นใยที่สะอาด ละเอียด และอ่อนนุ่ม ซึ่งได้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว

ความหนาแน่น (g/cm^3)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	ความต้านทานต่อแรงดึง (g/den)	ความยืดตัวก่อนขาด (%)	ความเค้น (g/den)
1.10	100-450	1-1.3	15-40	31-46
-	130-72	0.6-1.0	37-63	30-46

ตารางที่ 2.7 สมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยมะพร้าวที่มีความยาวต่างกัน

ความยาว (mm)	ความต้านทานต่อแรงดึง (g/den)	ความยืดตัวก่อนขาด (%)	ความเค้น (g/den)
5	0.7-1.5	36.1-83.7	6.9-13.1
10	0.8-1.4	18.2-50	12.3-18.5
20	0.6-1.4	17.8-42	12.3-23.1
25	0.6-1.2	12.5-37.5	13.9-27.7

Main และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของเส้นใยมะพร้าวเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับนำไปผลิตเยื่อและกระดาษ โดยใช้กระบวนการหมักเพื่อให้เส้นใยคงสภาพอยู่ จากผลการวิเคราะห์พบว่าเส้นใยเป็นเส้นใยสั้นที่มีความยาวเฉลี่ย 0.84 มิลลิเมตร ความกว้าง 20.09 ไมโครเมตร ความกว้าง 13.59 ไมโครเมตร และความหนาของผนังเซลล์ 4.41 ไมโครเมตร มีความยืดหยุ่น ดังตารางที่ 2.8 นอกนี้เส้นใยที่ผ่านกระบวนการโดยใช้ Soda-AQ ร่วมกับ Active Alkali ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยได้ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของ Active Alkali ในเวลาที่แตกต่างกัน ยกเว้นค่าความทึบแสง ซึ่งสามารถให้ผลผลิตเยื่อกระดาษที่มีค่าการต้านทานการฉีกขาดและการดึงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 2.8 ลักษณะเส้นใยของใยมะพร้าว

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ย	ช่วงต่ำสุด-สูงสุด
Fiber length (L), mm	0.84 ± 0.17	0.48-1.50
Fiber width (d), μm	20.09 ± 3.84	10.12-28.87
Lumen width (l), μm	13.59 ± 3.26	6.75-21.76
Cell wall thickness (w), μm	4.41 ± 1.14	1.69-7.54
Runkel ratio (2w/d)	0.65 ± 0.26	0.22-1.50
Felting power (L/d)	41.48 ± 12.18	21.99-85.44
Flexibility ratio ((l/d)x100)	67.68 ± 8.61	44.47-93.31

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

โครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่อง การผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระดาษจากเส้นใยมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการทำบรรจุภัณฑ์ และเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวสองชนิดที่อัตราส่วนต่างกัน ได้ดำเนินการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องบดชิ้นไม้ (Beltech Mill Beltech Disk Milling Machine) บริษัท เบ็ลท แอนด์ แบริ่งส์ จำกัด

ภาพที่ 3.1 เครื่องบดชิ้นไม้

2. เครื่องบดเยื่อ (Valley beater) ยี่ห้อ UEC รุ่น UEC-2018A บริษัท Universal Engineering Corporation ประเทศอินเดีย

ภาพที่ 3.2 เครื่องบดเยื่อ

3. เครื่องหาสภาพระบายได้ (Freeness tester) ยี่ห้อ Regmed รุ่น CF/A บริษัท Regmed ประเทศบราซิล

ภาพที่ 3.3 เครื่องหาสภาพระบายได้

4. เครื่องตีกระจายเยื่อ ยี่ห้อ FORMAX Standard Pulp Disintegrator บริษัท Adirondack Machine Corporation

ภาพที่ 3.4 เครื่องตีกระจายเยื่อ

5. เครื่องต้มเยื่อ (Autoclave Digester)

ภาพที่ 3.5 เครื่องต้มเยื่อ

6. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Venticell III R บริษัท MMM Medcenter ประเทศเยอรมนี

ภาพที่ 3.6 ตู้อบ

7. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษอัตโนมัติ (Sheet former) ยี่ห้อ PTI รุ่น RK-2A KWT บริษัท PTI Laboratory Equipment ประเทศออสเตรีย

ภาพที่ 3.7 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษอัตโนมัติ

8. เครื่องวัดความชื้น (Moisture determination balance) ยี่ห้อ KETT รุ่น FD600

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดความชื้น

9. เครื่องวัดความหนา (Thickness gauge) ยี่ห้อ Frank ประเทศเยอรมนี

ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความหนา

10. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile tester) ยี่ห้อ Toyo Seiki รุ่น Strograph E-S บริษัท Toyo Seiki Co.,Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

ภาพที่ 3.10 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงดึง

11. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear tester) แบบ Pendulum ยี่ห้อ Thwing Albert รุ่น Protear บริษัท Thwing-Albert Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก

12. เครื่องวัดความเรียบ (Smoothness tester) ยี่ห้อ Toyo Seiki รุ่น Digi-Bekk บริษัท Toyo Seiki Seisaku-SHO Ltd., ประเทศญี่ปุ่น

