http://journal.rmutp.ac.th/

การพัฒนากระดาษจากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันและเปลือกปอสา และสารเคลือบไคโตซาน

ประภาพรรณ ตุ้มทองคำ[1] ณิชกานต์ บัวแต่งตันสกุล[1] รังสิมา ชลคุป[2] อำนาจ เจรีรัตน์[1] สิริยุภา เนตรมัย[3] และ วุฒินันท์ คงทัด[2]*

[1] สำนักวิชาสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

[2] สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] กลุ่มสาขาวิชาชีวนวัตกรรมและผลิตภัณฑ์ฐานชีวภาพอัจฉริยะ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[1] เลขที่ 199 หมู่ 9 ตำบลลุ่มสุ่ม อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี 71150

[2] เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900

[3] เลขที่ 272 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10400

รับบทความ 12 กันยายน 2561 แก้ไขบทความ 9 เมษายน 2562 ตอบรับบทความ 7 พฤษภาคม 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ทำการพัฒนากระดาษจากทะลายปาล์มน้ำมัน (Fb) เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน (M) และเปลือกปอสา (P) แล้วเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน เพื่อนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ถุงกระดาษสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งแบบใช้งานครั้งเดียว จากการศึกษา พบว่า สภาวะการต้มเส้นใย Fb, M และ P ที่เหมาะสมคือ การต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25, 25 และ 15 ที่อุณหภูมิ 170, 170 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สภาวะการฟอกเยื่อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับเยื่อ Fb M และ P คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 40, 40 และ 0.2 ตามลำดับ จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาเตรียมแผ่นกระดาษน้ำหนักมาตรฐาน 109 กรัมต่อตารางเมตร โดยมีอัตราส่วนของเยื่อ Fb M และ P ดังนี้ 70:0:30 (FbP), 0:70:30 (MP) และ 35:35:30 (FbMP) เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของกระดาษ พบว่า กระดาษ FbP มีคุณสมบัติทางกายภาพและ/หรือเชิงกลดีกว่ากระดาษ MP และ FbMP จึงนำไปเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน (ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.6) เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล และลดการซับน้ำ พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 0.4 จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำเยื่อจากเส้นใยทั้งสามชนิดมาผลิตกระดาษที่มีคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติการซับน้ำที่ดีเทียบเท่าหรือดีกว่าถุงกระดาษที่มีอยู่ตามท้องตลาดที่ผลิตจากเยื่อไม้ได้

คำสำคัญ : กระดาษ; ทะลายปาล์มน้ำมัน; เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน; ปอสา; ไคโตซาน

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +660 2942 8500, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: aapwnk@ku.ac.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Development of Paper from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Mesocarp, and Paper Mulberry Fibers, with Chitosan Coating

Praphapan Tumthongkhum[1] Nitchakarn Buataengtansakul[1] Rungsima Chollakup[2] Amnat Jarerat[1] Siriyupa Netramai[3] and Wuttinant Kongtud[2]*

[1] School of Interdisciplinary Studies, Mahidol University Kanchanaburi Campus

[2] Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University

[3] School of Bioinnovation and Bio-based Intelligence, Faculty of Science, Mahidol University

[1] 199 Moo 9 Lum Sum, Sai Yok, Kanchanaburi 71150

[2] 50 Phahonyothin Road, Lard Yao, Jatujuk, Bangkok 10900

[3] 272 Rama VI Road, Thung Phaya Thai, Ratchathewi, Bangkok 10400

Received 12 September 2018; Revised 9 April 2019; Accepted 7 May 2019

Abstract

This research aimed to develop paper from oil palm empty fruit bunch (Fb), oil palm mesocarp (M), and paper mulberry (P), with chitosan coating, to be used as single-use paper bag for dry food products. The optimal pulp preparation conditions for Fb, M, and P fibers were boiling in 25, 25 and 15% NaOH solution at 170, 170 and 100°C, for 3 hours, respectively. The optimal H_2O_2 concentrations for bleaching of Fb, M, and P pulps were 40%, 40% and 0.2%, respectively. The obtained pulps were used to prepare papers with the basis weight of 109 g/m^2. The papers consisted of Fb, M, and P pulps at ratios of 70:0:30 (FbP), 0:70:30 (MP) and 35:35:30 (FbMP). It was found that FbP paper showed superior physical and/or mechanical characteristics than those of MP and FbMP. FbP papers were then coated with chitosan solutions (0.2-0.6%) to further improve their mechanical properties and reduce their water absorption characteristics. The optimal concentration of chitosan was 0.4%. This study showed that all three types of pulps could be used to produce papers that had equal or superior mechanical- and water adsorption properties as compared to those of commercially available paper bags made from wood pulp.

Keywords : Paper; Oil Palm Empty Fruit Bunch; Oil Palm Mesocarp; Paper Mulberry; Chitosan

