

## Research Article

อิทธิพลของสารต้านทานการดูดซึมน้ำที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล  
และความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อจากไผ่

The Effects of Water-Resistant Agents on Physical Properties, Mechanical  
Properties and Water Absorption Ability of Bamboo Culm Sheath Paper

วรวิดี สุขชัยยะ<sup>a,b\*</sup>, เปมิกา ขำวีระ<sup>b</sup>, เจริญพร โชคบริบาล<sup>a</sup>, สุธาทิพย์ ทองเล่ม<sup>a,b</sup> และ อัยย์ญดา สิริจลุลพงษ์<sup>c</sup>  
Voravadee Suchaiya<sup>a,b\*</sup>, Pemika Khamweera<sup>b</sup>, Jareonporn Chokboribal<sup>a</sup>, Sutatip Thonglem<sup>a,b</sup> and  
Aiyada Sirinjullapong<sup>c</sup>

<sup>a</sup> สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

<sup>a</sup> Majority of Materials Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Bangkok 10220, Thailand.

<sup>b</sup> สาขาวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

<sup>b</sup> Majority of Innovation and Product Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Bangkok 10220, Thailand.

<sup>c</sup> สาขาบริหารศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

<sup>c</sup> Majority of Home Economics, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Bangkok 10220, Thailand.

## ABSTRACT

## Article history:

Received: 2024-03-11

Revised: 2024-05-26

Accepted: 2024-05-29

## Keywords:

water-resistant paper;

bamboo culm sheath;

bamboo culm sheath paper;

water-resistant;

sizing agent

The objectives of this research were to study the production of water-resistant paper from bamboo culm sheath using a handmade method and study the influence of water-resistant agents on the physical properties, mechanical properties, and water absorption ability of the paper. Five water-resistant agents, which were rosin-alum, alkyl ketene dimers (AKD), chitosan, natural latex, and soy wax, were blended with bamboo culm sheath pulp during the paper-forming process in amounts of 1, 2, 3, and 4 % by weight, based on the pulp weight. The results showed that the optimum amount of unbleached bamboo pulp for paper formation is 40 grams. This amount produced strong, foldable, and rollable paper with the least amount of bending and shrinkage. The addition of water-resistant agents increased the weight and thickness of the paper, except for AKD and chitosan which did not lead to the significant change in paper weight. The addition of AKD significantly affected the brightness value ( $L^*$ ) of the paper. Meanwhile, rosin-alum and natural latex increased the red and yellow values of the paper. Morphological studies revealed that AKD and chitosan had better distribution in the paper than rosin and alum, latex, and soy wax. For the mechanical properties of water-resistant paper, tensile strength, Young's modulus, and elongation depended on the type and amounts of water-resistant agents. The results showed that the presence of chitosan, AKD, and latex increased the modulus of the paper. Specifically, the addition of 2 % chitosan by weight led to the highest tensile strength and modulus values ( $P \leq 0.05$ ), which were  $3.81 \pm 0.70$  and  $482.02 \pm 72.40$  MPa, respectively. Nevertheless, the addition of rosin-alum, AKD, chitosan, and soy wax caused the decrease in elongation at break of the paper. While, the addition of latex at 4% by weight could

\* Corresponding author.

E-mail address: voravadee.s@pnru.ac.th

## Cite this article as:

Suchaiya, V., Khumweera, P., Chokboribal, J., Thonglem, S. and Sirinjullapong, A. 2025. The Effects of Water-Resistant Agents on Physical Properties, Mechanical Properties and Water Absorption Ability of Bamboo Culm Sheath Paper. *Recent Science and Technology* 17(2): 262463.

improve the elongation at break of the paper. Water resistant agents could significantly improve the paper's resistance to water absorption. The water absorption resistance of the paper increased when amounts of water-resistant agents increased. The addition of 4% soy wax by weight contributed to the highest increase in water absorption resistance. After soybean wax, AKD and chitosan were the second and third best water-resistant agents, respectively. A contact angle study revealed that water droplets were able to wet and rapidly penetrate into the bamboo pulp paper. The presence of water-resistant agents resulted in higher contact angle value, indicating that the paper had a higher ability to resist water droplet penetration. It was found that adding 1 % AKD by weight resulted in the highest value of contact angle between the water drop and the paper surface.

© 2025 Suchaiya, V., Khumweera, P., Chokboribal, J., Thonglem, S. and Sirinjullapong, A. Recent Science and Technology published by Rajamangala University of Technology Srivijaya

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำจากกาบไผ่ด้วยวิธีทำมือ และศึกษาอิทธิพลของสารต้านทานการดูดซึมน้ำที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษกาบไผ่ สารต้านทานการดูดซึมน้ำ 5 ชนิด คือ ชันสนกับสารส้ม แอลคิลคีทีนไคเมออร์ (AKD) ไคโตซาน น้ำยางพารา และไซถั่วเหลือง ถูกนำมาบ่มรวมกับเยื่อกาบไผ่ในขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษที่ปริมาณร้อยละ 1 2 3 และ 4 โดยน้ำหนักเยื่อหมาด ผลการทดลองพบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของเยื่อกาบไผ่ไม่ฟอกขาวสำหรับการขึ้นรูปกระดาษ คือ 40 กรัม เนื่องจากปริมาณเยื่อดังกล่าวทำให้กระดาษมีการโก่งและหดตัวน้อยที่สุด และมีความแข็งแรงสามารถพับและรีดได้ การเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำส่งผลให้กระดาษมีน้ำหนักและความหนาเพิ่มขึ้น ยกเว้น AKD และไคโตซาน ทำให้น้ำหนักของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การเติม AKD ส่งผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของกระดาษอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ชันสนกับสารส้ม น้ำยางพารา ทำให้กระดาษมีค่าสีแดง ( $a^*$ ) และสีเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น การศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่า AKD และไคโตซานสามารถกระจายตัวในเนื้อกระดาษได้ดีกว่าชันสนกับสารส้ม น้ำยางพารา และไซถั่วเหลือง การศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำพบว่า ค่าการทนต่อแรงดึง ค่ายังมอดุลัส และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของกระดาษมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารต้านทานการดูดซึมน้ำ ผลทดลองพบว่า ไคโตซาน AKD และน้ำยางพาราช่วยเพิ่มค่ายังมอดุลัสของกระดาษ โดยเฉพาะการเติมไคโตซานที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้กระดาษมีการทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดุลัสสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) คือ  $3.81 \pm 0.70$  และ  $482.02 \pm 72.40$  เมกะปาสคาล ตามลำดับ แต่การเติมชันสนกับสารส้ม AKD ไคโตซาน ไซถั่วเหลือง ทำให้กระดาษมีค่าการยืดตัวร้อยละ ณ จุดขาดลดลง ในขณะที่การเติมน้ำยางพาราที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักสามารถปรับปรุงค่าการยืดตัวร้อยละ ณ จุดขาดของกระดาษเยื่อกาบไผ่ได้ สารต้านทานการดูดซึมน้ำช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อกาบไผ่ เมื่อเพิ่มปริมาณสารต้านทานการดูดซึมน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การเติมไซถั่วเหลืองที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษได้สูงที่สุด อันดับรองลงมาคือ AKD และไคโตซาน การศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวกระดาษ พบว่า หยดน้ำสามารถเปียกและซึมลงกระดาษเยื่อกาบไผ่ได้ดี แต่เมื่อเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำส่งผลให้มุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวกระดาษมีค่าสูงขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่ากระดาษมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของหยดน้ำได้สูงขึ้น และพบว่า การเติม AKD ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักทำให้ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวกระดาษมีค่าสูงที่สุด

**คำสำคัญ:** กระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำ, กาบไผ่, กระดาษเยื่อกาบไผ่, สารต้านทานการดูดซึมน้ำ, สารกันซึม

## 1. บทนำ

ไผ่เป็นพืชที่นิยมปลูกในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากไผ่เป็นพืชที่ทนแล้งได้ดีและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนของต้นตั้งแต่หน่อ ลำต้น จนถึงใบไป เช่น หน่อไม้ นำไปแปรรูปเป็นอาหาร ลำต้นนำไปทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ ใบไผ่สามารถนำไปห่อขนม หรือนำไปทำปุ๋ย ไผ่

มีหลากหลายชนิด ตัวอย่างของไผ่ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ไผ่ป่า ไผ่สีสุก ไผ่รวก ไผ่เลี้ยง ไผ่ข้าวหลาม ไผ่ทอง และ ไผ่ตง เป็นต้น อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี เป็นพื้นที่บริการของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร อำเภอชัยบาดาลเป็นอำเภอที่มีการปลูกไผ่เป็นจำนวนมาก และมีการแปรรูปหน่อไม้สำหรับจำหน่ายและเป็นของฝากขึ้นชื่อประจำจังหวัด เช่น หน่อไม้สด หน่อไม้ต้ม และหน่อไม้ดอง

ไผ่ตงเป็นไผ่ชนิดหนึ่งที่ปลูกมากในพื้นที่ ชาวบ้านมักปลูกไว้ในเขตบ้านเรือน ในพื้นที่สวน เนื่องจากไผ่ตงให้หน่ออวบขาว มีรสชาติและมีคุณค่าทางอาหารสูง (Department of Agricultural Extension, 2013; Sudchaleaw *et al.*, 2023) จากการลงสำรวจพื้นที่อำเภอชัยบาดาลพบว่า กาบไผ่หรือ กาบหุ้มลำไผ่ เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีจำนวนมากในพื้นที่ กาบหุ้มลำ (Culm sheath) คือส่วนที่หุ้มอยู่รอบลำต้นสำหรับป้องกันลำต้นเมื่อยังอ่อนอยู่จะหลุดร่วงทิ้งไป เมื่อไผ่เจริญเติบโตเต็มที่ ในการปลูกไผ่มักจะขึ้นเป็นกอและมีจำนวนหลายต้น ทำให้ปริมาณของกาบหุ้มลำที่หลุดร่วงมีจำนวนมากตามไปด้วย ถึงแม้จะปล่อยให้แห้งกลายเป็นปุ๋ยบริเวณรอบโคนต้น แต่กาบหุ้มลำไผ่เหล่านี้ต้องอาศัยเวลานานในการย่อยสลาย ซึ่งอาจก่อให้เกิดขยะหมักหมม ดังนั้นการนำกาบไผ่มาใช้ประโยชน์เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาขยะจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ยังยืนคคะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่นำกาบไผ่มาเตรียมเป็นกระดาษเพื่อต่อยอดองค์ความรู้ของชุมชนเนื่องจาก ชุมชนในตำบลลำน้ำรายณ์ อำเภอชัยบาดาล มีองค์ความรู้เดิมในการเตรียมกระดาษสาเพื่อผลิตเป็นดอกไม้จัน ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ในการนำกาบไผ่มาเตรียมกระดาษเพื่อใช้ในการด้านหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เส้นใยจากกาบไผ่มีลักษณะแข็งยากต่อการต้มและต้องใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างสูง (Kanjankam *et al.*, 2015) หรือต้องนำไปทำการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาหลายวัน (Chansaeng, 2020) จึงจะทำให้กาบไผ่แตกตัวเป็นเส้นใยสั้นๆ แล้วจึงสามารถนำเยื่อกาบไผ่มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษสาได้ กระดาษจากกาบไผ่มีความแข็งแรงต่ำไม่ทนต่อการพับหรือรีด จึงมีการนำเส้นใยที่ได้ไปผสมกับเส้นใยจากชนิดอื่น เช่น เส้นใยปอสา เพื่อช่วยให้กระดาษมีความทนต่อการพับหรือรีด (Haruthaithanasan *et al.*, 2022; Maneewan, 2007) หรือการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษ นอกจากนี้ยังพบปัญหาจากชุมชนในกระบวนการขึ้นรูปกระดาษด้วยวิธีการทำมือ (handmade) คือ ควบคุมความหนาให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นเนื่องจากในขั้นตอนการใช้แม่พิมพ์ตักเยื่อกระดาษที่กระจายตัวในน้ำไม่สามารถควบคุมปริมาณของเยื่อกระดาษได้ และกระดาษที่เตรียมได้ มีการดูดซึมน้ำได้ดีจึงเปื่อยและขาดง่าย ปัญหาเหล่านี้จึงเป็นข้อจำกัดในการนำกระดาษสาไปใช้งาน โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษจะมีกระบวนการรีดกระดาษเพื่อควบคุมความหนา และมีการเติมสารตกแต่งให้แก่กระดาษ เช่น สารตัวเติม (filler) เพื่อ

เพิ่มความขาว สารเพิ่มความแข็งแรงของผิว (surface sizing) ช่วยทำให้เส้นใยที่ผิวมีการยึดเกาะกับเส้นใยชั้นถัดลงไปได้ดีขึ้น ทำให้ผิวกระดาษมีความแข็งแรงทนต่อการขูด และสารกันซึม (sizing agent) หรือสารต้านทานการดูดซึมน้ำ เป็นสารที่ใช้เติมลงในน้ำเยื่อเพื่อช่วยลดการซึมของของเหลวเข้าไปในเนื้อกระดาษ อย่างไรก็ตามพบว่ากระดาษจากเส้นใยพืชมีสมบัติในการต้านทานน้ำที่ต่ำ เมื่อนำไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ หรืองานหัตถกรรม เช่น กล่องหรือถุงกระดาษ ดอกไม้ประดิษฐ์ จึงควรปรับปรุงสมบัติของการต้านทานการดูดซึมน้ำ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความทนทานมากขึ้น สารกันซึม หรือ สารต้านทานการดูดซึมน้ำที่ใช้กันทั่วไป (Hubbe, 2007; Ahmed *et al.*, 2021) ได้แก่ แอลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl Ketene Dimer, AKD) (Ntifafa *et al.*, 2024; Köse *et al.*, 2017) อัลคิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Alkyl Succinic Anhydride, ASA) (Rui *et al.*, 2024) ชันสนกับสารส้ม (Jablonsky *et al.*, 2020) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) (Shankar and Rhim, 2018) แป้งดัดแปร (modified starch) ไข (wax) (Shen *et al.*, 2020) และน้ำยางพารา (Khongtong and Patjun, 2013) เป็นต้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งกาบไผ่มาเตรียมเป็นกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ โดยกระดาษจะเตรียมจากเยื่อที่ผ่านการไม่ฟอกขาวซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อยและเหมาะสมกับการเตรียมกระดาษสำหรับงานด้านบรรจุภัณฑ์ในชุมชน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือการเตรียมกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำจากกาบไผ่ โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเยื่อกาบไผ่ที่ไม่ฟอกขาวสำหรับการขึ้นรูปกระดาษ สารต้านทานการดูดซึมน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ แอลคิลคีทีนไดเมอร์ (AKD) ชันสนกับสารส้ม ไคโตซาน น้ำยางพารา และไขถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังศึกษาชนิดและปริมาณของสารต้านทานการดูดซึมน้ำที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวของกระดาษ

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

กาบไผ่ตงแห้งจากอำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) จากบริษัท LOBA CHEMIE. สารแอลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl Ketene Dimer, AKD) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Kemira Co. Ltd (Thailand) ไคโตซาน (Chitosan)

น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ชั้นสน(Rosin)กับอะลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium sulphate) หรือสารส้ม และไขถั่วเหลือง (Soy wax) จากบริษัท Labsystem Co., Ltd. (Thailand) และน้ำยาล้างจาน จากบริษัท World Chemical Far East Company Limited (Thailand). กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 97 จากบริษัท RCI Labscan Limited. เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 จากบริษัท Duksan Pure Chemicals Co., Ltd.

## 2.2 การเตรียมเยื่อกระดาษ

วิธีการเตรียมเยื่อจากกาบไผ่ตัดแปลงมาจากวิธีของ Haruthaithanasan *et al.* (2022) โดยนำกาบไผ่มาตัดเป็นชิ้นขนาด 2x2 เซนติเมตร และนำไปต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้กาบไผ่นิ่มและเป็นการทำความสะอาดกาบไผ่ จากนั้นแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1 คืน และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำเยื่อกระดาษที่ได้ไปกรองด้วยผ้าขาวบางและล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดจนค่า pH เป็นกลาง จากนั้นทำการคั้นหรือบีบเยื่อกระดาษให้หมดเกือบบรรจุใส่ถุงซิปล็อคและแช่เก็บไว้ในห้องเย็นจนกว่าจะนำมาใช้งาน

## 2.3 การขึ้นรูปกระดาษ

### 2.3.1 การขึ้นรูปกระดาษที่ไม่เติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ

นำเยื่อกระดาษที่คั้นหรือบีบน้ำให้หมด มาชั่งน้ำหนัก คือ 10 ถึง 100 กรัม โดยการเพิ่มน้ำหนักเยื่อกระดาษครั้งละ 10 กรัม จากนั้นนำเส้นใยใส่ลงในเครื่องปั่น (รุ่น EM-14, Sharp, Thailand) ทำการปั่นที่ความเร็วประมาณ 13,300 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้เยื่อกระดาษตัวและละเอียด อัตราส่วนเยื่อต่อน้ำ คือ 1 กรัม : 50 มิลลิลิตร จากนั้นเทเยื่อกระดาษที่ปั่นเตรียมไว้ ลงไปในแม่พิมพ์ขนาด 11x8.5 นิ้ว ที่วางอยู่บนผิวหน้าในถาดพลาสติกที่เติมน้ำไว้ประมาณครึ่งถาด ทำการเกลี่ยเยื่อให้กระจายทั่วแม่พิมพ์ให้สม่ำเสมอ เสร็จแล้วยกแม่พิมพ์ขึ้นมาจนสะอาด น้ำ จากนั้นตากไว้ที่เหนือถาดพลาสติกให้น้ำหยดออกมาจากเยื่อกระดาษจนหมด แล้วนำไปผึ่งแดด เป็นเวลา 1-2 วัน จนกระดาษแห้ง จากนั้นนำกระดาษตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักและ

ความหนา เทียบกับกระดาษสาที่มีขายในท้องตลาด เพื่อศึกษาปริมาณเยื่อกระดาษที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระดาษ โดยน้ำหนักเยื่อกระดาษที่เหมาะสมใช้ในการเตรียมกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำในขั้นถัดไป แผนผังการออกแบบการทดลองการเตรียมเยื่อกระดาษจากกาบไผ่และการเตรียมกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำ ดังแสดงใน Figure 1

### 2.3.2 การเตรียมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ และการขึ้นรูปกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำ

สารต้านทานการดูดซึมน้ำที่ใช้ในการศึกษามี 5 ชนิด ได้แก่ ชั้นสนกับสารส้ม ไคโตซาน AKD ไขถั่วเหลือง และน้ำยาล้างจาน สารต้านทานการดูดซึมน้ำที่ต้องมีการเตรียมก่อนนำไปผสมกับเยื่อกระดาษ คือ ชั้นสนกับสารส้ม ไคโตซาน และไขถั่วเหลือง สารต้านทานการดูดซึมน้ำเหล่านี้ถูกนำไปปั่นผสมกับเยื่อกระดาษในอัตราส่วนร้อยละ 1, 2, 3, และ 4 โดยน้ำหนักขึ้นกับน้ำหนักของเยื่อกระดาษ จากนั้นนำเยื่อกระดาษมากระจายตัวในน้ำโดยใช้อัตราส่วนเยื่อต่อน้ำ คือ 1 กรัม : 50 มิลลิลิตร บันเยื่อให้กระจายในน้ำ 10 วินาที เติมน้ำยาล้างจานการดูดซึมน้ำที่ปริมาณต่าง ๆ ผสมรวมกับเยื่อและบันเพื่อให้เยื่อกระจายและผสมกันเป็นเวลา 30 วินาที และขึ้นรูปโดยเทและกระจายเยื่อกระดาษตามข้อ 2.3.1

- สารละลายชั้นสนกับสารส้มเตรียมตามวิธีของ โสรญา สัมเขียวหวาน (Somkeawwaan and Chongkhong, 2014) โดยนำสารส้มมาละลายในน้ำ DI ในขณะที่ชั้นสนละลายในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร และเติมชั้นสนและสารส้มลงในเยื่อที่กระจายตัวในโถปั่นโดยใช้อัตราส่วนชั้นต่อสารส้มคือ 1:1

- ไคโตซานน้ำหนัก 10 กรัม ละลายในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนไคโตซานละลายและทำการผสมกับเยื่อกระดาษ

- ไขถั่วเหลืองที่ปริมาณร้อยละ 1, 2, 3, และ 4 โดยน้ำหนักเยื่อกระดาษ นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ไขถั่วเหลืองละลาย และนำไปผสมกับเยื่อกระดาษ

- AKD หรือ น้ำยาล้างจาน ที่ปริมาณร้อยละ 1, 2, 3, และ 4 โดยน้ำหนัก นำมาผสมกับเยื่อกระดาษที่กระจายตัวในน้ำ และบันเยื่อให้ผสมกับสารต้านทานการดูดซึมน้ำเป็นเวลา 30 วินาที และขึ้นรูปโดยเทและกระจายเยื่อกระดาษตามข้อ 2.3.1

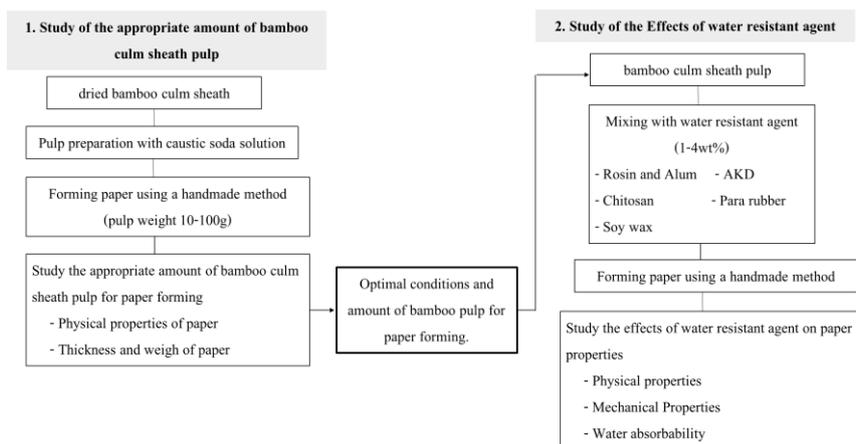


Figure 1 Schematic diagram of the experimental design

### 2.3.3 การวิเคราะห์ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และทดสอบกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำจากกาบไผ่

การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต (yield) ของเยื่อที่ได้จากกาบไผ่ โดยนำเยื่อกาบไผ่ที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของกาบไผ่ที่เป็นวัตถุดิบ และน้ำหนักแห้งของเยื่อกาบไผ่ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad (1)$$

ค่าน้ำหนักกระดาษ โดยบันทึกน้ำหนักของกระดาษที่ขายตามท้องตลาดกับชั่งน้ำหนักกระดาษเยื่อกาบไผ่ที่เตรียมได้ เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของกระดาษสาทางการค้าและทำการวัดขนาดความกว้างและยาวของกระดาษ เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ โดยทำการวัดค่าเฉลี่ยจำนวน 3 ซ้ำ

ความหนาของกระดาษสาที่ขายตามท้องตลาด และกระดาษเยื่อกาบไผ่ ทำการวัดความหนานกระดาษตัวอย่างเฉลี่ย 10 จุด ด้วยเครื่องวัดความหนาแบบกด (Mitutoyo รุ่น 7301 ประเทศญี่ปุ่น)

ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของกระดาษ วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter ยี่ห้อ 3nh รุ่น NR10QC) การวัดค่าความสว่างและค่าสีใช้มาตรฐาน CIE ( $L^* a^* b^*$ ) โดยวัดค่าเฉลี่ย 10 จุดบนกระดาษ

การกระจายตัวของสารต้านทานการดูดซึมน้ำบนเนื้อกระดาษ และการเปียกของหยดน้ำ ทำการศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายและภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope; olympus รุ่น SZ61) ที่กำลังขยาย 45 เท่า

สมบัติเชิงกล เช่น ค่าการทนต่อแรงดึง ค่ายังมอดุลัส และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของกระดาษตัวอย่างในสภาวะแห้ง ด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซล (Universal Testing Machine; UTM, DSS-10T) มาตรฐาน ISO3781 : 1983 ตัดขนาดของกระดาษขนาด 1.5X 15 เซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น ความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษ นำกระดาษตัวอย่างมาตัดให้ได้ขนาดประมาณ 2x2 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น นำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักหลังอบแห้ง ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จดบันทึกผล แล้วนำมาแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำกระดาษตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินออก แล้วทำการชั่งน้ำหนักหลังแช่และจดบันทึกแล้วคำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำของกระดาษ

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (2)$$

การวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ การศึกษาความสามารถในการเปียกของหยดน้ำบนผิวสัมผัสของกระดาษวัดจากค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยใช้เทคนิค Contact angle โดยตัดกระดาษขนาด 55 เซนติเมตร จากนั้นหยดน้ำลงบนกระดาษ และศึกษามุมสัมผัสด้วยการวัดค่ามุมด้วยเครื่อง contact angle (contact angle ; KYOWA Interface Science รุ่น DMs-401)

การวิเคราะห์ทางสถิติ ผลของน้ำหนักเยื่อกาบไผ่และปริมาณของสารต้านทานการดูดซึมน้ำต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษ ดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และใช้โปรแกรมวิเคราะห์ ทางสถิติ SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's mean separation

test ในการวิเคราะห์ทางสถิตินี้ดำเนินการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $\alpha=0.05$ )

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

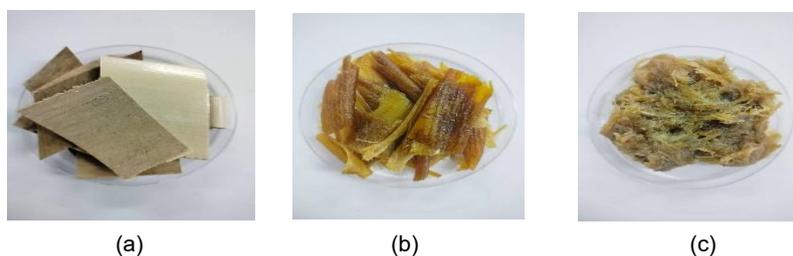
#### 3.1 ร้อยละผลผลิตเยื่อกระดาษที่ไม่เตรียมได้

Figure 2 (a) แสดงลักษณะเส้นใยกระดาษแห้งที่เป็นวัตถุดิบ Figure 2 (b) และ (c) เส้นใยหลังจากการต้มด้วยน้ำเปล่าและแช่สารละลาย NaOH ผลการศึกษพบว่าเมื่อเส้นใยผ่านการต้มด้วยสารละลาย NaOH เส้นใยจะแตกออกเป็นไมโครไฟบริลหรือเส้นใยสั้นจำนวนมาก เกิดเนื่องจากการหลุดและการละลายออกของสารที่ช่วยยึดเส้นใยไมโครไฟบริลให้เกาะกลุ่มในเส้นใยธรรมชาติ เช่น สารเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในเส้นใยพืชที่สามารถละลายได้ในสารละลายเบส เมื่อมีการกำจัดสารดังกล่าวออกจากเส้นใย จึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสสามารถแยกออกจากกันเป็นเส้นสั้น ๆ ได้ (Kanjanakarn *et al.*, 2015; Thandavamoorthy *et al.*, 2023) อย่างไรก็ตาม หลังจากกระบวนการแช่ด้วยสารละลาย NaOH พบว่าเส้นใยจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปกรองด้วยผ้าขาวบางล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดจนค่าพีเอชเป็นกลาง สีน้ำตาลของเส้นใยจะอ่อนลง ร้อยละผลผลิตของเยื่อกระดาษที่ไม่ผ่านการฟอกมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 45.79

#### 3.2 การประเมินความหนา และน้ำหนักของกระดาษเยื่อกระดาษ

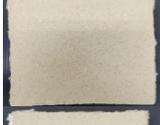
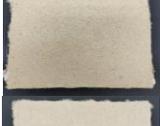
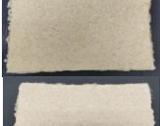
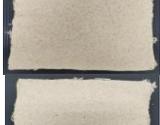
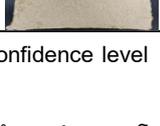
ในการผลิตกระดาษด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบทำมือ (handmade) มักนิยมใช้วิธีการตัดเยื่อกระดาษ ซึ่งอาจจะทำให้ความหนาของเยื่อกระดาษไม่สม่ำเสมอ งานวิจัยส่วนนี้ได้ศึกษาปริมาณของเยื่อกระดาษที่ไม่ฟอกขาวที่เหมาะสมสำหรับใช้ขึ้นกระดาษด้วยวิธีการกำหนดน้ำหนักและกระจายเยื่อในแม่พิมพ์กระดาษแทนการตัดกระดาษ โดยประเมินสภาวะที่เหมาะสมจากความสามารถในการกระจายของเยื่อได้เต็มแผ่น และลักษณะทางกายภาพ เช่น การโค้งงอ หรือการหดตัวของกระดาษ และมีการศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำหนักและความหนาของกระดาษสาทางการค้าที่ขายในท้องตลาด

Table 1 แสดงลักษณะทางกายภาพ ความหนาและน้ำหนักของกระดาษจากเยื่อกระดาษ จากการศึกษพบว่าน้ำหนักเยื่อเปียกที่ปริมาณ 10-20 กรัม ไม่สามารถเกลี่ยให้เยื่อกระดาษเต็มแม่พิมพ์ได้ อย่างไรก็ตามพบว่ากระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีกำหนดน้ำหนักของเยื่อกระดาษและการเกลี่ยเยื่อในแม่พิมพ์แทนวิธีการตัดกระดาษ ทำให้กระดาษที่เตรียมได้น้ำหนักสูงกว่ากระดาษสาทางการค้าจากการสังเกต พบว่าปริมาณเยื่อกระดาษที่ไม่ฟอกขาวที่เหมาะสมในการขึ้นรูป คือ 40 กรัมซึ่งมีความหนาและน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ  $0.53 \pm 0.9$  มิลลิเมตร และ  $245.94 \pm 32.74$  กรัมต่อตารางเมตร ( $\text{g/m}^2$ ) ที่ปริมาณเยื่อ 40 กรัม ทำให้กระดาษที่เตรียมได้โก่งและหดตัวน้อยที่สุดและมีความแข็งแรงสามารถพับและรีดได้ โดยที่กระดาษไม่ขาดออกจากกัน เมื่อเทียบกับกระดาษที่ขึ้นรูปจากน้ำหนักเยื่ออื่น ๆ ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของเยื่อกระดาษไม่ฟอกขาวที่ใช้ขึ้นรูปกระดาษ คือ 40 กรัม จะถูกนำไปใช้ในการเตรียมกระดาษสาต้านทานการดูดซึมน้ำในขั้นต่อไป



**Figure 2** Physical appearance of (a) bamboo sulm sheath (b) pulp after soaking in NaOH solution for 24 hours (c) pulp after heating in NaOH solution for 4 hours

**Table 1** Physical appearance, thickness and weight of handmade paper from bamboo Culm Sheath without bleaching

Formular (gram)	Thickness (mm)	weight (g/m <sup>2</sup> )	Handmade paper
Commercial handmade paper	0.68 <sup>a</sup> ±0.12	117.57 <sup>a</sup> ±6.75	
30	0.48 <sup>b</sup> ±0.10	191.35 <sup>ab</sup> ±32.74	
40	0.53 <sup>b</sup> ±0.09	245.94 <sup>b</sup> ±32.74	
50	0.59 <sup>b</sup> ±0.10	350.63 <sup>c</sup> ±48.11	
60	0.59 <sup>b</sup> ±0.2	411.37 <sup>cd</sup> ±62.15	
70	0.642 <sup>b</sup> ±0.18	504.20 <sup>d</sup> ±23.11	
80	0.66 <sup>b</sup> ±0.18	605.60 <sup>e</sup> ±70.90	
90	0.67 <sup>b</sup> ±0.16	875.68 <sup>f</sup> ±96.57	
100	0.70 <sup>a</sup> ±0.15	966.86 <sup>f</sup> ±63.12	

Mean of the same column with different superscripts indicating significantly differences at 95% confidence level

### 3.2 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษเยื่อจากไผ่

#### 3.2.1 น้ำหนักและความหนาของกระดาษ

Table 2 แสดง น้ำหนักและความหนาของกระดาษเยื่อจากไผ่ที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักและความหนาของกระดาษที่เติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 248.18-912.54 g/m<sup>2</sup> และ 0.78-1.92 mm ตามลำดับ การเติมชั้นสนน้ำยางพาราและไขถั่วเหลืองส่งผลให้น้ำหนักของกระดาษเพิ่มสูงขึ้น ชั้นสนกับสารส้มทำให้น้ำหนักของกระดาษสูงกว่าสารต้านทานการดูดซึมน้ำชนิดอื่น ๆ เนื่องจากการเติมสารโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม เพื่อเกิดพันธะทางเคมีระหว่างอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำ และการมีอยู่ของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่มี

น้ำหนักโมเลกุลสูงในโครงสร้างที่ยึดติดกับเซลลูโลส อาจเป็นผลให้น้ำหนักของกระดาษเพิ่มขึ้น (Gess, 1996) ในขณะที่สาร AKD และโคโตซานทำให้น้ำหนักของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ความหนาของกระดาษต้านทานการดูดซึมน้ำจากเยื่อจากไผ่มีค่าอยู่ในช่วง 0.78-1.92 มิลลิเมตร การเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำทำให้กระดาษเยื่อจากไผ่มีความหนาเพิ่มขึ้น ความหนาของกระดาษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารต้านทานการดูดซึมน้ำจากร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนัก ยกเว้นน้ำยางพารา เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 ถึง 4 โดยน้ำหนักทำให้ความหนาของกระดาษไม่แตกต่างกันมาก การเติมไขถั่วเหลืองที่ปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักส่งผลให้กระดาษมีความหนาสูงที่สุด

### 3.2.2 ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียวแดง และค่าความเป็นสีน้ำเงินเหลือง

Table 2 แสดงค่าสี L\* a\* b\* ของกระดาษเยื่อจากไผ่ที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ โดยความหมายของค่า L\* เป็นบวกร คือ ค่าความสว่าง ผลการศึกษาพบว่า การเติม AKD ส่งผลให้กระดาษมีค่าความสว่างสูงกว่ากระดาษที่การเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ การเติม AKD ที่ร้อยละ 4 ทำให้กระดาษมีค่าความสว่างสูงสุด ( $P \leq 0.05$ ) เท่ากับ  $83.12 \pm 0.74$  แต่เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกระดาษที่เติมสาร AKD พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ AKD จากร้อยละ 1-4 โดยน้ำหนักส่งผลให้ค่าความสว่างของกระดาษไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเติมชั้นสนกับสารส้ม ไคโตซาน ยางพารา และไขถั่วเหลือง ไม่ส่งผลต่อค่าความสว่างของกระดาษ

เมื่อพิจารณาค่าสี a\* และ b\* พบว่าค่า a\* เป็นบวกร คือ ค่าสีแดงและค่า b\* เป็นบวกร คือค่าสีเหลือง จาก

ตารางที่ 2 พบว่า การเติมน้ำยางพาราส่งผลให้กระดาษมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองสูงกว่าการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำชนิดอื่น ๆ การเติมน้ำยางพาราที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ทำให้กระดาษมีค่าสีแดงและสีเหลืองสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) เท่ากับ  $6.34 \pm 0.85$  และ  $19.73 \pm 1.27$  ตามลำดับ ในขณะที่การเติม AKD และไคโตซาน ส่งผลให้ค่าสีแดงและสีเหลืองของกระดาษเยื่อจากไผ่ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานและAKDจากร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนัก ไม่ทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของกระดาษแตกต่างกันมากนัก แต่การเติมไคโตซานที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองกระดาษเพิ่มขึ้น การเติม AKD ที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักทำให้กระดาษมีค่าสีแดงและสีเหลืองน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมสารชนิดอื่น ๆ ( $P \leq 0.05$ ) คือ  $2.93 \pm 0.08$  และ  $9.96 \pm 0.12$  ตามลำดับ ค่าสีแดงและสีเหลืองของกระดาษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของชั้นสนกับสารส้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมไขถั่วเหลืองไม่ส่งผลต่อค่าสีเหลืองและค่าสีแดงของกระดาษ ( $P \geq 0.05$ )

**Table 2** Thickness, weight and L a b color of handmade paper from bamboo Culm Sheath with water-resistant agents

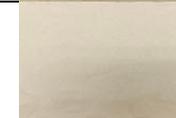
Formulation	Content (wt%)	Thickness (mm)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	L a b color value		
				(L)	(a)	(b)
handmade paper	0	0.53 <sup>a</sup> ±0.09	245.94 <sup>a</sup> ±32.74	77.86 <sup>bcde</sup> ±0.99	4.23 <sup>ef</sup> ±0.20	12.98 <sup>f</sup> ±0.13
Rosin+Alum	1	0.81 <sup>b</sup> ±0.08	417.78 <sup>c</sup> ±7.56	79.68 <sup>gh</sup> ±1.43	4.65 <sup>gh</sup> ±0.39	13.84 <sup>g</sup> ±0.85
	2	0.96 <sup>de</sup> ±0.12	640.96 <sup>e</sup> ±11.75	78.18 <sup>cdef</sup> ±1.55	5.33 <sup>j</sup> ±0.41	15.68 <sup>h</sup> ±0.80
	3	1.00 <sup>e</sup> ±0.14	728.76 <sup>f</sup> ±22.24	77.12 <sup>bcd</sup> ±2.04	4.39 <sup>fg</sup> ±0.53	15.91 <sup>f</sup> ±0.87
	4	1.15 <sup>f</sup> ±0.18	912.54 <sup>g</sup> ±41.55	73.78 <sup>a</sup> ±1.75	5.89 <sup>k</sup> ±0.21	16.57 <sup>i</sup> ±0.59
AKD	1	0.83 <sup>bc</sup> ±0.08	255.36 <sup>a</sup> ±2.03	81.89 <sup>i</sup> ±0.53	2.93 <sup>a</sup> ±0.08	9.96 <sup>a</sup> ±0.12
	2	0.78 <sup>b</sup> ±0.09	261.59 <sup>a</sup> ±42.50	80.96 <sup>hi</sup> ±1.07	3.50 <sup>bc</sup> ±0.15	11.02 <sup>bc</sup> ±0.34
	3	0.86 <sup>bc</sup> ±0.12	278.17 <sup>a</sup> ±12.76	81.15 <sup>i</sup> ±1.15	3.17 <sup>ab</sup> ±0.18	10.40 <sup>ab</sup> ±0.33
	4	1.00 <sup>e</sup> ±0.15	277.79 <sup>ab</sup> ±18.35	83.12 <sup>j</sup> ±0.74	3.12 <sup>ab</sup> ±0.18	10.99 <sup>bc</sup> ±0.44
Chitosan	1	0.92 <sup>cde</sup> ±0.08	248.18 <sup>a</sup> ±3.94	77.52 <sup>bcd</sup> ±0.60	3.61 <sup>c</sup> ±0.11	11.59 <sup>cd</sup> ±0.28
	2	0.91 <sup>cde</sup> ±0.07	250.60 <sup>a</sup> ±7.84	78.31 <sup>defg</sup> ±1.57	3.85 <sup>cde</sup> ±0.14	11.96 <sup>de</sup> ±0.36
	3	0.89 <sup>bcd</sup> ±0.06	255.21 <sup>a</sup> ±35.57	79.40 <sup>fg</sup> ±0.65	3.74 <sup>cd</sup> ±0.15	11.52 <sup>cd</sup> ±0.34
	4	1.00 <sup>e</sup> ±0.14	260.05 <sup>a</sup> ±11.52	77.96 <sup>bcd</sup> ±0.53	5.24 <sup>ij</sup> ±0.23	15.76 <sup>h</sup> ±0.46
Para rubber	1	1.47 <sup>g</sup> ±0.12	383.39 <sup>b</sup> ±15.12	79.15 <sup>efg</sup> ±1.02	4.79 <sup>cde</sup> ±0.45	15.31 <sup>h</sup> ±1.21
	2	1.54 <sup>g</sup> ±0.19	523.77 <sup>d</sup> ±21.85	76.86 <sup>bcd</sup> ±1.47	4.89 <sup>hi</sup> ±0.23	15.59 <sup>h</sup> ±0.85
	3	1.43 <sup>g</sup> ±0.18	539.08 <sup>d</sup> ±21.85	78.25 <sup>cdefg</sup> ±2.57	5.84 <sup>k</sup> ±1.15	18.13 <sup>i</sup> ±1.46
	4	1.46 <sup>g</sup> ±0.16	542.64 <sup>d</sup> ±45.94	76.74 <sup>bc</sup> ±1.26	6.34 <sup>l</sup> ±0.85	19.73 <sup>k</sup> ±1.27

Table 2 (Continuous)

Formulation	Content (wt%)	Thickness (mm)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	L a b color value		
				(L)	(a)	(b)
Soy wax	1	1.55 <sup>g</sup> ±0.12	245.19 <sup>c</sup> ±0.19	77.97 <sup>cd</sup> ±1.79b	4.66 <sup>gh</sup> ±0.29	13.84 <sup>g</sup> ±0.80
	2	1.77 <sup>g</sup> ±0.10	431.75 <sup>e</sup> ±14.61	76.55 <sup>b</sup> ±1.32	4.37 <sup>fg</sup> ±0.60	12.56 <sup>ef</sup> ±0.99
	3	1.80 <sup>h</sup> ±0.09	543.75 <sup>f</sup> ±49.16	79.09 <sup>efg</sup> ±1.93	4.14 <sup>def</sup> ±0.39	13.19 <sup>fg</sup> ±1.02
	4	1.92 <sup>i</sup> ±0.08	633.31 <sup>f</sup> ±25.73	76.49 <sup>b</sup> ±2.23	4.20 <sup>ef</sup> ±0.46	13.18 <sup>fg</sup> ±0.73

\*Mean values with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level

Table 3 Physical appearance of handmade paper from bamboo Culm Sheath with water-resistant agents

Type	water-resistant agent content (wt%)				
	0	1	2	3	4
Rosin+ Alum					
AKD					
Chitosan					
Para rubber					
Soywax					

### 3.2.3 ทศนศาสตร์ของกระดาษ

Table 3 แสดงภาพถ่ายของกระดาษเยื่อจากไม้ที่เติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำชนิดและปริมาณต่าง ๆ เพื่อศึกษาสีของกระดาษด้วยตาเปล่า จากตารางพบว่า การเติมชั้นสนกับสารส้มและน้ำยางพาราส่งผลให้กระดาษมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น แต่การกระจายตัวของสีกระดาษไม่สม่ำเสมอซึ่งเกิดจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของชั้นสนกับสารส้ม และน้ำยางพาราในเนื้อกระดาษ ที่ปริมาณการเติมสารเติมแต่งความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก) สามารถสังเกตเห็นการเกาะกลุ่มกันของชั้นสนและยางพาราที่ผิวของกระดาษ ในขณะที่การเติม AKD เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระดาษมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แต่สีเหลืองของกระดาษลดลง จากการสังเกตพบว่า AKD สามารถกระจาย

ตัวได้ดีในเนื้อกระดาษ เนื่องจากไม่พบการเกาะกลุ่มกันของ AKD และสีของกระดาษมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ Bildik *et al.* (2016) ได้รายงานว่าการเติมสาร AKD ที่มีการกระจายตัวในเนื้อกระดาษที่ดีช่วยให้ค่าความสว่างของกระดาษเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อสังเกตสีกระดาษด้วยตาเปล่าพบว่า การเติมโคโตซานที่ร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนักทำให้สีของกระดาษไม่แตกต่างจากสีกระดาษที่ไม่มีการเติมสารโคโตซานมากนัก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโคโตซานที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ทำให้กระดาษจะมีสีเหลืองมากขึ้น และมีการกระจายของสีที่ไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่การเติมไขถั่วเหลืองไม่เปลี่ยนแปลงสีของกระดาษมากนัก แต่การกระจายตัวของสีกระดาษที่ไม่สม่ำเสมอ และยังพบการเกาะกลุ่มของไขถั่วเหลืองบนผิวกระดาษ

**Table 4** Physical appearance of handmade paper from bamboo Culm Sheath with water-resistant agents by using stereo microscope at 45x magnification

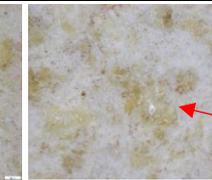
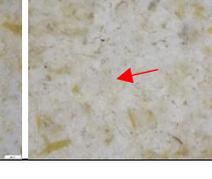
Type	water-resistant agent content (wt%)				
	0	1	2	3	4
Rosin+ Alum					
AKD					
Chitosan					
Para rubber					
Soywax					

Table 4 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระดาษที่เติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ ด้วยกลองจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่กำลังขยาย 45 เท่า จากตารางแสดงให้เห็นการกระจายตัวของสารต้านทานการดูดซึมน้ำในเนื้อกระดาษได้ การเติมชั้นสนกับสารส้ม และน้ำยางพารา ทำให้กระดาษมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติม AKD ไคโตซาน และไขถั่วเหลืองทำให้ลักษณะสีและพื้นผิวของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดย AKD และไคโตซานสามารถกระจายตัวในเนื้อกระดาษได้ดี (Kongtut *et al.*, 2012; Varshoei *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตามพบการเกาะกลุ่มกันของไคโตซานที่ปริมาณสูง (ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก) ในขณะที่การเติมชั้นสนกับสารส้ม น้ำยางพารา และไขถั่วเหลืองกระจายตัวในเนื้อกระดาษได้ดีกว่า AKD และไคโตซาน เนื่องจากสามารถสังเกตเห็นการเกาะกลุ่มกันของสารเติมแต่งได้ที่ปริมาณร้อยละ 1-4 โดยน้ำหนัก

### 3.2.4 สมบัติเชิงกล

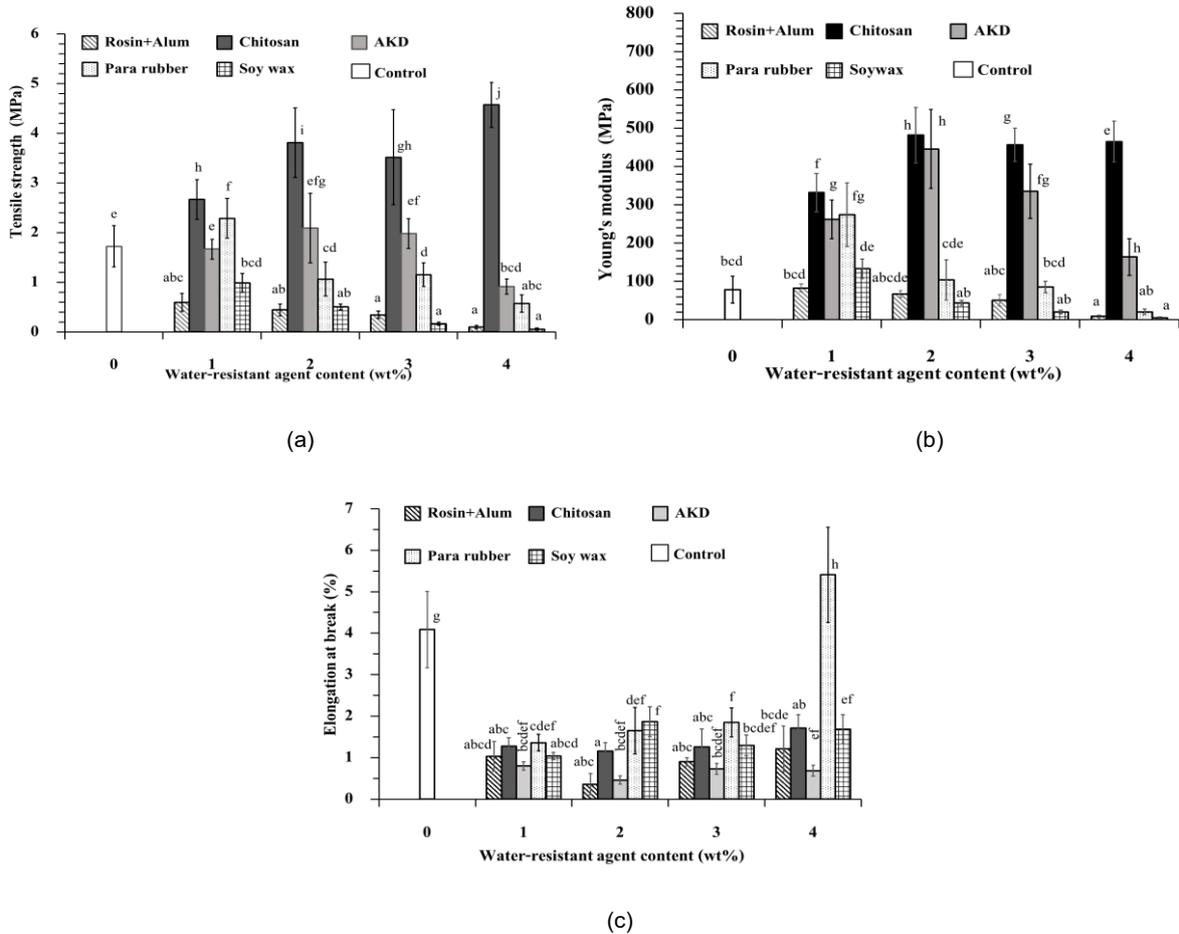
สมบัติเชิงกลของกระดาษเยื่อจากใบที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ ประเมินจากการทดสอบแรงดึง (tensile properties) ของกระดาษ Figure 3 แสดง (a) ค่าการทนต่อแรงดึง (tensile strength) (b) ค่ายังมอดุลัส (Young's modulus) และ (c) ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) ของกระดาษที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ จากการศึกษาพบว่าค่าการทนต่อแรงดึง ค่ายังมอดุลัส และค่าร้อยละการยืดตัวของกระดาษมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารต้านทานการดูดซึมน้ำ โดยพบว่าการเติมไคโตซานที่ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดุลัสของกระดาษมีค่าสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) คือ  $3.81 \pm 0.70$  และ  $482.02 \pm 72.40$  เมกะปาสคาล ตามลำดับ ในขณะที่การเติม AKD ส่งผลให้ค่ายังมอดุลัสของกระดาษเยื่อจากใบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นรองจากไคโตซาน แต่การเติม AKD ไม่ส่งผลต่อค่าการทนต่อแรงดึงของกระดาษ สาเหตุที่ไคโตซานและ

AKD ช่วยปรับปรุงสมบัติค่ายังมอดูลัสของกระดาษ เนื่องจากสารทั้งสองชนิดสามารถเกิดพันธะและยึดติดกับเส้นใยกระดาษได้ และสามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อกระดาษ (Gülsoy and Uysal, 2020) ได้กล่าวว่าการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงค่าการทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดูลัสของกระดาษ สารนั้นต้องเกิดการเชื่อมกันกับเส้นใยกระดาษ หรือเติมเต็มช่องว่างของกระดาษได้ มีความเข้ากันกับกระดาษและกระจายตัวได้ดีในเนื้อกระดาษ Bhardwaj *et al.* (2020) ได้รายงานว่ไคโตซานสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยและหมู่อะมิโนของไคโตซาน และยังพบว่าไคโตซานสามารถเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใย Bildik *et al.* (2016) ได้รายงานว่ AKD สามารถเกิดพันธะเบต้าคีโตเอสเทอร์ (beta-keto ester bond) เชื่อมกันกับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กระดาษได้

การเติมชั้นสนกับสารส้ม และไขถั่วเหลือง ส่งผลให้สมบัติการทนต่อแรงดึงของกระดาษมีแนวโน้มลดลง

เนื่องจากสารทั้งสองชนิดกระจายตัวในเนื้อกระดาษได้ต่ำ ในขณะที่การเติมน้ำยางพาราที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดูลัสของกระดาษเยื่อทาบไผ่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำยางพาราเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวสามารถยึดติดกับเส้นใยของเซลลูโลสได้ด้วยการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ (Chain entanglement) (Khongtong and Patjun, 2013)

เมื่อพิจารณาร้อยละการยึดตัวของกระดาษพบว่า การผสมเยื่อกระดาษกับน้ำยางพาราที่ร้อยละ 4 ส่งผลให้ค่าร้อยละการยึดตัว ณ จุดขาด ของกระดาษเพิ่มขึ้น 32% เนื่องจากน้ำยางพารามีสมบัติความยืดหยุ่นสูง แต่การผสมเยื่อกระดาษกับชั้นสนกับสารส้ม AKD ไคโตซาน ไขถั่วเหลือง ส่งผลให้กระดาษยึดตัวได้น้อยกว่ากระดาษเยื่อทาบไผ่



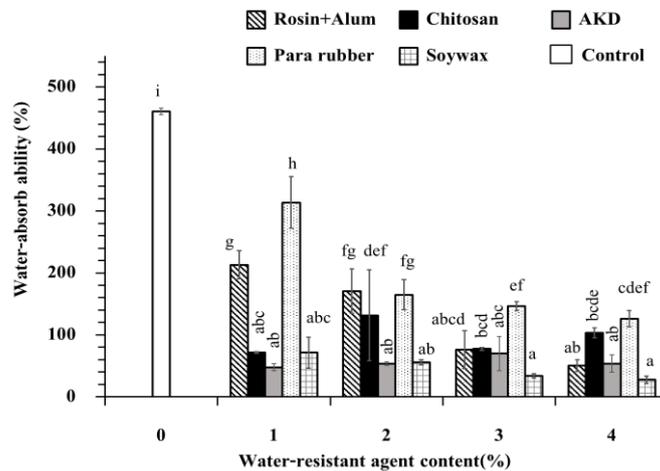
\*Mean values with the same lowercase letters in each picture are not significantly different at 95% confidence level

**Figure 3** (a) Tensile strength (b) Young's modulus and (c) elongation at break of handmade paper from bamboo Culm Sheath with water-resistant agents (control as paper from bamboo culm sheath without water resistant agent)

3.2.5 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

Figure 4 แสดงความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อจากไม้ที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ ผลการทดลองพบว่า กระดาษเยื่อจากไม้มีค่าการดูดซึมน้ำที่ประมาณ 460.55% และการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำทำให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณสารต้านทานการดูดซึมน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษลดลง โดยกระดาษที่เติมสารเติมแต่งมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 27.68-313.61% เมื่อพิจารณาผลของชนิดสารต้านทานการดูดซึมน้ำ พบว่าความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อจากไม้ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารต้านทานการดูดซึมน้ำ การเติมไขถั่วเหลืองที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อจากไม้ได้สูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) ประมาณ 93.98% เนื่องจากไขถั่วเหลืองเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันที่มีคาร์บอนที่เป็นสายยาว (C16 และ C18) มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไขถั่วเหลืองที่มีอนุภาคขนาดใหญ่สามารถเคลือบติดบนผิว

เส้นใยและปิดช่องว่างภายในเนื้อกระดาษ จึงช่วยให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำได้ (Shen *et al.*, 2020) สารเติมแต่งที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำอันดับรองลงมา คือ AKD ที่ร้อยละ 1 ไคโตซาน ที่ร้อยละ 1 และชันสนกับสารส้มที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก โดยพบว่า AKD และ ชันสนกับสารส้มเมื่อเกิดพันธะกับเส้นใยจะเกิดหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำ (Varshoei *et al.*, 2013) ในขณะที่ไคโตซานสามารถยึดเกาะกับเส้นใยและเติมเต็มช่องว่างของกระดาษ อีกทั้งไคโตซานไม่สามารถละลายได้ในน้ำ จึงช่วยให้กระดาษมีความต้านทานการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ในกรณีของน้ำยางพาราเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำเมื่อเคลือบติดบนเส้นใยของกระดาษ จึงช่วยให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำได้ (Khongtong and Patjun, 2013) อย่างไรก็ตาม การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระดาษ พบว่าชันสนกับสารส้ม และยางพารากระจายตัวในเนื้อกระดาษไม่สม่ำเสมอ มีการเกาะกลุ่มกัน จึงเป็นสาเหตุให้มีความสามารถในการต้านทานน้ำต่ำกว่าสารชนิดอื่น ๆ ยกเว้นการเติมชันสนกับสารส้มที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก



\*Mean values with the same lowercase letters are not significantly different at 95% confidence level

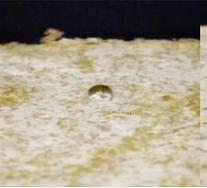
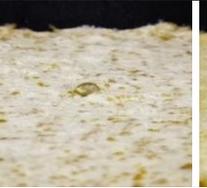
**Figure 4** Water absorption ability of handmade paper from bamboo Culm Sheath with water-resistant agents (control as paper from bamboo culm sheath without water resistant agent)

### 3.2.6 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (Contact angle test) และการเปียกบนพื้นผิว

จาก Table 5 แสดงภาพถ่ายลักษณะการเปียกของหยดน้ำบนพื้นผิวกระดาษเยื่อจากไม้ที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ และ จาก Table 6 แสดงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำบนพื้นผิวกระดาษที่มีการเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำ ผลการศึกษาพบว่า หยดน้ำสามารถเปียกและซึมลงกระดาษเยื่อจากไม้ได้ดี และมุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวกระดาษมีค่า  $19.8^\circ$  บ่งบอกว่ากระดาษสามารถการดูดซึมน้ำได้ดี เมื่อเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำส่งผลให้มุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิว

กระดาษมีค่าสูงขึ้น บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเพิ่มขึ้น โดยสามารถเรียงลำดับชนิดของสารที่ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงจากมากไปน้อย คือ AKD ไชถั่วเหลือง ไคโตซาน ชันสน กับสารส้ม และน้ำยางพารา โดยปริมาณที่เหมาะสมทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงที่สุดขึ้นกับชนิดของสารต้านทานการดูดซึมน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่า การเติม AKD ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิวกระดาษมีค่าสูงที่สุด คือ  $137^\circ$  ซึ่งสูงกว่าการเติมสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ

**Table 5** Wetting characteristics of water droplets on the surfaces of unbleached handmade paper with water-resistant agents

Type	water-resistant agent content (wt%)				
	0	1	2	3	4
Rosin+Alum					
AKD					
Chitosan					
Para rubber					
Soy wax					

**Table 6** Contact angle of water droplet on surfaces of unbleached handmade paper with water-resistant agents

Type	water-resistant agent content (wt%)				
	0	1	2	3	4
Rosin+Alum	 19.8 deg	 50.6 deg	 56.8 deg	 94.6 deg	 123.8 deg
AKD	 19.8 deg	 137.1 deg	 133.2 deg	 115.5 deg	 109.0 deg
Chitosan	 19.8 deg	 91.9 deg	 112.6 deg	 117.6 deg	 105.3 deg
Para rubber	 19.8 deg	 72.7 deg	 107.4 deg	 102.1 deg	 100.2 deg
Soy wax	 19.8 deg	 127.3 deg	 116.9 deg	 124.1 deg	 131.6 deg

#### 4. สรุป

ปริมาณที่เหมาะสมของเยื่อกระดาษไม่ฟอกขาว สำหรับการขึ้นรูปกระดาษ คือ 40 กรัม ปริมาณดังกล่าวทำให้กระดาษมีการโก่งและหดตัวน้อยที่สุด และมีความแข็งแรงสามารถพับและรีดได้ โดยที่กระดาษไม่ขาดออกจากกัน การเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำทำให้กระดาษเยื่อกระดาษมีน้ำหนักและความหนาเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารต้านทานการดูดซึมน้ำสามารถเกาะติดอยู่บนเส้นใยกระดาษได้ ยกเว้น AKD และโคโตซานเมื่อเติมลงในกระดาษจะทำให้น้ำหนักของกระดาษไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก AKD ส่งผลให้กระดาษมีความสว่างสูงกว่ากระดาษที่การเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำชนิดอื่น ๆ ในขณะที่น้ำยางพาราส่งผลให้กระดาษมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของกระดาษสูงที่สุด จากการศึกษาสถาบันวิทยา AKD และโคโตซานมีการกระจายตัวสม่ำเสมอในเนื้อกระดาษ ชันสนกับสารส้ม น้ำยางพารา และไซทิว์เหลืองกระจายตัวในเนื้อกระดาษได้ต่ำกว่า AKD และโคโตซาน ค่าการทนต่อแรงดึง

ค่ายังมอดุลัส และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของกระดาษมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารต้านทานการดูดซึมน้ำ การเติมสารโคโตซาน AKD และน้ำยางพาราช่วยเพิ่มค่ายังมอดุลัสของกระดาษ และการเติมโคโตซานที่ร้อยละ 2 ส่งผลให้กระดาษมีค่าการทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดุลัสสูงที่สุด ในขณะที่ชันสนกับสารส้มและไซทิว์เหลืองทำให้กระดาษมีค่าการทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดุลัสลดลง กระดาษที่ผสมชันสนกับสารส้ม AKD โคโตซาน ไซทิว์เหลือง มีการยืดตัวต่ำกว่ากระดาษเยื่อกระดาษ แต่การเติมยางพาราที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักสามารถปรับปรุงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของกระดาษเยื่อกระดาษได้ การเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษเยื่อกระดาษ เมื่อเพิ่มปริมาณสารต้านทานการดูดซึมน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การเติมไซทิว์เหลืองที่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ทำให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำได้สูงที่สุดอันดับรองลงมา คือ AKD โคโตซาน ชันสนกับสารส้ม และ

น้ำยางพารา หยดน้ำสามารถเปียกและซึมลงกระดาษเยื่อ กาบไผ่ได้ดี แต่เมื่อเติมสารต้านทานการดูดซึมน้ำส่งผลให้ มุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวกระดาษมีค่าสูงขึ้น ซึ่งบ่ง บอถึงความสามารถต้านทานการดูดซึมน้ำของกระดาษสา เพิ่มขึ้น สารที่ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงจากมาก ไปน้อย คือ AKD ไชถั่วเหลือง ไคโตซาน ชันสนกับสารส้ม และน้ำยางพารา และพบว่า การเติม AKD ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและผิว กระดาษมีค่าสูงที่สุด จากการศึกษาสมบัติของกระดาษ ต้านทานน้ำ AKD เป็นสารต้านทานการดูดซึมน้ำที่เหมาะสม สำหรับการขึ้นรูปกระดาษจากกาบไผ่เนื่องจาก AKD ที่ ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเนื่องจากช่วยปรับปรุง ความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำ การซึมผ่าน ของหยดน้ำ สมบัติเชิงกล และปรับปรุงสีของกระดาษให้มี ความสว่างขึ้นโดยที่ความหนาและน้ำหนักของกระดาษเยื่อ กาบไผ่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากกองทุน สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรม (สกว.) ประจำปี พ.ศ. 2566 รหัสโครงการ 4368386 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครสำหรับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ ในการดำเนินการวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

## 6. เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, T., Mia, R., Toki, G.F.I., Jahan, J., Hasan, M.M., Tasin, M.A.S., Farsee, M.S. and Ahmed, S. 2021. Evaluation of sizing parameters on cotton using the modified sizing agent. **Cleaner Engineering and Technology** 5(21): 1-8.
- Bhardwaj, S., Bhardwaj, N.K. and Negi, Y.S. 2020. Effect of degree of deacetylation of chitosan on its performance as surface application chemical for paper-based packaging. **Cellulose** 27: 5337-5352.
- Bildik, A., Hubbe, M. and Gurbo, B. 2016. Alkyl Ketene Dimer (AKD) sizing treatment and charge interactions in recycled paper. **Appita Journal** 69: 331-338.
- Chansaeng, T. 2020. Development of Yarn From Bamboo Sheath and Its Application for Textile Products. Master of Science (Textile Innovation), Rajmangala University of Technology Krungthep.
- Department of Agricultural Extension. 2013. **Bamboo plantations, bamboo varieties and propagation**. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand (AGTF) publisher, Bangkok.
- Gess, J.M. 1996. **The sizing of paper with rosin and alum at acid pHs: Paper Chemistry**. Springer, Dordrecht.
- Gülsoy, S. and Uysal, S. 2020. Effects of Recycled Fiber Fines on Handsheet Properties of Different Unbeaten and Beaten Pulps. **Drvna Industrija** 71: 327-337.
- Hubbe, M.A. 2007. Paper's resistance to wetting - A review of internal sizing chemicals and their effects. **BioResources** 2(1): 106-145.
- Haruthaithanasan, V., Kongtud, W., Thanapase, W., Sampoompuang, C. and Sundhrarajun, S. 2022. Leaf, Spathe, Sprout Coat, and Branch Utilization of *Dendrocalamus latiflorus* and *Bambusa oldhamii*. **Thai Journal of Forestry** 26: 93-104.
- Jablonsky, M., Šima, J. and Lelovsky, M. 2020. Considerations on factors influencing the degradation of cellulose in alum-rosin sized paper. **Carbohydrate Polymers** 245: 116534.
- Kanjanakarn, K., Rattanadilok Na Phuket, S. and Piromthamsiri, K. 2015. Characteristics of Bamboo Fibers obtained from Boilling *Dendrocalamus Asper Baker* Sheath in Sodium Hydroxide Solution. **Journal of Home Economics** 58(3): 41-53.
- Khongtong, S. and Patjun, O. 2013. Developing of Water Resistant Paper by the Addition of Natural Rubber. **Science Essence Journal** 29(2): 263-273.
- Köse, D.G., Gündül, H., Temiz, A., Kuştaş, S. and Aydın, İ. 2017. Effect of alkyl ketene dimer on the physical, mechanical, and biological

- durability of plywood. **BioResource** 13(1): 147-156.
- Kongtud, W., Witayakran, S., Sundhrarajun, S., Sirisansaneeyakul, S. and Changlek, P. 2012. Mechanical property improvement of Jerusalem artichoke paper by coating with chitosan, pp.406-412. *In Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*. Kasetsart University.
- Shen, T., Fan, S., Li, Y., Xu, G. and Fan, W. 2020. Preparation of Edible Non-wettable Coating with Soybean Wax for Repelling Liquid Foods with Little Residue. **Materials (Basel)** 13(15): 3308.
- Shankar, S. and Rhim, J.W. 2018. Antimicrobial wrapping paper coated with a ternary blend of carbohydrates (alginate, carboxymethyl cellulose, carrageenan) and grapefruit seed extract. **Carbohydrate Polymer** 15(196): 92-101.
- Sudchaleaw, S., Saensouk, S., Saensouk, P. and Sungkaew, S. 2023. Species diversity and traditional utilization of bamboos (*Poaceae*) on the Phu Thai Ethnic Group in northeastern Thailand. **Biodiversita** 24: 2261-2271.
- Somkeawwaan, S. and Chongkhong, S. 2014. Feasibility study of simple production of paper from fresh banana peels and residues from Ethanol fermentation. Master of Engineering (Chemical Engineering), Prince of Songkla University.
- Maneewan, S. 2007. Investigation of Physical Properties of Mulberry Paper for Evaporative Cooling. **Naresuan University Journal** 15(2): 63-72.
- Ntifafa, Y., Ji, Y. and Hart, P. 2024. Alkyl Ketene Dimer (AKD) Sized Paper Reversion Due to Oxidative Photodegradation. **TAPPI Journal** 23: 33-45.
- Thandavamoorthy, R., Devarajan, Y. and Thanappan, S. 2023. Analysis of the characterization of NaOH-treated natural cellulose fibre extracted from banyan aerial roots. **Scientific report** 13: 12579.
- Varshoei, A., Javid, E., Rahmaninia, M. and Rahmany, F. 2013. The Performance of Alkylketene Dimer (AKD) for the Internal Sizing of Recycled OCC Pulp. **Lignocellulose** 2: 316-326.
- Rui, Z., Yu, D. and Zhang, F. 2024. Novel cellulose nanocrystal/metal-organic framework composites: Transforming ASA-sized cellulose paper for innovative food packaging solutions. **Industrial Crops and Products** 207: 117771.