ภาพที่ 3.12 เครื่องวัดความเรียบ

13. เครื่องวัดความต้านทานแรงกดวงแหวน (Ring crush resistance) ยี่ห้อ Emerson รุ่น 1210 บริษัท Emerson Apparatus

ภาพที่ 3.13 เครื่องวัดความต้านทานแรงกดวงแหวน

14. เครื่องวัดการดูดซึมน้ำ (Cobb’s test)
15. เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของกระดาษ (Brightness tester) ยี่ห้อ Technidyne รุ่น Color-Touch PC บริษัท Technidyne Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. หม้อสแตนเลส ยี่ห้อหัวม้าลาย ประเทศไทย
17. เตาไฟฟ้า
18. เครื่องชั่งดิจิตอล
19. บีกเกอร์
20. กระบอกตวง
21. pH Meter
22. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
23. แท่งแก้วคน
24. ไม้พาย
25. ช้อนตักสาร
26. กระดาษซับเยื่อ (Rapid-Köthen carrier board และ Paper Coat Sheet)
27. กระดาษกรอง (Filter paper)
28. ถังพลาสติก
29. กะละมัง
30. ถุงซิปล็อค

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. กาบมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอม จ.กาญจนบุรี
2. กาบมะพร้าวแก่พันธุ์น้ำหอม จ.กาญจนบุรี
3. เยื่อยูคาลิปตัสฟอกขาวเกรดการค้า (เยื่อใยสั้น)
4. เยื่อสนผสมฟอกขาวเกรดการค้า (เยื่อใยยาว)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide หรือ NaOH) LOBA CHEMIE PVT.LDT. Grade AR Purity 98%
6. เมทานอล (Methanol) Commercial Grade 99.8%

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลโดยการค้นคว้าและศึกษาทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมวัตถุดิบ สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง

2.1 **การเตรียมเส้นใยจากกาบมะพร้าว**

1) ฉีกแยกเส้นใยจากกาบมะพร้าวอ่อนและกาบมะพร้าวแก่ นำมาตากแดดให้แห้ง

2) นำเส้นใยที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดชิ้นไม้แล้วจึงนำไปวัดหาค่าความชื้น

ภาพที่ 3.14 การบดเยื่อ

3) แยกขนาดของเส้นใยโดยการนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 300 Mesh ได้เส้นใย 2 ขนาด นำขนาดที่สามารถผ่านตะแกรง 300 Mesh มาใช้ในการทดลองขั้นถัดไป

ภาพที่ 3.15 ขนาดเส้นใยจากการการร่อนแยกด้วยตะแกรง

3. ปฏิบัติการทดลองการผลิตและพัฒนากระดาษจากกาบมะพร้าว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การหาจำนวนวันที่เหมาะสมสำหรับการแช่เส้นใยกาบมะพร้าวด้วยเมทานอล

1) นำเส้นใยขนาดเล็กที่ได้จากการร่อนมาแช่เมทานอล (Methanol) เป็นเวลา 1 2 3 และ 4 วัน
2) หลังจากแช่เมทานอลจนครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำเส้นใยที่ได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ
3) นำเส้นใยที่ได้จากการแช่เมทานอลที่จำนวนวันต่างกันไปต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยแยกหม้อต้มตามชนิดเส้นใย

ภาพที่ 3.16 การต้มเส้นใยกาบมะพร้าว

4) หลังจากต้มเยื่อจนครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำเยื่อที่ได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ

ภาพที่ 3.17 การล้างเยื่อ

5) นำน้ำเยื่อที่ได้ไปขึ้นแผ่นตามมาตรฐาน ISO5269-2 โดยให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร
6) นำแผ่นกระดาษที่ได้ไปวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength)
7) วิเคราะห์ผลเพื่อหาจำนวนวันที่เหมาะสมในการแช่เมทานอล

ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับต้มเส้นใยกาบมะพร้าว

1) นำเส้นใยที่ได้จากการแช่เมทานอลที่จำนวนวันที่เหมาะสม (จากตอนที่ 1) มาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12% และ 15% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยแยกหม้อต้มตามชนิดเส้นใย
2) หลังจากต้มเยื่อจนครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำเยื่อที่ได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ
3) นำน้ำเยื่อที่ได้ไปขึ้นแผ่นตามมาตรฐาน ISO5269-2 โดยให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร
4) นำแผ่นกระดาษที่ได้ไปวัดค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength)
5) วิเคราะห์ผลเพื่อหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ

ตอนที่ 3 การผลิตกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวและเยื่อการค้า