** Corresponding Author. Tel.: +660 2942 8500, E-mail Address: aapwnk@ku.ac.th*

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความต้องการของตลาดสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำมันปาล์มและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น น้ำมันปรุงอาหาร เนยเทียม มาการีน ครีมเทียม เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอีกด้วย ในกระบวนการผลิตน้ำมันจากปาล์มน้ำมัน เมื่อคิดเทียบส่วนทะลายปาล์มน้ำมันเป็นร้อยละ 100 จะแยกได้น้ำมันปาล์ม น้ำ และตะกอนร้อยละ 43 เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบเอาน้ำมันออกร้อยละ 14 ทะลายเปล่าร้อยละ 20 เมล็ดปาล์มและสิ่งเจือปนอื่น ๆ อีกร้อยละ 23 โดยส่วนที่เหลือจากเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบเอาน้ำมันออก ทะลายเปล่า และกะลามักจะถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ด หรือใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดของเสียทางการเกษตร นอกจากนี้ ในปัจจุบันยังเริ่มมีการทดลองนำเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นส่วนประกอบในวัสดุประกอบ (Composite Material) ต่าง ๆ เช่น ใช้ผลิตวัสดุก่อสร้าง ใช้ทดแทนเส้นใยแก้วในการเสริมแรงของแผ่นหลังคาซิงเกิล ใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์เพื่อลดความร้อนของผนัง และใช้ในการผลิตกระดาษ [1] ได้อีกด้วย

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุที่ผลิตมาจากเส้นใยผสมกับสารเติมแต่งตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ผู้ผลิตทั่วโลกนิยมใช้เส้นใยพืชจากไม้ในการผลิตกระดาษ ส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้ลดลง (แม้ว่าจะสามารถปลูกต้นไม้ทดแทนได้ แต่ต้องใช้เวลานาน) และส่งผลกระทบโดยตรงกับสิ่งแวดล้อม จึงมีการศึกษาหาวัตถุดิบเพื่อมาทดแทนเส้นใยไม้ในการผลิตกระดาษ ซึ่งพบว่า เส้นใยธรรมชาติที่สกัดได้จากพืช เช่น ปอสา ฟางข้าว ชานอ้อย สับปะรด ผักตบชวา เป็นต้น สามารถนำมาใช้ผลิตกระดาษเพื่อทดแทนเส้นใยจากไม้ (เพียงบางส่วนหรือทั้งหมด) ในบางลักษณะของการใช้ประโยชน์ได้ การใช้เส้นใยธรรมชาติที่สกัดได้จากพืชเหล่านี้ นอกจากจะหาได้ง่ายในท้องถิ่น ช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตผลหรือลดของเสียทางการเกษตรได้ ยังเป็นการลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เส้นใยจากไม้อีกด้วย [1]-[3]

วัสดุประกอบที่ผลิตจากพอลิแซ็กคาไรด์เป็นหลัก (Polysaccharide-based Composite) เช่น กระดาษ นั้นมีข้อบกพร่องในด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ เนื่องจากโครงสร้างของกระดาษประกอบด้วยโครงข่ายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ด้วยกันเอง หรือกับโมเลกุลของน้ำ กระดาษจึงมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hygroscopic) โมเลกุลน้ำสามารถดูดซับและแพร่กระจายผ่านโครงสร้างได้โดยง่าย ส่งผลต่อคุณภาพของกระดาษ [3], [4] เมื่อนำกระดาษมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ข้อบกพร่องดังกล่าวจึงมีผลกระทบกับความสามารถของบรรจุภัณฑ์ในการรักษาคุณภาพและคงความปลอดภัยของอาหาร บรรจุภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของกระดาษเป็นหลักจึงมักมีการเคลือบด้วยวัสดุประเภทที่ทนต่อความชื้น เช่น สารเคลือบจากสตาร์การ์ด (Starguard FCS) อนุภาคนาโนของสารเทฟลอน (PTFE) และไคโตซาน (Chitosan) เป็นต้น [3] ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติพบมากในสัตว์จำพวกที่มีเปลือก เช่น กุ้ง ปู และแมลง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่ายบางชนิด ไคโตซานสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไคโตซานประกอบด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์ได้มากมาย จึงมีการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้เคลือบเมล็ดข้าวสารเพื่อป้องกันเชื้อรา ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอาหาร และแคปซูลบรรจุยา เป็นต้น [5]

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนากระดาษที่มีส่วนประกอบหลักเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน โดยนำเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมัน และเส้นใยจาก

เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันที่เหลือหลังจากการหีบเอาน้ำมันออก ซึ่งเป็นเส้นใยชนิดสั้น มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ ร่วมกับเส้นใยจากเปลือกปอสา ซึ่งเป็นเส้นใยยาว [6] จากนั้นจึงทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษที่พัฒนาได้แล้วเลือกสูตรกระดาษที่พัฒนาได้ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดมาเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและลดการซับน้ำ ให้เหมาะสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ถุงกระดาษบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับใช้งานครั้งเดียว

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

ตัวอย่างเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมัน (ได้รับในช่วงเดือนมกราคม ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561) และเส้นใยเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันซึ่งเหลือจากการหีบ (ได้รับในช่วงเดือนมกราคม ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561) ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ จากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด (จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย)

เปลือกปอสาได้รับจากตัวแทนจำหน่ายในภาคเหนือ (ในช่วงเดือนมกราคม ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561) สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide หรือ NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 98 (Merck ประเทศเยอรมันนี) สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide หรือ H_2O_2) ความเข้มข้นร้อยละ 50 พอลิเอทิลีนออกไซด์ (Polyethylene Oxide หรือ PEO) กรดอะซีติก (Acetic Acid หรือ CH_3COOH) ความเข้มข้นร้อยละ 98 และสารละลายไคโตซาน ความเข้มข้นร้อยละ 90 (ค่าระดับการกำจัดหมู่อะเซทิล หรือ %DD ≥ ร้อยละ 90; Marine Bio Resources ประเทศไทย)

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

2.2.1 การเตรียมและวัดขนาดเส้นใย

ล้างทำความสะอาดตัวอย่างเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสา เพื่อกำจัดสิ่งปลอมปนออกจากพื้นผิว ก่อนจะนำเส้นใยมาเตรียมเพื่อวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา โดยชั่งเส้นใยอย่างละ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดอะซีติกในอัตราส่วน 1:1 ต้มตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนกระทั่งเส้นใยเปลี่ยนสีเป็นสีขาว จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการต้มมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำเส้นใยไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Leica รุ่น LM750 ประเทศเยอรมันนี) พร้อมทำการวัดขนาดเส้นใยด้วยโปรแกรม Leica 4.8 ทำการวัดซ้ำ 20 ครั้งต่อตัวอย่าง [5]

2.2.2 การต้มเยื่อ

แช่ตัวอย่างเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสาในน้ำ ด้วยอัตราส่วนของเส้นใยต่อน้ำ 1:30 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนเส้นใยชุ่มน้ำมากพอที่จะทำให้สารเคมีแทรกเข้าไปในเส้นใยได้สะดวก เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีในขั้นตอนการเตรียมเยื่อได้ส่วนหนึ่ง [6] จากนั้นนำตัวอย่างเส้นใยที่ผ่านการแช่น้ำแล้วมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระบบปิด โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิและเวลาที่ใช้การต้มเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมันหรือเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน คือ ร้อยละ 25, 30 และ 35 ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง [7] และเงื่อนไขของการต้มเยื่อของปอสา คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15, 20, 25 และ 30 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง [8] จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการต้มมาตีเยื่อด้วยเครื่องกระจายเยื่อ (ผลิตขึ้นและใช้ในสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) เป็นจำนวน 500 รอบ ล้างเยื่อเพื่อแยก

เยื่อด้วยน้ำสะอาด แล้วนำเยื่อที่ได้ไปตากบนตะแกรง ที่อุณหภูมิห้อง จนเยื่อมีน้ำหนักคงที่ เก็บเยื่อที่แห้งแล้วไว้ในภาชนะปิดสนิท [9]

2.2.3 การฟอกเยื่อ

นำเยื่อจากทะลายปาล์ม เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสามาทำการฟอก โดยนำมาแช่ในน้ำ ด้วยอัตราส่วนของเยื่อต่อน้ำ 1:20 แล้วใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้กับเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันหรือเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน คือ ร้อยละ 20, 30 และ 40 [7] ส่วนความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับการฟอกเยื่อจากปอสา คือ ร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 [8] เนื่องจากเยื่อจากปาล์มน้ำมันทั้งสองชนิด มีปริมาณสารลิกนินค่อนข้างสูง (ร้อยละ 23-24) การฟอกจึงจำเป็นต้องใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงกว่า เพื่อให้ได้เยื่อที่มีความขาวที่ใกล้เคียงกับเยื่อปอสาที่มีปริมาณสารลิกนินต่ำกว่า (ร้อยละ 6-7) [7]

จากนั้นนำเยื่อทั้งสามชนิดที่ผ่านการฟอกแล้วมาเตรียมเป็นแผ่นกระดาษเชิงหัตถกรรมแบบไทยหรือการทำกระดาษแบบกระดาษทำมือ (Handmade Paper) ที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 109±5 กรัมต่อตารางเมตร โดยนำเยื่อที่ผ่านการฟอกมาตีด้วยเครื่องกระจายเยื่อ เป็นจำนวน 500 ครั้ง จากนั้นเติมสารกระจายเยื่อ (PEO) ต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:5 ลงในสารละลายเยื่อแล้วเทสารละลายเยื่อลงในตะแกรงขนาด 72x59 เซนติเมตร ที่ลอยอยู่ในอ่างน้ำสแตนเลสอย่างช้า ๆ แตะกระจายเยื่อให้ทั่วแผ่นตะแกรง ยกตะแกรงมาตั้งเอียงกับพื้นห้อง 45 องศา ตากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระดาษแห้งสนิท จึงนำกระดาษที่เตรียมได้จากเยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วมาวิเคราะห์ค่าสี เพื่อเปรียบเทียบและระบุความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อทั้งสามชนิดต่อไป [8], [9]

2.2.4 การเตรียมกระดาษ

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของกระดาษที่เตรียมได้จากเยื่อจากทะลายปาล์ม เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และปอสา โดยในการศึกษาใช้เยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมัน และ/หรือเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมหลัก (ร้อยละ 70 ของน้ำหนักแห้ง) เนื่องจากเป็นเยื่อที่สกัดได้ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน และใช้เยื่อจากปอสาในปริมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของกระดาษ [10] การผลิตกระดาษเริ่มจากนำวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 มาแช่น้ำเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนจะนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษเชิงหัตถกรรมแบบไทยที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 109±5 กรัมต่อตารางเมตร ดังขั้นตอนที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2.3. [8] นำกระดาษที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของเยื่อทะลายปาล์มน้ำมัน (Fb) เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน (M) และเปลือกปอสา (P) ที่ใช้ในการผลิตกระดาษ

Formulation	Pulp (%)		
	Fb	M	P
FbP	70	-	30
MP	-	70	
FbMP	35	35	

2.2.5 การเคลือบกระดาษด้วยไคโตซาน

เตรียมสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 ด้วยการกวนผสมไคโตซานและน้ำส้มสายชูจนละลายกลายเป็น

เนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วใช้แปรงจุ่มสารละลายพอหมาด ทาจนทั่วแผ่นกระดาษที่เตรียมจากสูตรที่คัดเลือก (ตารางที่ 1) ทิ้งไว้จนกระดาษแห้งสนิท นำกระดาษที่ผ่านการเคลือบไคโตซานมาทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ต่อไป [8]