1) นำเยื่อแผ่นการค้ามาตีกระจายในน้ำโดยใช้อัตราส่วนเยื่อใยยาวร้อยละ 30 ต่อเยื่อใยสั้นร้อยละ 70
2) บดเยื่อด้วยเครื่อง Valley Beater ตามมาตรฐาน TAPPI T200 ให้ได้ค่า Freeness ที่ 350 $\pm$ 50 มิลลิลิตร
3) เตรียมน้ำเยื่อที่ใช้อัตราส่วนเยื่อกาบมะพร้าวต่อเยื่อแผ่นทางการค้า ที่อัตราส่วน 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 และ 0:100 ทั้งเยื่อกาบมะพร้าวแก่และเยื่อกาบมะพร้าวอ่อน โดยนำไปเยื่อไปตีกระจายในเครื่องบดเยื่อ
4) นำน้ำเยื่อที่ได้ไปขึ้นแผ่น โดยให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร
5) นำแผ่นกระดาษที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติของกระดาษ ดังนี้
    - ความหนาของกระดาษ
    - ความเรียบ (Smoothness)
    - ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength)
    - ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear resistance)
    - สมบัติเชิงแสงของกระดาษ ได้แก่ ความขาวสว่าง ความสว่าง
    - การดูดซึมน้ำ (Cobb’s test)
    - ความต้านทานแรงกดวงแหวน (Ring crush resistance)
6) บันทึกผลการทดสอบสมบัติของกระดาษและวิเคราะห์ผล

ตอนที่ 4 การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน

1) คัดเลือกกระดาษที่มีสมบัติเหมาะสมจากตอนที่ 3 มาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

ภาพที่ 3.18 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์

2) ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามร่วมกับบรรจุภัณฑ์จากกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวที่ผลิตขึ้นในการเก็บข้อมูล

3) วิเคราะห์ระดับความพึงพอใจ โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

4 หมายถึง พึงพอใจมาก

3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

2 หมายถึง พึงพอใจน้อย

1 หมายถึง พึงพอใจน้อยหรือไม่พึงพอใจ

4) วิเคราะห์ผลข้อมูล

4. บันทึกผลการทดลอง

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 4
ผลการทดลอง

โครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่อง การผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระดาษจากเส้นใยมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการทำบรรจุภัณฑ์ และเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวสองชนิดที่อัตราส่วนต่างกัน โดยได้แบ่งผลการวิจัยเป็น 4 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การหาจำนวนวันที่เหมาะสมสำหรับการแช่เส้นใยกาบมะพร้าวด้วยเมทานอล

ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับต้มเส้นใยกาบมะพร้าว

ตอนที่ 3 การผลิตกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวและเยื่อการค้า

ตอนที่ 4 การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน

ผลการทดลองตอนที่ 1 การหาจำนวนวันที่เหมาะสมสำหรับการแช่เส้นใยกาบมะพร้าวด้วยเมทานอล

จากการทดลองนำเยื่อจากกาบมะพร้าวที่ไม่ได้แช่ด้วยเมทานอลมาขึ้นแผ่นกระดาษพบว่ากระดาษที่ได้ไม่มีความแข็งแรง ไม่สามารถนำมาทดสอบความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษได้ เนื่องจากตัวเส้นใยมีสารเคลือบบางชนิดที่ไม่สามารถหลุดออกได้จากการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว เมทานอลมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่อาจช่วยให้สารเคลือบบางชนิดที่อยู่บนผิวของเส้นใยหลุดออกไปได้ ช่วยให้พันธะระหว่างเส้นใยเกิดได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงได้ทดลองหาจำนวนวันที่เหมาะสมสำหรับการแช่เส้นใยกาบมะพร้าวด้วยเมทานอล

ตารางที่ 4.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของกระดาษที่แช่เมทานอลที่จำนวนวันต่างกัน

ชนิดกระดาษ		**Tensile (N)**	**ระยะยืด (mm)**	**Tensile strength (kN/m)**	**Percent stretch (%)**	**Tensile index (Nm/g)**	**Breaking length (m)**
ชนิดเยื่อ	**จำนวนวันที่แช่เมทานอล**						
กาบมะพร้าวแก่	1	9.05	9.1	0.60	9.05	4.83	492.32
	2	10.63	10.6	0.71	10.63	5.67	578.09
	3	16.67	16.7	1.11	16.67	8.89	906.58
	4	19.45	19.5	1.30	19.45	10.37	1058.08

ตารางที่ 4.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของกระดาษที่แช่เมทานอลที่จำนวนวันต่างกัน (ต่อ)

ชนิดกระดาษ		Tensile (N)	ระยะยืด (mm)	Tensile strength (kN/m)	Percent stretch (%)	Tensile index (Nm/g)	Breaking length (m)
ชนิดเยื่อ	จำนวนวันที่แช่เมทานอล						
กาบมะพร้าวอ่อน	1	14.17	14.2	0.94	14.17	7.56	770.85
	2	13.43	13.4	0.90	13.43	7.16	730.32
	3	12.65	12.7	0.84	12.65	6.75	688.16
	4	9.34	9.3	0.62	9.34	4.98	508.10

จากตารางที่ 4.1 พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวแก่ที่แช่เส้นใยในเมทานอลเป็นเวลา 4 วัน มีความต้านทานแรงดึงมากที่สุด โดยเส้นใยจากกาบมะพร้าวแก่ที่ใช้จำนวนวันแช่เพิ่มมากขึ้นจะเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงดึงของกระดาษให้เพิ่มมากขึ้น และกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนที่แช่เส้นใยในเมทานอลเป็นเวลา 1 วัน มีความต้านทานแรงดึงมากที่สุด โดยเมื่อเพิ่มจำนวนวันที่แช่เส้นใยกาบมะพร้าวอ่อนจะทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนลดน้อยลง ดังนั้นจึงเลือกใช้จำนวนวันในการแช่เส้นใยมะพร้าวแก่ 4 วัน และจำนวนวันในการแช่เส้นใยมะพร้าวอ่อน 1 วัน

ผลการทดลองตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับต้มเส้นใยกาบมะพร้าว

ตารางที่ 4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile stength) ของกระดาษที่เส้นใยต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชนิดกระดาษ		Tensile (N)	ระยะยืด (mm)	Tensile strength (kN/m)	Percent stretch (%)	Tensile index (Nm/g)	Breaking length (m)
ชนิดเยื่อ	ความเข้มข้นของ NaOH						
กาบมะพร้าวแก่	12%	12.18	1.2	0.81	1.15	6.50	662.59
	15%	14.34	1.1	0.96	1.10	7.65	779.82
กาบมะพร้าวอ่อน	12%	7.33	0.8	0.49	0.80	3.91	398.48
	15%	5.61	0.5	0.37	0.50	2.99	305.18

จากตารางที่ 4.2 พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเส้นใยกาบมะพร้าวแก่ที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตร มีความสามารถในการต้านทานแรงดึงมากกว่าเส้นใยกาบมะพร้าวแก่ที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร ในขณะที่กระดาษที่ผลิตจากเส้นใยกาบมะพร้าวอ่อนที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร มีความสามารถในการต้านทานแรงดึงมากกว่าเส้นใยกาบมะพร้าวอ่อนที่ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตร ดังนั้นจึงเลือกต้มเส้นใยกาบมะพร้าวแก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตร และต้มเส้นใยกาบมะพร้าวอ่อนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร

ผลการทดลองตอนที่ 3 การผลิตกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวและเยื่อการค้า

ตารางที่ 4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

ชนิดกระดาษ		**ความหนา (µm)**	**Smoothness (s)**		**Optical**	
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน (เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)**		**wire**	**felt**	**Brightness (%)**	**Lightness (L*)**
เยื่อแก่	100:0	231.60	0.90	1.80	10.48	49.66
	70:30	231.00	2.90	4.97	20.36	59.77
	50:50	217.40	3.27	6.07	27.14	65.67
	30:70	203.60	4.90	10.40	39.23	74.21
เยื่ออ่อน	100:0	244.20	0.50	0.90	12.22	45.57
	70:30	247.00	0.83	1.23	20.74	58.18
	50:50	251.60	1.30	2.03	28.74	65.25
	30:70	240.00	1.40	4.20	40.80	73.96
เยื่อการค้า	0:100	178.00	12.73	14.00	78.93	94.36

จากตารางที่ 4.3 พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวล้วนและกระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกาบมะพร้าวจะมีความหนามากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อการค้าล้วน เมื่อปรับอัตราส่วนเยื่อการค้าเพิ่มขึ้นในกระดาษที่มีอัตราส่วนระหว่างเยื่อกาบมะพร้าวและเยื่อการค้า จะทำให้กระดาษมีความหนาลดลง จากกระดาษที่มีน้ำหนักเท่ากัน เยื่อการค้ามีความแน่นมากกว่า เส้นใยแนบชิดกันได้มากกว่า เนื่องจากว่าเส้นใยของมะพร้าวมีความหยาบกว่า ทำให้ตอนกดรีดอาจได้ความแน่นไม่เท่ากับเยื่อทางการค้า ส่งผลให้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อการค้าใช้เวลาในการไหลผ่านของอากาศมากเช่นกัน ซึ่งแสดงว่ากระดาษมีความเรียบมาก ในขณะที่กระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าว เส้นใยไม่แนบชิดกัน ทำให้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวมีการไหลผ่านของอากาศเร็วกว่า ซึ่งแสดงว่ากระดาษมีความเรียบน้อย ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของเยื่อการค้าเพิ่มขึ้น จะช่วยเพิ่มค่าความเรียบของกระดาษให้มากขึ้นตามไปด้วย

เมื่อสังเกตสมบัติเชิงแสงของกระดาษ ได้แก่ ค่าความขาวสว่าง (Brightness) ซึ่งเป็นการวัดการสะท้อนของแสงในช่วงความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร หรือเป็นการวัดปริมาณแสงสีน้ำเงินที่สะท้อนออกจากแผ่นกระดาษ จะเห็นได้ว่าการที่อัตราส่วนของเยื่อกาบมะพร้าวเพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ค่าความขาวสว่างของกระดาษลดลง เนื่องจากเยื่อกาบมะพร้าวนั้นมีความขาวสว่างน้อยและไม่ได้ผ่านการฟอกเยื่อเหมือนกับเยื่อการค้า เมื่อเปรียบเทียบค่าความขาวสว่างที่อัตราส่วนต่างๆระหว่างเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนและเยื่อกาบมะพร้าวแก่ พบว่าเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนมีค่าความขาวสว่างที่มากกว่าเยื่อมะพร้าวแก่ เนื่องจากเส้นใยของมะพร้าวอ่อนมีการสะท้อนแสงในช่วงสีน้ำเงินได้มากกว่ามะพร้าวแก่ จึงทำให้ค่าความขาวสว่างของมะพร้าวอ่อนนั้นมากกว่า ส่วนค่าความสว่าง (Lightness) ของกระดาษจะวัดการสะท้อนแสงรวมทั้งหมดทุกความยาวคลื่นที่ 400-700 นาโนเมตร โดยกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวล้วนมีความสว่างน้อยที่สุด กระดาษที่ผลิตจากเยื่อการค้าล้วนจะมีค่าความสว่างมากที่สุด กระดาษที่มีอัตราส่วนของเยื่อการค้ามากก็จะมีความสว่างมากตามไปด้วย เนื่องจากสีของเส้นใยการค้าได้ผ่านการฟอกเยื่อจึงมีสีอ่อนกว่าเส้นใยกาบมะพร้าว นอกจากนี้กระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกาบมะพร้าวแก่จะมีค่าความสว่างมากกว่ากระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกาบมะพร้าวอ่อน เพราะเส้นใยที่มีสีเข้มกว่าดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นได้มากกว่าเส้นใยที่สีอ่อนกว่า