2.2.6 การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพกระดาษ

ตัวอย่างกระดาษและกระดาษเคลือบไคโตซานที่เตรียมได้ ถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะทั่วไป ได้แก่ ค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* b* โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Miniscan รุ่น EZ 4500L ประเทศสหรัฐอเมริกา) และน้ำหนักมาตรฐาน (Weight per unit area) ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T410 om-08 [11] ด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง (Chyo รุ่น MJ-300 ประเทศญี่ปุ่น)

คุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ทำการวิเคราะห์ คือ ความต้านทานแรงดึงของกระดาษ (Tensile Index) ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T404 om-92 [12] ด้วยเครื่อง Schopper Tensile Tester (Kumagai Riki Kogyo Co. Ltd ประเทศญี่ปุ่น) และความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษ (Tear Index) ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T414 om-98 [13] ด้วยเครื่อง Tearing Strength Tester (Kumagai Riki Kogyo Co. Ltd ประเทศญี่ปุ่น) การหักพับของกระดาษ (Folding Endurance) ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T511 om-94 [14] ด้วยเครื่อง MIT Folding Endurance Tester (Kumagai Riki Kogyo Co. Ltd ประเทศญี่ปุ่น) และการดูดซึมน้ำของกระดาษตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T441 om-09 [15] ด้วยเครื่อง Cobb Sizing Tester (Kumagai Riki Kogyo Co. Ltd ประเทศญี่ปุ่น)

2.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การเตรียมตัวอย่างและการทดลองแต่ละขั้นตอนทำซ้ำ 3 ครั้ง ยกเว้นดังระบุไว้ในขั้นตอนนั้น ๆ การทดสอบตัวอย่างในขั้นตอนการตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพกระดาษทำซ้ำอย่างน้อย 5 ครั้ง การวิเคราะห์ค่าทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance หรือ ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ด้วยโปรแกรม PASW Statistics 18 (IBM Co. Ltd ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

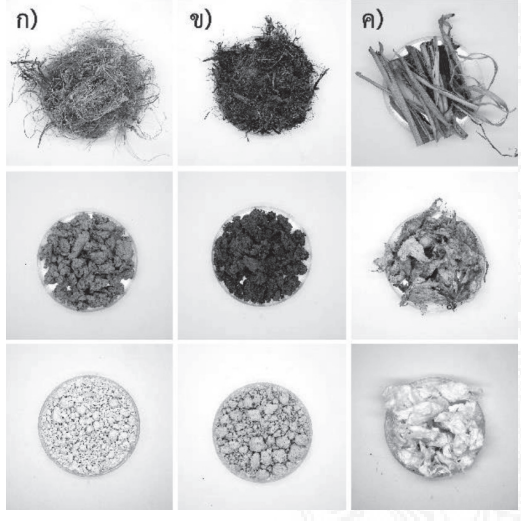
ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสา รูปที่ 1 แสดงเส้นใย เยื่อที่สกัดได้ และเยื่อที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว ของทะลายปาล์ม เปลือกหุ้มผลปาล์ม และปอสา

จากตารางที่ 2 พบว่า เส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมันและเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันมีค่าความกว้างและยาวใกล้เคียงกัน โดยมีความยาวเฉลี่ย 0.964 และ 0.451 มิลลิเมตร ความกว้างเฉลี่ย 0.019 และ 0.014 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าที่วิเคราะห์ได้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ V. Haruthaithanasan et al. [9] และ H. Mohamad et al. (1985) [16] เส้นใยทั้งสองชนิดจัดเป็นเส้นใยสั้น ซึ่งจะมีความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร เช่น เส้นใยจากไม้ยูคาลิปตัส ในขณะที่เส้นใยจากเปลือกปอสาจัดเป็นเส้นใยยาว ซึ่งจะมีความยาวตั้งแต่ประมาณ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป เช่น เส้นใยจากต้นสน [17] Felting Power ของเส้นใย คือสัดส่วนของความยาวต่อความกว้างของเส้นใยนั้น ๆ ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ เช่น สมบัติความต้านทานการดันทะลุ สมบัติความต้านทานการฉีกขาด สมบัติต้านทานแรงดึง เส้นใยที่สกัดได้จากไม้เนื้ออ่อน มักมีค่านี้อยู่ระหว่าง 70 ถึง 90 และเส้นใยที่สกัดได้จากไม้เนื้อแข็งมักมีค่านี้อยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 เส้นใยที่เหมาะสมกับการนำมาผลิตเป็นกระดาษควรมีค่า Felting Power ตั้งแต่ 33 ขึ้นไป [18]

ตารางที่ 2 ความกว้าง ความยาว และค่าเฟลท์ทิ้งเพาเวอร์ (Felting Power) ของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (Fb) เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน (M) และเปลือกปอสา (P)

Fiber	Fiber width (mm)*	Fiber length (mm)*	Felting power
Fb	0.019±0.002[a]	0.964±0.163[b]	50.73
M	0.014±0.002[b]	0.451±0.054[c]	32.21
P	0.017±0.004[ab]	9.519±0.648[a]	559.94

*ผลการทดลองที่กำหนดด้วยตัวยกที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 1 เส้นใย (แถวบน) เยื่อ (แถวกลาง) และเยื่อฟอก (แถวล่าง) ของเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (ก) เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน (ข) และเปลือกปอสา (ค)