ตารางที่ 4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษ

ชนิดกระดาษ		**Tensile**		**Tear**		**Cobb's test**	**Ring Crush (kN/m)**
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน** (เยื่อกาบมะพร้าว: เยื่อการค้า)	**Tensile strength (kN/m)**	**Tensile index (Nm/g)**	**Tear resistance (mN)**	**Tear index (mNm^2/g)**		
เยื่อแก่	100:0	1.13	9.05	1082.65	8.66	-*	0.64
	70:30	2.22	17.77	1235.64	9.89	-*	0.76
	50:50	2.60	20.80	1308.21	10.47	-*	0.91
	30:70	3.36	26.87	1480.80	11.85	-*	1.06
เยื่ออ่อน	100:0	0.41	3.31	939.48	7.52	-*	0.31
	70:30	1.74	13.91	1225.83	9.81	-*	0.70
	50:50	2.28	18.26	1422.62	11.38	-*	0.94
	30:70	3.10	24.76	1431.77	11.45	-*	1.14
เยื่อการค้า	0:100	5.82	46.55	1674.98	13.40	-*	1.63

* ไม่สามารถทดสอบได้

จากตารางที่ 4.4 พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวแก่และเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนล้วนจะมีค่า Tensile Index ,Tear Index และ Ring crush test น้อยที่สุด เนื่องจากกระดาษมีพันธะระหว่างเส้นใยน้อย และเมื่อปรับอัตราส่วนเยื่อการค้าเพิ่มขึ้นในกระดาษที่มีอัตราส่วนระหว่างเยื่อกาบมะพร้าวและเยื่อการค้า พบว่ามีค่า Tensile Index, Tear Index และ Ring crush test เพิ่มขึ้น เนื่องจากเยื่อทางการค้าเป็นเยื่อที่ผ่านการบดเยื่อ เกิดการลอกของผนังเส้นใยทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นและเกิดการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยได้ดีขึ้น กระดาษจึงมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาบมะพร้าวอ่อนและกาบมะพร้าวแก่ พบว่ากาบมะพร้าวแก่มีค่า Tensile Index และ Tear Index มากกว่ามะพร้าวอ่อน เนื่องจากเส้นใยของกาบมะพร้าวแก่มีความเหนียว และแข็งแรงกว่ากาบมะพร้าวอ่อน และเส้นใยของกาบมะพร้าวอ่อนที่เหลือจากการต้มนั้นจะเป็นเส้นใยที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และหยาบ ทำให้เกิดพันธะได้ไม่ดี เนื่องจากเส้นใยขนาดเล็กถูกทำลายและสูญเสียไปในระหว่างต้มเยื่อ สำหรับค่า Ring Crush กาบมะพร้าวอ่อนและกาบมะพร้าวแก่นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของ

การทดสอบการซึมน้ำพบว่ากระดาษทุกประเภทมีการดูดซึมน้ำที่มากเกินไปทำให้น้ำแพร่ออกมาด้านข้างจึงทำให้ไม่สามารถทดสอบได้

ผลการทดลองตอนที่ 4 การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน โดยกำหนดชนิดของตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวแก่ 30 : เยื่อการค้า 70

ตัวอย่างที่ 2 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวแก่ 50 : เยื่อการค้า 50

ตัวอย่างที่ 3 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวแก่ 70 : เยื่อการค้า 30

ตัวอย่างที่ 4 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าว 0 : เยื่อการค้า 100

ตัวอย่างที่ 5 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวอ่อน 70 : เยื่อการค้า 30

ตัวอย่างที่ 6 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวอ่อน 50 : เยื่อการค้า 50

ตัวอย่างที่ 7 คือ กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวอ่อน 30 : เยื่อการค้า 70

กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ มากที่สุด= 5

มาก = 4

ปานกลาง = 3

น้อย = 2

น้อยที่สุด = 1

จำนวนผู้ทำแบบทดสอบจำนวน 30 คน

ตารางที่ 4.5 ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน

ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ต่อตัวอย่างบรรจุภัณฑ์	**ตัวอย่าง**	**ระดับความพึงพอใจ (คะแนน)**					
		มากที่สุด	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อยที่สุด**	**น้อย**	**เฉลี่ย**
ด้านโครงสร้างบรรจุภัณฑ์							
1. ความแข็งแรงของบรรจุ-ภัณฑ์	1	15	68	27	2	0	3.73
	2	10	60	30	6	0	3.53
	3	0	20	39	22	1	2.73
	4	70	44	15	0	0	4.30
	5	5	16	30	18	6	2.50
	6	5	36	24	20	2	2.90
	7	20	68	12	10	0	3.67
ด้านความพึงพอใจ							
2. บรรจุภัณฑ์มีสีสันและลวดลายสวยงาม	1	75	36	15	2	0	4.27
	2	30	80	6	4	0	4.00
	3	10	56	33	6	0	3.50
	4	35	24	24	10	4	3.23
	5	0	16	30	20	6	2.40
	6	0	36	36	18	0	3.00
	7	25	56	24	6	0	3.70

ตารางที่ 4.5 ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน (ต่อ)

ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ต่อตัวอย่างบรรจุภัณฑ์	ตัวอย่าง	ระดับความพึงพอใจ (คะแนน)					
		มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อยที่สุด	น้อย	เฉลี่ย
3. ความพึงพอใจที่มีต่อผิวสัมผัสของบรรจุภัณฑ์	1	55	52	15	2	0	4.13
	2	30	68	18	2	0	3.93
	3	10	32	45	10	0	3.23
	4	65	44	15	0	1	4.17
	5	0	4	24	24	9	2.03
	6	0	16	33	26	2	2.57
	7	10	36	39	6	3	3.13
4. รูปแบบบรรจุภัณฑ์โดยรวมสามารถตอบสนองต่อการเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม	1	45	64	15	0	0	4.13
	2	40	80	6	0	0	4.20
	3	55	52	15	2	0	4.13
	4	10	12	30	18	6	2.53
	5	70	32	12	8	0	4.07
	6	45	60	15	2	0	4.07
	7	45	60	18	0	0	4.10

จากตารางที่ 4.5 ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน พบว่าความพึงพอใจด้านความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ และความพึงพอใจที่มีต่อผิวสัมผัสของบรรจุภัณฑ์นั้น ตัวอย่างที่ 4 (กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าว 0 : เยื่อการค้า 100) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด และตัวอย่างที่ 5 (กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวอ่อน 70 : เยื่อการค้า 30) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุด ด้านบรรจุภัณฑ์มีสีสันและลวดลายความสวยงาม พบว่าตัวอย่างที่ 1 (กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวแก่ 30 : เยื่อการค้า 70) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด และตัวอย่างที่ 5 (กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวอ่อน 70 : เยื่อการค้า 30) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุด ด้านความสามารถในการตอบสนองต่อการเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม พบว่าตัวอย่างที่ 2 (กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าวแก่ 50 : เยื่อการค้า 50) และตัวอย่างที่ 4 (กระดาษที่ผลิตด้วยอัตราส่วนมะพร้าว 0 : เยื่อการค้า 100) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสมบัติของกระดาษพบว่ากระดาษที่ขึ้นแผ่นด้วยเยื่อกาบมะพร้าวแก่ล้วนและกระดาษที่ขึ้นแผ่นด้วยเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนล้วนมีความแข็งแรงน้อย เนื่องจากกระดาษมีพันธะระหว่างเส้นใยน้อย ทำให้ไม่เหมาะในการผลิตและขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ เมื่อนำเยื่อกาบมะพร้าวผสมกับเยื่อทางการค้าที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่ากระดาษที่ได้มีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น และสามารถขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวแก่ให้คุณสมบัติในด้านของความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงฉีก และความต้านทานแรงกดวงแหวน เนื่องจากเส้นใยของมะพร้าวแก่มีความเหนียวมากกว่า ส่วนกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกาบมะพร้าวอ่อนจะให้คุณสมบัติที่ดีในด้านของสมบัติเชิงแสง ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness)

จากการทดสอบด้านความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อกาบมะพร้าวมีสามารถในการตอบสนองต่อการเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้ ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผิวสัมผัส สี และลวดลายที่สวยงามของบรรจุภัณฑ์ แต่บรรจุภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของมะพร้าวที่ได้ยังมีความแข็งแรงน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระดาษที่ผลิตจากเยื่อการค้า

ข้อเสนอแนะ

โครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่องการผลิตและพัฒนากระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวสำหรับบรรจุภัณฑ์ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. เนื่องจากไม่สามารถทดสอบการต้านทานการซึมน้ำได้ จึงควรเติมสารกันซึมเพื่อลดความสามารถในการรับน้ำของกระดาษ