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละน้ำหนักแห้งของเยื่อทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสา พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ควรใช้กับเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสา คือ ร้อยละ 25, 25 และ 15 ตามลำดับ เนื่องจากการต้มเยื่อภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวให้ปริมาณเส้นใยที่สูงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเยื่อนั้น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ A. K. Sharma et al. [19] ที่ทำการทดลองต้มเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะได้เส้นใยทะลายปาล์มร้อยละ 39 ของน้ำหนักแห้ง เนื่องจากการต้มเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณเยื่อลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการใช้สารละลายด่างที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจะย่อยเส้นใยได้มากขึ้น จึงอาจเพิ่มการย่อยทำลายองค์ประกอบต่าง ๆ จำพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรกบางส่วนจนมีขนาดเล็กสามารถละลายไปกับน้ำได้ จากงานวิจัยของ W. Kongtud et al. [20] ที่ทำการทดลองต้มปอสาโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าเงื่อนไขการต้มดังกล่าวได้ปริมาณเยื่อใกล้เคียงกันกับการต้มที่ใช้เงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 3 คือ ได้เยื่อร้อยละ 50-55 ของน้ำหนักแห้ง [20]

ตารางที่ 3 ร้อยละของผลผลิตของเยื่อจากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมัน (Fb) เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน (M) และเปลือกปอสา (P)

NaOH (%)	Pulp yield (%)*		
	Fb	M	P
15.0	-	-	56.29±2.55[a]
20.0	-	-	54.53±2.00[ab]
25.0	22.22±0.06[a]	13.66±0.32[a]	54.33±1.04[ab]
30.0	21.63±0.12[b]	13.41±0.14[a]	53.66±1.27[b]
35.0	19.62±0.31[c]	12.35±0.17[b]	-

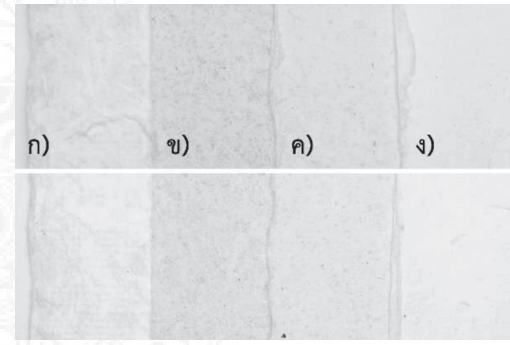
*ผลการทดลองที่กำหนดด้วยตัวยกที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมันและเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันนั้น โดยทั่วไปมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับความเข้มข้นที่ใช้กับเส้นใยเปลือกปอสา เนื่องจากเส้นใยจากเปลือกปอสามีองค์ประกอบของลิกนิน และสารแทรกน้อยกว่าเส้นใยจากปาล์มน้ำมันทั้งสองชนิด จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระดับที่สูงเท่า [9], [10]

จากผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างและค่าสีของเยื่อทะลายปาล์มน้ำมัน เยื่อเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเยื่อปอสาที่ทำการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (ผลการทดลองไม่ได้แสดงไว้) พบว่า เยื่อฟอกแล้วที่ได้จากวัตถุดิบต่างชนิดกันหรือใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน มีสีแตกต่างกันไป ตั้งแต่ ขาว ขาวครีม น้ำตาลอ่อน จนถึงน้ำตาลเข้ม จึงเหมาะสมที่จะนำไปผลิตกระดาษที่มีคุณลักษณะกายภาพด้านสีที่แตกต่างกัน เช่น กระดาษสำหรับถุงกระดาษคราฟท์ (Kraft Grocery Bag) หรือซองเอกสาร อาจมีสีน้ำตาลเข้มได้ จึงไม่จำเป็นต้องเลือกใช้เยื่อที่ผ่านการฟอกขาวหรือฟอกขาวเพียงเล็กน้อย หรือกระดาษที่ต้องการพิมพ์ข้อความให้เห็นชัด ควรมีค่าความสว่างมาก และมีสีอ่อน เป็นต้น [4]

เยื่อจากเส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันมีปริมาณลิกนินสูง [16] หากไม่ผ่านการฟอกขาวจะได้เยื่อที่มีสีขาวครีมถึงน้ำตาลอ่อน ควรเลือกใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยที่เงื่อนไขการฟอกดังกล่าว จะได้เยื่อที่มีค่าความสว่างใกล้เคียงกับเยื่อปอสา [9] ส่วนเยื่อจากเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันนั้น พบว่า มีสีเหลืองถึงน้ำตาล เนื่องจากเส้นใยจากส่วนดังกล่าวของพืชมีปริมาณลิกนินสูงกว่าเส้นใยจากทะลายปาล์ม [17] แม้เมื่อใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 แล้วก็ยังได้เยื่อที่มีค่าความสว่างน้อยกว่าเยื่ออีกสองประเภท สำหรับค่าสีของเยื่อปอสา พบว่า การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 ให้เยื่อที่มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งปอสาเป็นพืชที่มีลิกนินอยู่ในประมาณน้อย ทำให้เยื่อจากปอสามีความสว่างสูงโดยไม่ต้องใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง [9]

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของด้านหน้าและด้านหลังของกระดาษสูตรต่าง ๆ ที่ผลิตได้ และ ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติของกระดาษที่เตรียมได้จากเยื่อทะลายปาล์มน้ำมัน เยื่อเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเยื่อปอสา กระดาษจากเยื่อปอสา (P) ที่ผลิตได้มีความอ่อนตัว พื้นผิวไม่สม่ำเสมอ ไม่เรียบ มีลักษณะเป็นลูกคลื่นทั่วทั้งแผ่น (รูปที่ 2.ก) กระดาษ MP (รูปที่ 2.ข) นั้นมีลักษณะใกล้เคียงกับกระดาษ P แต่ผิวกระดาษเรียบกว่าเล็กน้อย ในขณะที่กระดาษ FbMP และ FbP (รูปที่ 2.ค และ 2.ง ตามลำดับ) นั้นมีลักษณะค่อนข้างแข็ง พื้นผิวขรุขระ เนื้อหยาบ



รูปที่ 2 ด้านหน้า (แถวบน) และด้านหลัง (แถวล่าง) ของกระดาษสูตร P (ก) MP (ข) FbMP (ค) และ FbP (ง)

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดสัดส่วนของเยื่อปอสาไว้ที่ร้อยละ 30 ในทุกสูตรกระดาษ (ยกเว้นสูตร P ที่จะใช้เยื่อปอสาเพียงอย่างเดียว) เนื่องจากเส้นใยปอสาซึ่งจัดเป็นเส้นใยแบบยาว (ตารางที่ 2) จะมีความเหนียวและแข็งแรงมากกว่าเส้นใยชนิดสั้น [9] จึงต้องผสมเส้นใยปอสาในสัดส่วนที่สูงพอที่จะสามารถขึ้นรูปเป็นกระดาษ

ได้ จากการผลวิเคราะห์ พบว่า กระดาษทุกสูตรที่เตรียมได้มีค่าน้ำหนักมาตรฐานและค่าความสว่างใกล้เคียงกัน กระดาษ FbP และ FbMP มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าหรือเทียบเท่ากับกระดาษ P อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในขณะที่กระดาษ MP มีคุณสมบัติเชิงกลด้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณเยื่อจากเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นเส้นใยที่มีขนาดสั้นที่สุด (ตารางที่ 2) ถึงร้อยละ 70 ส่งผลให้กระดาษที่ได้มีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง

จากผลการวิเคราะห์ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษ (Tensile Index) พบว่า กระดาษที่ทำจากเยื่อปอสาเพียงอย่างเดียว (P) มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่ากว่ากระดาษ FbMP และ FbP ที่มีส่วนผสมของเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมัน และ/หรือเยื่อเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันอยู่ด้วย อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เยื่อที่เตรียมได้จากเส้นใยยาว เมื่อนำมาเตรียมเป็นกระดาษมักมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเนื่องจากความแข็งแรงของโครงสร้างทั้งด้านความแข็งแรงของพันธะของเส้นใยและแรงเชื่อมยึดระหว่างเส้นใย (Intra- และ Intefiber Bonding) สูง และยังมีจำนวนปลายของสายโซ่ (Chain End) น้อยกว่ากระดาษที่เตรียมจากเส้นใยขนาดสั้น แต่ในขณะเดียวกัน สายโซ่เซลลูโลสหรือเฮมิเซลลูโลสที่ยาวมากเกินไปและจัดตัวไม่เป็นระเบียบอาจทำให้เส้นใยไม่สามารถเรียงตัวใกล้กันได้ในบางบริเวณ และส่งผลให้แรงเชื่อมยึดระหว่างเส้นใยลดลง ในขณะเดียวกันการใส่เส้นใยสั้นเข้าไปแทนที่เส้นใยยาวเป็นบางส่วนอาจสามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะเชิงกลของโครงสร้างกระดาษได้ เนื่องจากเส้นใยสั้นสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใยยาว ส่งผลให้แรงเชื่อมโดยรวมระหว่างเส้นใยสูงขึ้น นอกจากนั้น ขั้นตอนการกระจายเยื่อ ซึ่งนอกจากจะเป็นการแยกเส้นใยให้หลุดออกจากกันแล้ว ยังอาจส่งผลให้เส้นใยแตกเป็นแขนงเล็ก ๆ เพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ตี เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใย และช่วยเพิ่มความสามารถในการประสานกันระหว่างเส้นใยให้ดีขึ้น เพราะจะส่งผลให้แรงเชื่อมระหว่างเส้นใยผ่านพันธะไฮโดรเจนมีมากขึ้น การกระจายเยื่อจึงถือว่าเป็นการบดเยื่อชนิดหนึ่งมักมีผลกระทบกับคุณสมบัติของเส้นใยสั้นมากกว่าเส้นใยยาว เมื่อตีในระดับที่เท่ากัน เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วเส้นใยสั้นจะเกิดการฉีกขาดและยุ่ยเป็นขุยง่ายกว่า [21]

เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับน้ำของตัวอย่างกระดาษ พบว่า กระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันและ/หรือเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันมีค่าการซับน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระดาษที่เตรียมจากเยื่อปอสาเพียงอย่างเดียว โดยกระดาษ FbP มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นสูงที่สุด เนื่องจาก FbP ซึ่งประกอบด้วยเยื่อจากเส้นใยยาวและสั้นที่ผ่านการตีกระจายเยื่อมาแล้ว จะมีปริมาณเซลลูโลสซึ่งสามารถดูดน้ำได้ดีสูงกว่ากระดาษ P ซึ่งเตรียมจากเยื่อจากเส้นใยยาวเพียงอย่างเดียว ในกรณีของกระดาษ MP และ FbMP ซึ่งมีส่วนประกอบของเยื่อจากเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันอยู่ด้วยนั้น พบว่าค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากกระดาษ P แต่เนื่องจากเยื่อจากวัตถุดิบส่วนนี้ มีการปะปนของชิ้นส่วนผนังเซลล์และอนุภาคอื่น ๆ ของเซลล์เป็นปริมาณสูงกว่าเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมัน จึงมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นต่ำกว่ากระดาษ FbP [19], [22]

งานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกกระดาษ FbP ไปใช้ศึกษาการเคลือบสารละลายไคโตซานในขั้นต่อไป เนื่องจาก 1) การขึ้นรูปกระดาษ FbP เป็นแผ่น กระทำได้ง่าย ไม่ขาดเสียหาย และได้กระดาษที่มีลักษณะสม่ำเสมอกว่ากระดาษ FbMP 2) มีค่าความต้านทานแรงหักพับและค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่ากระดาษ P และ MP 3) มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงกว่ากระดาษ MP และใกล้เคียงกับกระดาษ P และ FbMP และ 4) มีค่าความสว่างมากกว่ากระดาษ MP และ FbMP และเทียบเท่ากับกระดาษ P ซึ่งคุณลักษณะในข้อ 1 และ 2 เป็นเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการพัฒนากระดาษซึ่งเตรียมด้วยวิธี

เชิงหัตถกรรมแบบไทยไปเป็นการผลิตเชิงพาณิชย์ [7], [9]

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษ FbP หลังจากนำมาเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกันที่ร้อยละ 0.2-0.6 (ตารางที่ 4) พบว่าค่าความสว่างของกระดาษก่อนและหลังการเคลือบมีค่าใกล้เคียงกัน จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการเคลือบกระดาษ FbP ด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และ 0.6 ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงหักพับและค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากไคโตซานทำหน้าที่เป็นกาวทำให้เส้นใยสามารถยึดเกาะกันแน่นมากขึ้น นอกจากนี้พบว่า การใช้สารละลายไคโตซานทุกความเข้มข้นลดความสามารถในการซับน้ำของกระดาษ FbP ให้ต่ำลงได้ทั้งหมด เนื่องจากไคโตซานจะทำหน้าที่ปกปิดพื้นผิวของกระดาษ และยังเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างเส้นใยอย่างทั่วถึง ทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยและรูพรุนของกระดาษหลังเคลือบผิวด้วยไคโตซานมีปริมาณลดลง จึงลดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่กระดาษ เมื่อกระดาษสัมผัสกับน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำทันที [19] เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ FbP ที่เคลือบด้วยสารละลายไคโตซานกับถุงกระดาษที่วางขายในท้องตลาด พบว่า การเคลือบด้วยสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 เพียงพอที่จะทำให้กระดาษที่ได้มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่าถุงกระดาษที่วางขายทั่วไป และการเคลือบด้วยสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ยังเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตกว่าการเคลือบด้วยสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 อีกด้วย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำกระดาษดังกล่าวไปใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่อาจถูกเก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นสูง เหมาะกับการใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงเนื่องจากเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น

ตารางที่ 4 คุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษสูตร P MP FbMP FbP และกระดาษสูตร FbP ที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างถุงกระดาษที่วางขายในท้องตลาด

Properties*	Paper bag**	P	MP	FbMP	FbP	Chitosan coated FbP		
						0.2%	0.4%	0.6%
Weight basis (g/m^2)	100.95± 2.74^{e}	109.10± 0.49^{c}	106.77± 0.79^{d}	108.18± 0.81^{c}	109.07± 0.65^{c}	112.65± 0.34^{b}	114.32± 0.93^{b}	119.03± 0.80^{a}
Brightness (%)	29.01± 0.33^{e}	78.66± 1.58^{a}	64.57± 0.52^{d}	70.95± 0.77^{c}	78.53± 0.43^{a}	71.25± 0.63^{bc}	76.183± 1.00^{a}	73.38± 0.99^{b}
Folding endurance (time)	191.33± 78.93^{b}	2.67± 0.58^{e}	0.33± 0.58^{f}	5.33± 1.53^{de}	6.00± 2.65^{d}	33.67± 17.04^{c}	403.33± 115.63^{b}	1006.33± 119.81^{a}
Tensile index (N·m/g)	22.62± 1.03^{b}	9.78± 2.16^{de}	5.49± 0.54^{e}	12.29± 0.40^{cd}	12.20± 0.25^{cd}	13.50± 1.23^{c}	29.61± 1.09^{a}	31.04± 1.32^{a}
Tear index (mN·m^2/g)	7.26± 0.49^{c}	26.34± 9.11^{ab}	18.84± 5.32^{ab}	23.40± 2.44^{ab}	25.36± 4.01^{ab}	23.11± 0.10^{b}	24.29± 0.04^{a}	24.75± 0.48^{a}
Water absorption (%)	114.07± 6.27^{e}	250.80± 21.19^{d}	307.27± 9.74^{c}	341.53± 37.37^{b}	446.17± 27.08^{a}	21.67± 1.29^{g}	24.67± 0.93^{f}	29.83± 6.64^{f}

* ผลการทดลองที่กำหนดด้วยตัวยกที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

** ค่าการวิเคราะห์คุณสมบัติของถุงกระดาษที่วางขายในท้องตลาดแสดงไว้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเบื้องต้น

4. สรุป

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการสกัดเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมัน และเปลือกปอสา คือ ร้อยละ 25, 25 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การสกัดเส้นใยได้ปริมาณเยื่อที่เหมาะสมและไม่เกิดการทำลายองค์ประกอบของเยื่อ ในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะกับการใช้ฟอกเยื่อทั้งสามชนิดนั้น พบว่า การฟอกเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันและเปลือกหุ้มผลปาล์มน้ำมันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 จะให้เยื่อที่มีความสว่างใกล้เคียงกับเยื่อปอสาที่ผ่านการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และจากทดลองผลิตกระดาษสรุปได้ว่า กระดาษที่ผลิตจากเยื่อทะลายปาล์มน้ำมันผสมกับเยื่อปอสาในอัตราส่วน 70:30 สามารถที่จะนำมาใช้แทนกระดาษที่เตรียมจากเยื้อปอสาเพียงอย่างเดียวได้ โดยกระดาษที่พัฒนาขึ้นนั้นมีคุณสมบัติเชิงกลเทียบเท่าหรือดีกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อปอสา นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณการใช้เยื่อปอสาลงได้ถึงร้อยละ 70 ด้วยการใช้เยื่อทะลายปาล์มน้ำมันซึ่งสกัดได้จากของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาทดแทน และหากทำการเคลือบกระดาษที่ผลิตได้ด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.4 จะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลในด้านความต้านทานแรงหักพับและความต้านทานแรงดึง และลดการซับน้ำของกระดาษให้น้อยลงได้อีกด้วย กระดาษดังกล่าวมีคุณสมบัติที่เหมาะในการนำมาพัฒนาบรรจุภัณฑ์ถุงกระดาษสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับใช้ครั้งเดียวและสามารถเก็บรักษาไว้ในสภาพอากาศร้อนชื้น หรือในตู้เย็นได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับวัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย และสำนักวิชาสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี สำหรับเงินทุนวิจัยโครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Agricultural Research Development Agency, *Research under targeted research initiatives – Oil palm, Fiscal Year 2557*, Bangkok: Agricultural Research Development Agency, 2014.

[2] Department of Science Service, *Pulp and paper making from local raw materials for handmade craft*, Bangkok: Department of Science Service, 2017.

[3] C. Tambe, D. Graiver and R. Narayan, "Moisture resistance coating of packaging paper from biobased silylated soybean oil," *Progress in Organic Coating*, vol. 101, pp. 270-278, 2016.

[4] S. Netramai, T. Kijchavengkul and P. Kittipinyovath, "Pulp and paper production," *Reference Module in Food Science*, Elsevier, 2016.

[5] M. M. Nor, A. T. Rosnita, A. R. Russly and Z. M. Ainun, "Suitability of Coir fibers as pulp and paper," *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 2, pp. 304-311, 2014.

[6] J. P. Reddy and J. W. Rhim, "Characterization of bionanocomposite films prepared with agar and paper-mulberry pulp nanocellulose," *Carbohydrate Polymers*, vol. 110, pp. 480-488, 2014.

[7] W. Kongtud, R. Chollakup and S. Witayakran, *Specialty paper development from oil palm fruit bunch for absorbing oil from fried foods*, Bangkok: The Agricultural Research Development Agency, 2017.

[8] W. Kongtud, S. Witayakran, S. Sundharajun, S. Sirisansaneeyakul and P. Changlek, "Mechanical property improvement of Jerusalem artichoke paper by coating with chitosan," in *Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, Bangkok, 2012, pp. 406-412.

[9] V. Haruthaithanasan, W. Anappanurak, V. Punsuvon, W. Kongtud, W. Thanapase, P. Siriacha and B. Khongseri, *Development of cleaner technology for pulping and paper making of paper mulberry*, Bangkok: National Research Council of Thailand, 2002.

[10] K. Luepong, N. Sasithorn, and K. Manarungwit, "Kraft paper preparation from water hyacinth, pineapple leaves and leaf sheath of banana tree," *RMUTP Research Journal*, vol. 11, pp. 15-22, 2017.

[11] TAPPI, "Grammage of paper and paperboard (Weight per unit area)," T410 om-08, 2008.

[12] TAPPI, "Tensile breaking strength and elongation of paper and paperboard (using pendulum-type tester)," T404 cm-92, 1992.

[13] TAPPI, "Internal tearing resistance of paper (Elmendorf-type method)," T414 om-98, 1998.

[14] TAPPI, "Folding endurance of paper (Mit tester)," T511 om-94, 1994.

[15] TAPPI, "Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fibreboard (Cobb test)," T441 om-09, 2009.

[16] H. Mohamad, Z. Zin Zawawi and H. Abdul Halim, "Potentials of oil palm by-products as raw materials for agro-based industries," in *Proceedings of National Symposium on Oil Palm By-products for Agro-based Industries*, Kuala Lumpur: University Teknologi Malaysia, 1985.

[17] H. P. S. Abdul Khalil, M. Jawaid, A. Hassan, M. T. Paridah and A. Zaidon, "Oil palm biomass fibers and recent advancement in oil palm biomass fibers based hybrid biocomposites," in *Composites and Their Applications*, N. Hu, Ed. London, Intech, 2012.

[18] E. A. H. El-Okda, "A study on the felting propensity of Egyptian and New Zealand wool fibers," *International Design Journal*, vol. 7, pp. 165-177, 2017.

[19] A. K. Sharma, K. Anupam, V. Swaroop, P. S. Lal and V. Bist, "Pilot scale soda-anthraquinone pulping of palm oil empty fruit bunches and elemental chlorine free bleaching of resulting pulp," *Journal of Cleaner Production*, vol. 106, pp. 422-429, 2015.

[20] W. Kongtud, *Fibers from Palm and Palm Fiber Preparation*, Bangkok:

Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, 2018.

[21] A. Vainio and H. Paulapuro, "Interfiber bonding and fiber segment activation in paper," *BioResources*, vol. 2, no. 3, pp. 442-458, Aug. 2007.

[22] S. Khantayanuwong, *Pulp Fibers and Paper: Physical Properties*, Bangkok: Kasetsart University, 2008.