2. เนื่องจากกระดาษจากเยื่อกาบมะพร้าวมีคุณสมบัติเชิงแสงน้อยกว่ากระดาษจากเยื่อการค้ามาก จึงควรเพิ่มขั้นตอนการฟอกเยื่อเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงแสงของกระดาษให้มีความใกล้เคียงกันมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. ลักษณะของมะพร้าวทั่วไป. (2555). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=38&chap=5&page=chap5.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 14 พฤษภาคม 2562).
2. สุภา จุฬคุปต์ , ไศลเพชร ศรีสุวรรณ , วิจิตร สนหอม, การพัฒนาการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากใยมะพร้าว, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
3. สาคร ชลสาคร, “การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช”, เทคโนโลยี และ นวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติจากพืช เล่มที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช, สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2560.
4. อุตสาหกรรมมะพร้าว. (2559). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabank-detail.php?id=22 (วันที่ค้นข้อมูล : 14 พฤษภาคม 2562).
5. Bujang, I.Z., Awang, M.K., and Ismail, A.E., “STUDY ON THE DYNAMIC CHARACTERISTIC OF COCONUT FIBRE REINFORCED COMPOSITES,” in Regional Conference on Engineering Mathematics, Mechanics, Manufacturing & Architecture, Department of Mechanical Engineering, University Tun Hussein Onn Malaysia, Malaysia, 2007.
6. Rajan, A., and Abraham, TE., “Coir Fiber–Process and Opportunities,” in Journal of Natural Fibers, pp.29-41, London, 2007.
7. Reddy, N., and Yang, Y., “Innovative Biofibers from Renewable Resource,” in Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
8. Whitfield, R. “The Economic Benefits of Sodium Hydroxide Chemistry in the Production of Pulp and Paper in the United States and Canada” IHS Markit , pp.6-8 , American Chemistry Council, 2017
9. Main, N.M., Taliba, R.A., Ibrahimd, R., Rahmana, R.A., and Mohamede, A.Z., “Suitability of Coir Fibers as Pulp and Paper,” in Agriculture and Agricultural Science Procedia 2, pp. 304-311, University Putra Malaysia, Malaysia, 2014.
10. Wang, Y. “Cellulose Fiber Dissolution in Sodium Hydroxide Solution at Low Temperature : Dissolution Kinetics and Solubility Improvement,” in Georgia Institute of Technology, 2008

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบความหนาของกระดาษ (Thickness)

ชนิดกระดาษ		**ความหนา (µm)**					
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน** (เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)	**แผ่นที่ 1**	**แผ่นที่ 2**	**แผ่นที่ 3**	**แผ่นที่ 4**	**แผ่นที่ 5**	**เฉลี่ย**
เยื่อแก่	100:0	236	214	255	231	222	231.6
	70:30	226	231	236	243	219	231.0
	50:50	221	225	212	215	214	217.4
	30:70	202	200	205	198	213	203.6
เยื่ออ่อน	100:0	257	251	247	233	233	244.2
	70:30	261	242	242	238	252	247.0
	50:50	249	255	252	251	251	251.6
	30:70	242	240	232	241	245	240.0
เยื่อการค้า	0:100	182	184	183	169	172	178.0

ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

ชนิดกระดาษ		**Brightness (%)**	**Lightness (L*)**	**a**	**b**
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน (เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)**				
เยื่อแก่	100:0	10.48	49.66	6.45	14.19
	70:30	20.36	59.77	5.51	13.22
	50:50	27.14	65.67	4.66	11.53
	30:70	39.23	74.21	3.34	9.30
เยื่ออ่อน	100:0	12.22	45.57	6.29	12.05
	70:30	20.74	58.18	4.72	9.70
	50:50	28.74	65.25	3.96	8.24
	30:70	40.80	73.96	2.91	6.91
เยื่อการค้า	0:100	78.93	94.36	-0.14	5.62

ตารางที่ ก-3 ผลการทดสอบความเรียบของกระดาษ (Smoothness)

ชนิดกระดาษ		**Smoothness (s)**							
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน (เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)**	**แผ่นที่ 1**		**แผ่นที่ 2**		**แผ่นที่ 3**		**เฉลี่ย**	
		wire	**felt**	**wire**	**felt**	**wire**	**felt**	**wire**	**felt**
เยื่อแก่	100:0	0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	1.8
	70:30	3.7	4.8	2.7	5.3	2.3	4.8	2.9	5.0
	50:50	3.0	4.8	3.4	6.7	3.4	6.7	3.3	6.1
	30:70	5.3	9.7	4.8	11.1	4.6	10.4	4.9	10.4
เยื่ออ่อน	100:0	0.4	0.9	0.7	0.9	0.4	0.9	0.5	0.9
	70:30	0.7	1.1	0.9	1.3	0.9	1.3	0.8	1.2
	50:50	1.3	1.8	1.3	2.0	1.3	2.3	1.3	2.0
	30:70	1.3	4.1	1.3	4.4	1.6	4.1	1.4	4.2
เยื่อการค้า	0:100	12.5	14.3	12.3	12.7	13.4	15.0	12.7	14.0

ตารางที่ ก-4 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษ (Tensile strength)

ชนิดกระดาษ		**Tensile (N)**	**ระยะยืด (mm)**	**Tensile strength (kN/m)**	**Percent stretch (%)**	**Tensile index (Nm/g)**	**Breaking length (m)**
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน (เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)**						
เยื่อแก่	100:0	16.97	0.60	1.13	0.60	9.05	923.17
	70:30	33.31	1.30	2.22	1.30	17.77	1812.06
	50:50	39.00	1.25	2.60	1.25	20.80	2121.60
	30:70	50.38	1.88	3.36	1.88	26.87	2740.40
เยื่ออ่อน	100:0	6.21	0.55	0.41	0.55	3.31	337.69
	70:30	26.08	1.20	1.74	1.20	13.91	1418.75
	50:50	34.23	1.48	2.28	1.48	18.26	1862.11
	30:70	46.43	2.05	3.10	2.05	24.76	2525.52
เยื่อการค้า	0:100	87.28	3.03	5.82	3.03	46.55	4747.76

ตารางที่ ก-5 ผลการทดสอบความต้านทางต่อแรงฉีกของกระดาษ (Tear resistance)

ชนิดกระดาษ		**Tear resistance (mN)**	**Tear index (mNm^2/g)**
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน** **(เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)**		
เยื่อแก่	100:0	1082.65	8.66
	70:30	1235.64	9.89
	50:50	1308.21	10.47
	30:70	1480.80	11.85
เยื่ออ่อน	100:0	939.48	7.52
	70:30	1225.83	9.81
	50:50	1422.62	11.38
	30:70	1431.77	11.45
เยื่อการค้า	0:100	1674.98	13.40

ตารางที่ ก-6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษ (Ring crush resistance)

ชนิดกระดาษ		**Ring Crush (kN/m)**
ชนิดเยื่อ	**อัตราส่วน** **(เยื่อกาบมะพร้าว:เยื่อการค้า)**	
เยื่อแก่	100:0	0.636
	70:30	0.757
	50:50	0.908
	30:70	1.061
เยื่ออ่อน	100:0	0.312
	70:30	0.701
	50:50	0.944
	30:70	1.136
เยื่อการค้า	0:100	1.625

ตารางผลสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษต่างชนิดกัน

ตารางที่ ก-7 ผลสำรวจความพึงพอใจด้านความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์

ตัวอย่างที่	ระดับความพึงพอใจ (คน)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1	3	17	9	1	0
2	2	15	10	3	0
3	0	5	13	11	1
4	14	11	5	0	0
5	1	4	10	9	6
6	1	9	8	10	2
7	4	17	4	5	0

ตารางที่ ก-8 ผลสำรวจความพึงพอใจด้านความสวยงามของสีสันและลวดลาย

ตัวอย่างที่	ระดับความพึงพอใจ (คน)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1	15	9	5	1	0
2	6	20	2	2	0
3	2	14	11	3	0
4	7	6	8	5	4
5	0	4	10	10	6
6	0	9	12	9	0
7	5	14	8	3	0

ตารางที่ ก-9 ผลสำรวจความพึงพอใจต่อผิวสัมผัสของบรรจุภัณฑ์

ตัวอย่างที่	ระดับความพึงพอใจ (คน)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1	11	13	5	1	0
2	6	17	6	1	0
3	2	8	15	5	0
4	13	11	5	0	1
5	0	1	8	12	9
6	0	4	11	13	2
7	2	9	13	3	3

ตารางที่ ก-10 ผลสำรวจความพึงพอใจด้านการตอบสนองต่อการเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างที่	ระดับความพึงพอใจ (คน)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1	9	16	5	0	0
2	8	20	2	0	0
3	11	13	5	1	0
4	2	3	10	9	6
5	14	8	4	4	0
6	9	15	5	1	0
7	9	15	6	0	0

ภาคผนวก ข
แบบสอบถาม

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค
แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นโดยนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อตัวอย่างบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ สำหรับนำผลการประเมินไปปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (ใส่เครื่องหมาย ✓ ใน □ หรือเติมข้อความที่ตรงกับข้อมูลของท่าน)

1. เพศ □ ชาย □ หญิง
2. อายุ.....ปี

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อหน่วยงานผู้ให้บริการ (ใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องที่ตรงกับความคิดของท่านมากที่สุด)

โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด 4 หมายถึง พึงพอใจมาก
3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย
1 หมายถึง พึงพอใจน้อยหรือไม่พึงพอใจ

ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ต่อตัวอย่างบรรจุภัณฑ์	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
ด้านโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ 1. ท่านมีความพึงพอใจต่อรูปแบบของบรรจุภัณฑ์มากน้อยเพียงใด					
2. ท่านคิดว่าความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์มีมากน้อยเพียงใด					
ด้านความพึงพอใจ 3. โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์มีรูปแบบสวยงาม และเหมาะสมในการบรรจุมากน้อยเพียงใด					
4. บรรจุภัณฑ์มีสีสันและลวดลายความสวยงามมากน้อยเพียงใด					
5. ความพึงพอใจที่มีต่อคิวสัมผัสของบรรจุภัณฑ์มากน้อยเพียงใด					
6. วัสดุที่นำมาทำบรรจุภัณฑ์มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆที่เคยเห็นมากน้อยเพียงใด					
7. ท่านคิดว่ารูปแบบของบรรจุภัณฑ์โดยรวมสามารถตอบสนองผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้มากน้อยเพียงใด					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี)

.....

.....

.....

ภาพที่ ข-1 ตัวอย่างแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค