

# สมบัติของภาชนะชีวภาพเคลือบพอลิแลกติกแอซิด (PLA) ผสมพอลิบิวทิลีน ซัคซิเนต (PBS)

มนตรี ขาวสุข ปรียานุช แยมจินดา และ ธัญญ์ยศ สมใจ\*

คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี  
129 หมู่ 21 ตำบลเนินหอม อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 25230

รับบทความ 15 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ 25 ตุลาคม 2566 ตอบรับบทความ 30 พฤศจิกายน 2566

## บทคัดย่อ

ภาชนะชีวภาพเคลือบพอลิแลกติกแอซิด(PLA) ผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต(PBS) เริ่มจากการเตรียมเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ด้วยกระบวนการโซดาทำการปั่น โดยผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ต่อเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน 20:80 ตามลำดับ และขึ้นรูปกระดาด้าทำมือ ทำการเคลือบด้วยฟิล์ม PLA ผสม PBS ด้วยการอัดรีดร้อน จากการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาด้าที่ไม่เคลือบและเคลือบพื้นผิวด้วย PLA ผสม PBS พบว่า กระดาด้าที่ผ่านการเคลือบมีความหนาแน่นลดลง มีความเป็นมันเงา ในส่วนของการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล พบว่า ความต้านแรงดึง และร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาด และความต้านแรงดึงเปื่อยมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับกระดาด้าที่ไม่เคลือบ เมื่อทำการอัดขึ้นรูปภาชนะเพื่อการทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ ผลการทดสอบภาชนะที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบ PLA ผสม PBS ไม่เกิดการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะได้ทุกเงื่อนไข ผลการทดสอบทั้งหมดระบุว่ากระดาด้าทำมือเคลือบ PLA ผสม PBS สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตภาชนะได้ดี

คำสำคัญ : ภาชนะชีวภาพ; PLA ผสม PBS; กระดาด้าเส้นใยธรรมชาติทำมือ

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9693 9301, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: Thanutyot.s@itm.kmutnb.ac.th

# The Properties of Biological Container Coated with Polylactic Acid (PLA) Blends with Polybutylene Succinate (PBS)

Montri Kawsuk Preeyanut Yamjinda and Thanutyot Somjai\*

Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus

129 Moo 21 Tambon Noen Hom, Muang Prachin Buri, Prachin Buri, 25230

---

*Received 15 June 2023; Revised 25 October 2023; Accepted 30 November 2023*

## Abstract

Biological container coated with Polylactic Acid (PLA) blended with Polybutylene Succinate (PBS) was produced by corn husk fiber and bamboo sprout fiber. Both fibers were mixed in soda process by spinning at ratio 20:80 (%w/w) of bamboo sprout fiber and corn husk fiber, respectively. Then, paper container was formed by hot compression handmade with and without coated. By investigation physical properties of paper container both with and without coated with PLA blended with PBS, the results of paper container coated with PLA blended with PBS showed less surface roughness and more shiny skin. In term of mechanical properties evaluation, Tensile Strength, %Elongation at Break and Wet Tensile Strength also showed better if comparing with paper container without coating. Besides, paper container was formed by compression process to test leakage and deformation resistant. The results of paper container which produced by corn husk fiber and bamboo sprout then coated with PLA blended with PBS showed no water leakage and no deformation in any conditions. By the overall research evaluation, the handmade paper container coated with PLA blended with PBS could be usefully applied to produce food container products.

**Keywords :** Biological Container; Polylactic Acid (PLA)/Polybutylene Succinate (PBS); Natural Fibers Paper Handmade

---

\* Corresponding Author. Tel.: +668 9693 9301, E-mail Address: Thanutyot.s@itm.kmutnb.ac.th

## 1. บทนำ

ขยะพลาสติกในประเทศไทยจากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทยปี 2564 ของกรมควบคุมมลพิษ ระบุว่าขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 24.98 ล้านตัน พบขยะพลาสติกใช้ครั้งเดียว (Single-use Plastics) จำพวกถุงพลาสติกมากที่สุด อาทิ ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว และมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ประเทศไทยได้ประกาศ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561 – 2573 โดยมีเป้าหมายที่ 1 ลดและเลิกใช้พลาสติกเป้าหมายด้วยการใช้วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป้าหมายที่ 2 นำขยะพลาสติกเป้าหมายกลับมาใช้ประโยชน์เข้าสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน โดยมีมาตรการที่ต้องอาศัยความร่วมมือของภาคส่วนต่างๆ เพื่อจัดการกับปัญหาพลาสติกใช้ครั้งเดียวทิ้ง [1] การใช้พลาสติกบรรจุอาหารประเภทสารประกอบจากปิโตรเลียมถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นและต้นทุนที่ต่ำ แต่ก็ไม่ง่ายที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ [2] และโมโนเมอร์ที่เป็นพิษสามารถรั่วไหลออกจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งนำไปสู่มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง และปัญหาด้านความปลอดภัยของอาหาร [3] วัสดุที่มาจากชีวมวลและย่อยสลายได้กลายเป็นทางเลือกทดแทนวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อลดวิกฤตสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย [4] กระจกจัดเป็นวัสดุสีเขียว ปลอดภัย พิษย่อยสลายได้ ทำให้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร กระจกเซลลูโลสถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในบรรจุภัณฑ์อาหารจากต้น เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ย่อยสลายง่าย และรีไซเคิลได้ [5] อย่างไรก็ตาม การใช้งานมีข้อจำกัดเนื่องจากไม่กันน้ำหรือกันน้ำมัน กระจกดูดซับความชื้นได้ง่ายในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงหรือเมื่อสัมผัสกับอาหารที่มีความชื้นสูง และไม่มีคุณสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ดังนั้น จึงมักถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบที่ไม่ชอบน้ำ เช่น โพลีเอทิลีน

(PE) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ น้ำยาง และฟลูออโรคาร์บอน เพื่อปรับปรุงการกันไอน้ำหรือคุณสมบัติกันน้ำ [6] หนึ่งในการใช้งานที่สำคัญของกระจกแข็งเคลือบวัสดุที่ไม่ชอบน้ำคือ ถ้วยกระจกแบบด้านเดียวที่ใช้แล้วทิ้ง แม้ว่าถ้วยกระจกที่ใช้แล้วมีโอกาสสูงในการรีไซเคิลเนื่องจากผลิตจากเยื่อธรรมชาติ 100% แต่วัสดุเคลือบพลาสติกสังเคราะห์ เช่น PE และไฮพาราฟินทำให้ยากต่อการแยกรีไซเคิล หรือทำปฏิกิริยากับหลังการใช้งาน ซึ่งไม่เพียงทำให้เสียทรัพยากรธรรมชาติ แต่ยังเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม [7] เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดจากวัสดุเคลือบพลาสติกสังเคราะห์ โพลีเมอร์ชีวภาพหลายชนิดที่น่ากลับมาใช้ใหม่ได้และย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้พยายามแทนที่การเคลือบโพลีเมอร์สังเคราะห์บนกระจกแข็งสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร [8-10] เนื่องจากโพลีเมอร์ชีวภาพธรรมชาติส่วนใหญ่ที่ได้จากพืชหรือสัตว์มีลักษณะที่ชอบน้ำ ความพยายามส่วนใหญ่ในการเพิ่มการกันน้ำของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระจกโดยการเคลือบด้วยโพลีเมอร์ชีวภาพตามธรรมชาติดังกล่าวจึงประสบผลสำเร็จค่อนข้างจำกัด [11]

ไม้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระจก เป็นวัสดุเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นส่วนใหญ่ อุตสาหกรรมเยื่อและกระจกแบ่งเนื้อไม้เพื่อแยกเซลลูโลสออกจากสารที่ไม่ใช่เซลลูโลสโดยใช้วิธีการทางกลและทางเคมี ซึ่งนำไปสู่การเกิดสารละลาย สารละลายเยื่อกระจกนี้จะถูกฉีดพ่นและทำให้แห้งในภายหลังโดยใช้เครื่องจักรเพื่อผลิตแผ่นกระจก [12] ในขณะที่ยังมีการใช้กระจกทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทรัพยากรป่าไม้ทั่วโลกกำลังลดน้อยลง ในอัตราที่สูงยิ่งขึ้น ประเทศที่ขาดแคลนป่าไม้กำลังมองหาแหล่งเส้นใยทดแทนโดยเฉพาะที่ไม่ใช่ไม้ [13] เพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นของการผลิตเยื่อกระจก ซึ่งกระจกในประเทศที่ไม่มีไม้เพียงพอ พืชที่ไม่ใช่ไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ แม้ว่าในปัจจุบันฟาง ธัญพืช และขานอ้อยเป็นพืช

สำคัญ และยังมีพืชจากแหล่งอื่นๆ เช่น ปอ ป่าน ป่านศรนารายณ์กล้วย ปอ ฯลฯ อาจกลายเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตกระดาษในอนาคตได้เช่นกัน

เส้นใยที่ไม่ใช่เนื้อไม้ถูกนำมาใช้ในการผลิตกระดาษ โดยเฉพาะในจีนและอินเดีย ไม่มีคุณสมบัติซึ่งมีเกือบ 70% [14] เมื่อเทียบกับแหล่งไม้ พืชที่ไม่ใช่ไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีข้อดีหลายอย่าง เช่น วงจรการเจริญเติบโตสั้น การชลประทานในระดับปานกลาง ความต้องการปุ๋ยและปริมาณลิกนินต่ำ ส่งผลให้พลังงานลดลงและการใช้สารเคมีที่อ่อนลงระหว่างการผลิตเยื่อกระดาษ อย่างไรก็ตาม แหล่งที่มาที่ไม่ใช่เนื้อไม้มีข้อเสียบางประการเมื่อเทียบกับไม้ รวมถึงความพร้อมตามฤดูกาล และปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวม การขนส่ง และการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษา [15] การพัฒนากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่ไม่ใช่ไม้ให้ประสบความสำเร็จจะต้องสามารถใช้ศักยภาพของกระบวนการสำรวจพืชใหม่ที่ไม่ใช่ไม้ที่เติบโตอย่างรวดเร็วเป็นวัสดุทางเลือก ไม้ยืนต้นที่โตเร็วหลายชนิด (ไผ่ และหญ้าอ้อยักษ์) ได้รับการจำแนก เพาะปลูก และศึกษาความเหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษแล้ว [16] หน่อไม้ไผ่ตงและข้าวโพดที่มีความสำคัญในจังหวัดปราจีนบุรี [17] ในการบริโภคหน่อไม้ไผ่ตงและข้าวโพดจะต้องมีการตัดแต่งเปลือกออก ซึ่งการจัดการเปลือกหน่อไม้ไผ่ตงและเปลือกข้าวโพดจะนำไปฝังกลบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้เกิดภาวะโลกร้อน มนตรี ขาวสุขและธณัฐยศ สมใจ[18] ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อเส้นใยเปลือกหน่อไม้ และระยะเวลาของการต้มเส้นใยต่อการผลิตกระดาษเส้นใยเปลือกหน่อไม้ และกระดาษเปลือกข้าวโพดทำมื่อการสร้างบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม [19] M. O .Aremu, et al. [20] แสดงให้เห็นว่าการนำเปลือกข้าวโพดและก้านกล้วยที่ผสมกันเป็นการเพิ่มศักยภาพในการเป็นเส้นใยทดแทนในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ

การศึกษาค้นคว้านี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติของกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ มีเคลือบด้วย PLA ผสม PBS เพื่อผลิตภาชนะทางชีวภาพ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

เปลือกหน่อไม้ไผ่ตง และเปลือกข้าวโพด เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรของจังหวัดปราจีนบุรี

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใย

วิธีการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษได้แก่ กระบวนการโซดา (Soda Process) เป็นกระบวนการที่ใช้โซดาไฟ (NaOH) เป็นน้ำยาในการต้มย่อยเยื่อ โดยเยื่อกระดาษที่ได้เมื่อนำไปพอกขาวแล้วจะเหมาะสำหรับทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษจดหมาย และกระดาษที่ต้องการความนุ่มฟู นอกจากนั้นการผลิตกระดาษชนิดพิเศษเช่น กระดาษสา ในการเตรียมเส้นใยแต่ละอัตราส่วนใช้น้ำ 13 ลิตร ต้มจนน้ำมีอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ทำการจับเวลาการต้ม และทำการล้างเส้นใย วัดค่า pH โดยใช้กระดาษลิตมัส จนมีความเป็นกลาง

#### 2.1.1 การเตรียมเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด

ธมลวรรณ ไพบูลทอง และคณะ [21] ได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากเปลือกข้าวโพดพบว่ากระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด อัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5 : 9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการต้ม 120 นาที และ ที่อัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการต้ม 60 และ 120 นาที มีสมบัติที่ดีในการทำกระดาษ

#### 2.1.2 การเตรียมเส้นใยจากเปลือกหน่อไม้ไผ่ตง

จิราภรณ์ ผาวันดี และสิริวรรณ จันอินทร์ [22] ได้ศึกษากระดาษจากเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วยพลาสติกชีวภาพ ในอัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกหน่อไม้ที่ 1.5:14 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการต้ม 120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตกระดาษ

## 2.2 การขึ้นรูปกระดาด

1) นำเยื่อเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกข้าวโพด

1.1) 0.5:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 120 นาที (P1)

1.2) 1:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 60 นาที (P2)

1.3) 1:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 120 นาที (P3)

ปั่นเยื่อปริมาณ 120 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการปั่นเยื่อเปลือกข้าวโพด 1 นาที

2) นำเยื่อเปลือกหน่อไม้ที่อัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกหน่อไม้ที่ 1.5:14 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 120 นาที ปั่นเยื่อปริมาณ 30 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการปั่นเยื่อหน่อไม้ 3 นาที

3) เทเยื่อที่ปั่นแล้วผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ผสมเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน 20:80 [23] ลงในเฟรมตะขวย ขนาด 210 × 297 มม. จากนั้นตีเยื่อในน้ำให้เยื่อกระจายตัวออกจากกันแล้วร่อนเฟรมให้เยื่อมีความหนาเท่าๆ กัน นำเฟรมตาข่ายที่ร่อนเยื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วไปตากแดดโดยวางท่ามุม 45 องศา จนกระดาดมีความหมาด นำกระดาดที่หมาดไปรีดร้อนด้วยเครื่องรีดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

## 2.3 การเคลือบกระดาดทำมือ PLA ผสม PBS

กระดาดทำมือจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ถูกเคลือบด้วยฟิล์ม PLA ผสม PBS [24] โดยนำฟิล์ม PLA ผสม PBS มาตัดให้ได้ขนาดที่พอดีกับกระดาดทั้ง 2 ด้าน แล้วนำเข้าเครื่องอัดรีดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเคลือบ 20 นาที และนำมาพัก แสดงดังรูปที่ 1 กระดาดทำมือที่ถูกเคลือบ และไม่ถูกเคลือบ นำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติ



รูปที่ 1 กระดาดที่เคลือบ PLA ผสม PBS

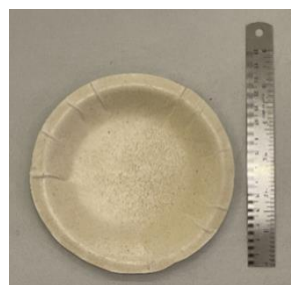
ตารางที่ 1 สรุปสัดส่วนโดยน้ำหนัก NaOH และเส้นใย และระยะเวลาในการต้มเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาด เส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ และกระดาดที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของกระดาดในอัตราส่วนต่างๆ

| Condition   | Corn Husk       |                    | Bamboo Sprout Coat       |                    |
|-------------|-----------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|             | NaOH: Corn Husk | Boiling Time (min) | NaOH: Bamboo Sprout Coat | Boiling Time (min) |
| P1          | 0.5:9           | 120                | 1.5:14                   | 120                |
| P1+PLA/PBS  | 0.5:9           | 120                | 1.5:14                   | 120                |
| P2          | 1:9             | 60                 | 1.5:14                   | 120                |
| P2+ PLA/PBS | 1:9             | 60                 | 1.5:14                   | 120                |
| P3          | 1:9             | 120                | 1.5:14                   | 120                |
| P3+ PLA/PBS | 1:9             | 120                | 1.5:14                   | 120                |

## 2.4 การอัดขึ้นรูปภาชนะ

กระดาดทำมือที่ถูกเคลือบด้วย PLA ผสม PBS และไม่ถูกเคลือบ วางกระดาดบนแม่พิมพ์แล้วใช้แม่แรงกดจนกระดาดขึ้นเป็นรูปภาชนะทิ้งไว้ 10 วินาที ได้มาเป็นภาชนะจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ทั้งแบบเคลือบ PLA ผสม PBS และไม่เคลือบ ขนาดรัศมี 7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาชนะที่ผ่านการขึ้นรูป

## 2.5 การทดสอบสมบัติของกระดาดจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้

ตัวอย่างกระดาดทำมือที่ถูกเคลือบด้วย PLA ผสม PBS และไม่ถูกเคลือบ ถูกตัดสำหรับการทดสอบความหนา (Thickness) ความชื้น (Moisture Content; % $M_d$ ) ความต้านแรงดึง (Tensile Strength; TS) และ

ร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาด (Percentage Elongation at Break; %E) ความต้านแรงดึงเปียก (Wet Tensile Strength) และสัณฐานวิทยาของทั้งพื้นผิวและมุมมองภาคตัดขวาง

1) ความหนาของกระดาษ: ใช้เครื่องมือวัดไมโครคาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร รุ่น Series 293 ยี่ห้อ Mitutoyo ความหนาถูกกำหนดที่ 5 ตำแหน่งบนตัวอย่างตามความยาวของแถบตัวอย่างและรายงานค่าเฉลี่ย

2) ความชื้น: เตรียมขึ้นทดสอบนำเศษกระดาษในแต่ละอัตราส่วน ใช้เครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความละเอียดถึง 0.001 กรัม รุ่น TD-016 ยี่ห้อ Digital Scale ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น 1 กรัม นำเศษกระดาษเข้าตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) อบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $105 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาความชื้นด้วยสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{W-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

W = น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)

d = น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

M<sub>d</sub> = ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

3) ความต้านแรงดึง (TS) และร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาด (%E): ตัวอย่างกระดาษแต่ละแผ่นได้รับการประเมินด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์รุ่น Comotech LRK-5KN (Comotech Testing Machines Co., Ltd., Taiwan) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ตัวอย่างทดสอบแรงดึงถูกตัดเป็นแถบสี่เหลี่ยมขนาด  $2.54 \times 10$  เซนติเมตร และตั้งค่าความเร็วครอสเฮดไว้ที่ 50 มิลลิเมตร/นาที TS ปริมาณการยืดของขึ้นทดสอบที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบแรงดึง เป็นข้อมูลแสดงสมบัติความเหนียว

การวัดค่า TS และ %E สำหรับกระดาษแข็งแต่ละประเภทถูกทำซ้ำ 3 ครั้ง

4) ความต้านทานแรงดึงเปียกของกระดาษ: วัดตามวิธีมาตรฐาน Tappi (T494. om-88) โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ Comotech LRK-5KN โดยมีเงื่อนไขการทดสอบเดียวกันกับการทดสอบแรงดึงตัวอย่างกระดาษ ได้แก่ กระดาษที่ไม่เคลือบผิว และเคลือบ PLA ผสม PBS แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที วัดความต้านทานแรงดึงหลังจากซับน้ำออก

5) การทดสอบสัณฐานวิทยา : ขึ้นงานกระดาษทำมือที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบ PLA ผสม PBS ขึ้นตัวอย่างไม่นำไฟฟ้าจึงต้องทำการเคลือบทอง (Au-coated) ก่อนที่จะนำไปทดสอบสัณฐานวิทยาของทั้งพื้นผิวและมุมมองภาคตัดขวางของวัสดุที่ไม่เคลือบผิว และเคลือบ PLA ผสม PBS ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Axia ChemiSEM, ThermoScientific, Germany)

## 2.6 การทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ

การทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ: จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ภาชนะจากพืชผสมพ.๑๕๕๗/๒๕๖๓ กำหนดให้ การทดสอบการรั่วซึมและการทดสอบความคงรูปโดยการนำตัวอย่างภาชนะจากพืช หน่วยภาชนะบรรจุละ 1 ขึ้น วางบนกระดาษสีขาวที่เรียบและแห้ง ใส่ น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส ให้เต็มจนถึงขอบปากภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที แล้วตรวจพินิจการรั่วซึมของน้ำ และให้ตรวจพินิจความเปลี่ยนแปลงของภาชนะตัวอย่างทันที [25]

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การเคลือบกระดาษทำมือผสม

J.W. RHiM and J.H. Kim [7] อธิบายการก่อตัวของสารเคลือบผิวกระดาษจะได้รับผลกระทบจากปัจจัย

ต่าง ๆ เช่น ตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย เคลือบ อุณหภูมิในการเคลือบและการทำให้แห้ง และ อัตราการทำให้แห้ง กระดาษแข็งเคลือบ PLA ผสม PBS ทั้งหมดมีพื้นผิวเรียบและชั้นของ PLA ผสม PBS ยังยึดติดกับกระดาษได้ดีโดยไม่เกิดการหลุดร่อน ในการศึกษา นี้เป็นการเคลือบกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยจากเปลือก ข้าวโพดและเปลือกหน่อไม้ กระดาษที่ผ่านการเคลือบ และอัดรีดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ช่วยให้ PLA ผสม PBS ติดกับกระดาษได้ดี ทั้งหมดมีพื้นมันเงา ชั้นของ PLA ผสม PBS ยังยึดติดกับกระดาษได้ดีโดยไม่ เกิดการหลุดร่อนแม้ว่าพื้นผิวของกระดาษแข็ง ดังนั้น PLA ผสม PBS มีความสามารถในการเคลือบกระดาษได้ เป็นอย่างดี รูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ากระดาษ P1-P3 ที่ไม่ ผ่านการเคลือบลักษณะผิวหน้าจะเห็นได้ว่าผิวมีลักษณะ เส้นใยที่สามารถมองเห็นได้ มีเส้นใยที่ผสมกันอยู่ ลักษณะผิวเรียบ เป็นระนาบเดียวกัน ในส่วนกระดาษทำ มือที่ผ่านการเคลือบ PLA ผสม PBS ลักษณะผิวหน้าจะ เห็นได้ว่าพื้นผิวมีลักษณะที่เรียบและมันเงา สามารถ มองเห็นความมันเงาได้อย่างชัดเจนกว่า

ตารางที่ 2 ความหนาและความชื้นของกระดาษ

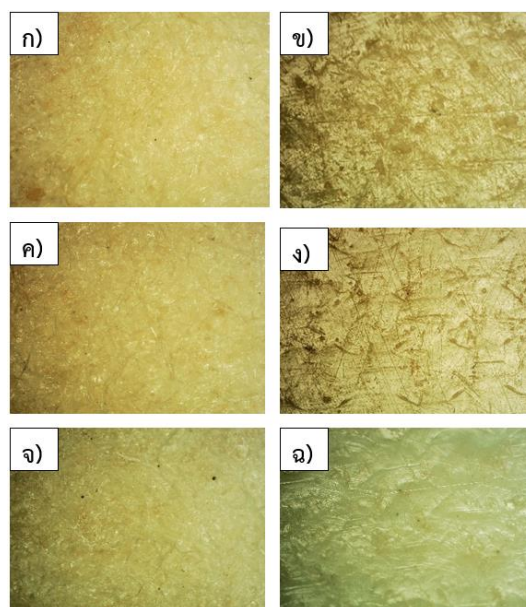
| Condition   | Thickness<br>(mm) | Moisture content<br>(% db.) |
|-------------|-------------------|-----------------------------|
| P1          | 0.825±0.300       | 5.99±1.26                   |
| P1+PLA,PBS  | 0.855±0.354       | 5.25±0.80                   |
| P2          | 0.501±0.049       | 5.82±1.10                   |
| P2+ PLA,PBS | 0.516±0.058       | 5.24±0.52                   |
| P3          | 0.625±0.101       | 4.86±0.64                   |
| P3+ PLA,PBS | 0.679±0.200       | 2.38±0.31                   |

ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลลัพธ์เกี่ยวกับความหนาและความชื้นของ กระดาษในอัตราส่วนต่างๆ ที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS และไม่ถูกเคลือบ แสดงไว้ในตารางที่ 2 ค่าความชื้นของ กระดาษในแต่ละอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 โดย น้ำหนัก เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ภาชนะ

จากพีช มผช.๑๕๕๗/๒๕๖๓ และกระดาษทำมือจาก เส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เมื่อถูก เคลือบด้วย PLA ผสม PBS จะมีความหนาเพิ่มขึ้น

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อกระดาษ ทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเปลือกหน่อไม้ ที่ ได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใน รูปที่ 4 ก)-ค) แสดงตัวแทนของตัวอย่างกระดาษทำมือ แสดงเส้นใยพื้นผิวหน้าแต่ละเส้นถูกจัดเรียงแบบสุ่มเพื่อ สร้างเครือข่ายที่เชื่อมโยงกัน การมีเส้นใยยาวและเส้นใย ที่เชื่อมต่อกันช่วยเพิ่ม



ก) กระดาษ P1 ข) กระดาษเคลือบ P1+PLA,PBS

ค) กระดาษ P2 ง) กระดาษเคลือบ P2+PLA,PBS

จ) กระดาษ P3 ฉ) กระดาษเคลือบ P3+PLA,PBS

รูปที่ 3 ภาพกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพด และเปลือกหน่อไม้

ความแข็งแรงให้กับแผ่นกระดาษทำมือ ลักษณะของเส้น ใยมีที่บิดงอ เสียหาย และม้วนงอ อาจเกิดจากแรงทาง กลและปฏิกิริยาทางเคมี/พันธะทางเคมี ระหว่างการ ประมวลผลเส้นใยและการทำกระดาษ จากการศึกษา งานวิจัยเรื่อง การเตรียม องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะ และคุณสมบัติของแผ่นกระดาษหญ้าเนเปียร์ [12] ได้

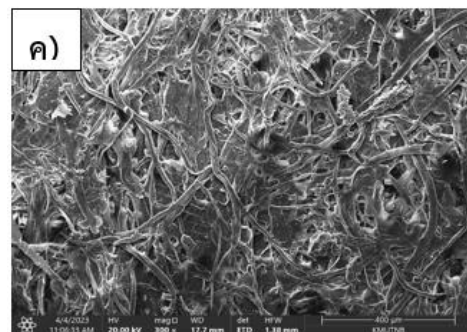
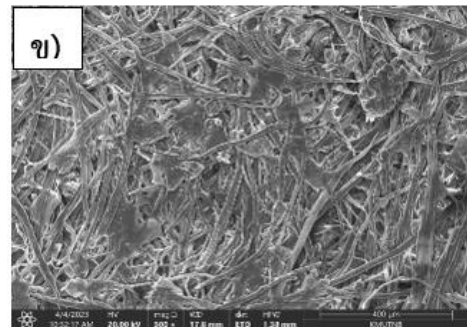
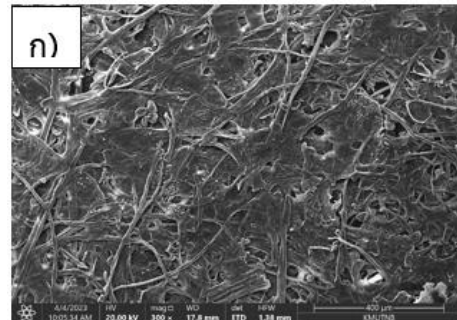
อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาระหว่างเส้นใย หนาติดกับเยื่อกระดาษที่ได้ โดยทั่วไปเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติส่วนใหญ่มีโครงสร้างหลายเซลล์และประกอบด้วยเซลล์ลูโลสล้อมรอบและประสานกันด้วย ลิกนินและเอมิเซลลูโลส ในระหว่างกระบวนการผลิตเยื่อ ลิกนินและเอมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ถูกกำจัดออก รูปถ่าย จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนยังบ่งชี้ถึงโครงสร้าง คล้ายเครือข่ายที่มีเส้นใยสูงซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสไมโครไฟบริล การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของ พื้นผิวเส้นใยเกิดจากการกำจัดเอมิเซลลูโลสและลิกนิน ด้วยการบำบัดทางเคมี ส่งผลให้พื้นผิวขรุขระปรากฏ ขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้การยึดเกาะเพิ่มขึ้นที่ส่วนต่อประสาน ระหว่างเส้นใยและการดูดซึมน้ำในกระบวนการผลิต กระดาษ

จากรูปที่ 5 ผลของการเคลือบ PLA ผสม PBS บนกระดาษปรากฏอย่างชัดเจนผ่านการวิเคราะห์ภาพ โครงสร้างจุลภาค ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นผิวที่เรียบ รูป SEM ระบุว่าโครงสร้างเส้นใยที่มีรูพรุนของกระดาษทำมือถูก หุ้มและเคลือบ PLA ผสม PBS วัสดุเคลือบทำหน้าที่ เหมือนสารตัวเติม เช่น ดินเหนียว กล่าวคือ เติมน้ำในพื้นที่ว่างบนพื้นผิวของกระดาษแข็งเพื่อให้พื้นผิวเรียบ กระดาษที่เคลือบด้วย WPI Han and Krochta [26] พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วย WPI ให้พื้นผิวเคลือบที่เป็น เนื้อเดียวกันและเรียบกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ ซึ่งเป็นที่ น่าสนใจที่ได้เห็นเส้นขอบระหว่างชั้นเคลือบและ กระดาษที่แสดงในมุมมองภาคตัดขวางของกระดาษที่ เคลือบด้วย PLA ผสม PBS เนื่องจาก PLA ผสม PBS สามารถเข้ากันได้กับเส้นใยที่ชอบน้ำมากกว่าเพื่อแทรกซึมเข้าไปในชั้นไฟเบอร์ของกระดาษทำมือมากขึ้น

### 3.2 ความต้านแรงดึง (TS) และร้อยละการยืด ของชิ้นทดสอบที่จุดขาด (%E)

เพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างเชิงกล ข้อดีและ ข้อเสีย ระหว่างกระดาษทำมือและกระดาษเคลือบด้วย

PLA ผสม PBS จึงได้ทำการทดสอบความต้านแรงดึง (TS) และร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาด(%E) ของกระดาษสองชนิดแบบ มีการทดสอบซ้ำสามครั้ง สำหรับกระดาษแต่ละแบบ เพื่อลดข้อผิดพลาดในการ ทดสอบ ข้อมูลแรงดึงและร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบ ที่จุดขาดของตัวอย่างเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ ตัวอย่าง

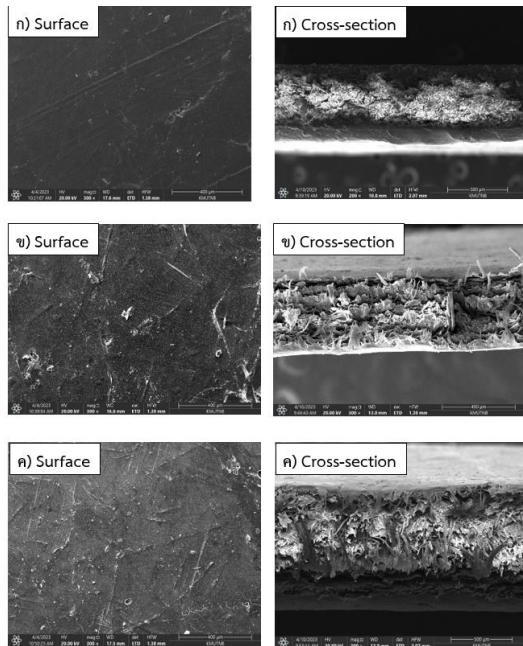


ก) กระดาษผสม P1 ข) กระดาษผสม P2

ค) กระดาษผสม P3

รูปที่ 4 ภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพื้นผิวของกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเส้นใยเปลือกหน่อไม้

จากรูปที่ 6ก) จะเห็นได้ว่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือ ค่าความต้านแรงดึงของกระดาษที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS นั้นสูงกว่ากระดาษทำมือที่ไม่มีการเคลือบ ความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ที่สภาวะ P2+PLA,PBS จะดีที่สุด จากการเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือที่ไม่มีการเคลือบพบว่า P3 มีค่าเท่ากับ 232.33 MPa มีค่าสูงสุดสำหรับการผลิตทำมือจากเส้น



ก) กระดาษผสม P1+PLA,PBS

ข) กระดาษผสม P2+PLA,PBS

ค) กระดาษผสม P3+PLA,PBS

**รูปที่ 5** ภาพโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพื้นผิวของกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ผ่านการเคลือบ PLA

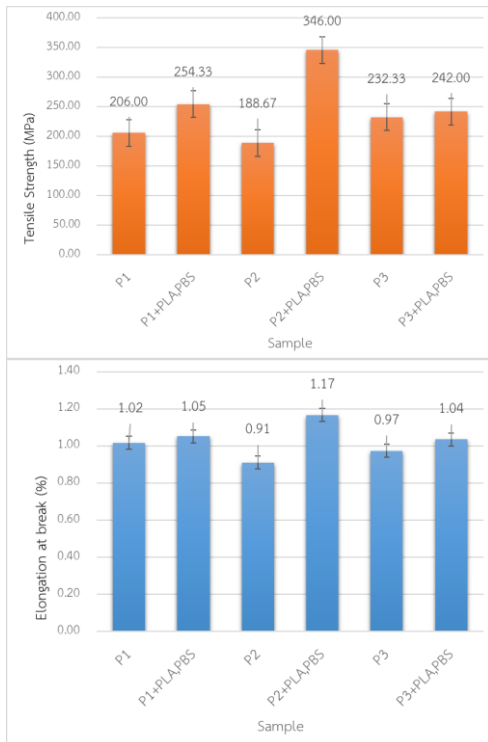
ใยเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ จากรูปที่ 4 ค) สังเกตได้ว่ากระดาษทำมือ P3 มีเส้นใยที่ใหญ่และยาวกว่า ซึ่งเส้นใยขนาดใหญ่จะเพิ่มความเหนียวของกระดาษ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ดี [27] ความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากกว่ากระดาษ P1

และ P2 เมื่อเทียบกับความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือและกระดาษทำมือเคลือบด้วย PLA ผสม PBS ความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือเคลือบ PLA ผสม PBS จะดีกว่าในทุกชนิดกระดาษ จากรูปร่างพื้นผิวและรูปตัดขวางของกระดาษในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเส้นใยของกระดาษทำมือเคลือบ PLA ผสม PBS มีความพรุนลดลง การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยมีความแน่น และการมี PLA ผสม PBS เคลือบผิวช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงของกระดาษ จากรูปที่ 6ข) การยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาดของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ และ กระดาษทำมือที่เคลือบ PLA ผสม PBS ค่าการยืดของชิ้นของกระดาษ P2+PLA,PBS มีค่ามากที่สุด 1.17% เมื่อพิจารณากระดาษทำมือเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ กระดาษ P1 มีค่าการยืดตัวของวัสดุ 1.02% มากที่สุดเมื่อเทียบกับกระดาษแบบเดียวกัน และกระดาษทำมือ P2+PLA,PBS มีค่าความแตกต่างของการยืดของชิ้นทดสอบอย่างชัดเจน เนื่องจากการเคลือบกระดาษทำมือ P2+PLA,PBS มีชั้นสารเคลือบที่มีความหนาสม่ำเสมอช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงแสดงดังรูปที่ 5 ข)

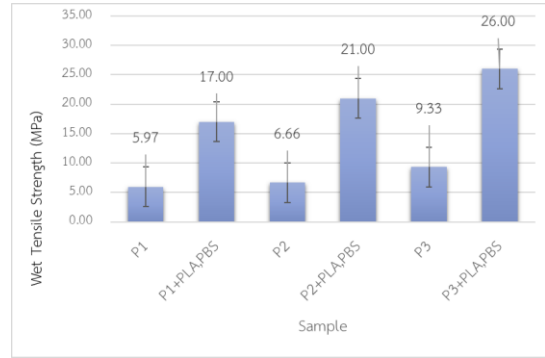
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระดาษค่า TS แสดงถึงความสามารถของกระดาษแข็งในการต้านทานการแตกหักภายใต้แรงดึง ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใย พื้นที่ผิวและความยาว และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยทั้งสอง ในขณะที่ %E แสดงถึงความแข็งแรงของกระดาษแข็ง ทั้ง TS และ %E เพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากการเคลือบ PLA ผสม PBS ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ J.-W. Rhim and J.-H. Kim [7] พบว่า TS ของกระดาษแข็งเคลือบ PLA เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเคลือบ PLA ผสม PBS ต่ำกว่า 0.5% ของสารละลายเคลือบ PLA ผสม PBS และ %E ของกระดาษแข็งยังเพิ่มขึ้นด้วยการเคลือบด้วย PLA ผสม PBS และเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ PLA ผสม PBS ที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้บ่งชี้ว่าความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น

### 3.3 ความต้านทานแรงดึงเปื่อยของกระดาษ

ความต้านทานแรงดึงเปื่อยของกระดาษแสดงถึงความสามารถของกระดาษทำมือเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ทั้งไม่เคลือบ และเคลือบ PLA ผสม PBS ในการต้านทานแรงดึงเมื่อสัมผัสกับน้ำ รูปที่ 7 แสดงความต้านทานแรงดึงแบบเปื่อยของกระดาษทำมือหลังจากสัมผัสกับน้ำทั้งสองหน้าจะเห็นได้ว่ากระดาษทำทั้งหมดที่สัมผัสกับน้ำความต้านทานแรงดึงของกระดาษลดลงอย่างมาก สำหรับกระดาษทำมือไม่เคลือบลดลง 96-97% สำหรับกระดาษทำมือที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ลดลง 89-93% เมื่อเทียบกับค่า TS แบบแห้ง (รูปที่ 6 ก)) ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าความแข็งแรงเปื่อยของกระดาษแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยการเคลือบด้วย PLA ผสม PBS สาเหตุหลักมาจากการปรับปรุงความสามารถในการกันน้ำของพื้นผิวของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS



รูปที่ 6 ก) ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือ (TS) ข) ร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาดของกระดาษทำมือ (%E)



รูปที่ 7 ความต้านทานแรงดึงเปื่อยของกระดาษ

### 3.4 การทดสอบการร่วซึมและความคงรูปของภาชนะ

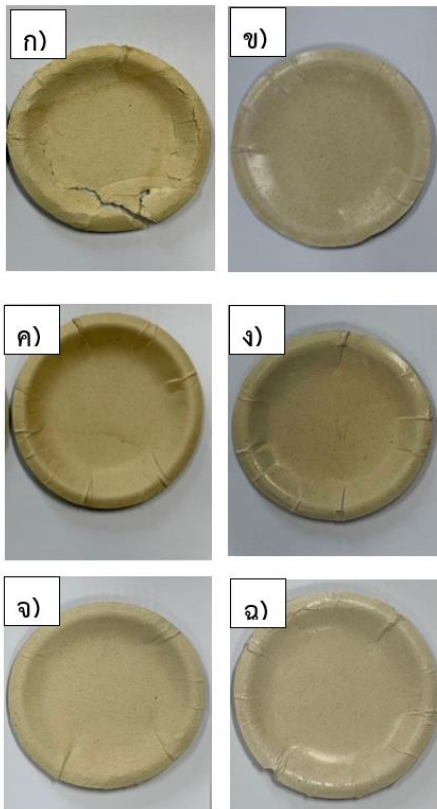
ในการขึ้นรูปภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P1, P2 และ P3) กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ที่ผ่านการเคลือบ PLA ผสม PBS (P1+PLA,PBS, P2+PLA,PBS และ P3+PLA,PBS) นำกระดาษมาอัดขึ้นรูปภาชนะวงกลมที่แม่พิมพ์รัศมีขนาด 7 เซนติเมตร

1) ภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ไม่เคลือบพลาสติก (P1) ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากกระดาษเกิดการขาดก่อนจากภาพถ่าย SEM (รูปที่ 4ก) เห็นได้ว่า เส้นใยมีลักษณะสั้น ทำให้ไม่มีการเกาะกลุ่มกันจึงขาดจากกัน ดังรูปที่ 8 ก) ส่วนภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS (P1+PLA,PBS) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ข)

2) ภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P2) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ค) เนื่องจากลักษณะเส้นใยมีเส้นใยยาว จึงมีการเกาะกลุ่มกัน ภาชนะกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS (P2+PLA, PBS) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ง)

3) ภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P3) สามารถขึ้นรูปได้ดังรูปที่ 8 จ) เนื่องจากลักษณะเส้นใยมีเส้นใยยาว จึงมีการเกาะ

กลุ่มกัน ภาชนะกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS (P3+PLA,PBS) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ฉ)



ก) กระดาษผสม P1 ข) กระดาษผสมเคลือบP1+PLA,PBS  
ค) กระดาษผสม P2 ง) กระดาษผสมเคลือบP2+PLA,PBS  
จ) กระดาษผสม P3 ฉ) กระดาษผสมเคลือบP3+PLA,PBS

#### รูปที่ 8 ภาชนะจากกระดาษเส้นใย

ผลการทดสอบภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ โดยนำภาชนะมาทดสอบการรั่วซึม และทดสอบความคงรูป โดยเทน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในภาชนะ จับเวลา 15 นาที สังเกตความเปลี่ยนแปลงของภาชนะ หรือจนกว่าจะมีน้ำซึมไปจนถึงกระดาษที่ใช้รองภาชนะจึงทำการหยุดเวลา และบันทึกผล พบว่า ภาชนะจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P2, P3) ไม่สามารถทนน้ำได้จนครบเวลา ไม่สามารถคงรูปเดิม ในส่วนของภาชนะจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือก

หน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ทุกแบบ สามารถทนน้ำได้จนครบเวลาโดยไม่มีน้ำซึมออกมา และยังมีรูปทรงที่คงเดิม

## 4. สรุป

เส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้สามารถเป็นแหล่งทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษ ถูกผลิตด้วยกระบวนการโซดา ทำการทดสอบสมบัติของกระดาษทำมือที่เคลือบผิวและที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ในด้านความหนา กระดาษที่เคลือบจะมีความหนาเพิ่มขึ้น ความชื้นลดลง ความต้านแรงดึง และร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาดของกระดาษที่เคลือบ PLA ผสม PBS มีค่ามากกว่าความต้านแรงดึงเปียกจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำชิ้นงานไปอัดขึ้นรูป และทดสอบการทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะกระดาษที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS สามารถผ่านการทดสอบได้ในทุกประเภท

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่สัญญา Fitm-6507001-01

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Hunthanee, "Single use plastic packaging is not the culprit," [Online]. Available: [https://www.tei.or.th/th/article\\_detail.php?bid=125](https://www.tei.or.th/th/article_detail.php?bid=125). [Accessed: May 14, 2023].
- [2] R. Jambeck, R. Geter, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, and K. L. Law, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science*,

- vol. 347, no. 6223, pp. 768–771, Feb. 13, 2015.
- [3] I. E. Napper and R. C. Thompson, “Marine plastic pollution: Other than microplastic,” in *Waste*, 2nd ed., 2019, pp. 425–442.
- [4] P. Cazón and M. Vázquez, “Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: A review,” *Food Hydrocolloids*, vol. 113, Apr. 2021.
- [5] E. Divsalar, H. Tajik, M. Moradi, M. Forough, M. Lotfi, and B. Kuswandi, “Characterization of cellulosic paper coated with chitosan zinc oxide nanocomposite containing nisin and its application in packaging of UF cheese,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 109, pp. 1311–1318, Apr. 2015.
- [6] G. L. Robertson, “Paper and paper based packaging materials,” in *Food Packaging: Principles and Practice*, G. L. Robertson, Ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1993, pp. 144–172.
- [7] J. W. Rhim and J. H. Kim, “Properties of poly(lactide)-coated paperboard for the use of 1 way paper cup,” *Journal of Food Science*, vol. 74, no. 2, pp. 105–111, 2009.
- [8] S. Y. Lin and J. M. Krochta, “Plasticizer effect on grease barrier and color properties of whey-protein coatings on paperboard,” *Journal of Food Science*, vol. 68, no. 1, pp. 229–233, 2003.
- [9] M. Krook, M. Gällstedt, and M. S. Hedenqvist, “A study on montmorillonite/polyethylene nanocomposite extrusion coated paperboard,” *Packaging Technology and Science*, vol. 18, no. 1, pp. 11–20, Jan./Feb. 2005.
- [10] J. W. Rhim, J. H. Lee, and S. I. Hong, “Increase in water resistance of paperboard by coating with poly(lactide),” *Packaging Technology and Science*, vol. 20, no. 6, pp. 393–402, Nov./Dec. 2007.
- [11] J. W. Rhim, J. H. Lee, and S. I. Hong, “Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards,” *LWT – Food Science and Technology*, vol. 39, no. 7, pp. 806–813, Sep. 2006.
- [12] K. O. Reddy, C. U. Maheswari, M. Shukla, and E. Muzenda, “Preparation, chemical composition, characterization, and properties of Napier grass paper sheets,” *Separation Science and Technology*, vol. 49, pp. 1527–1534, 2014.
- [13] A. Ashori, “Nonwood fibers: A potential source of raw material in papermaking,” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 45, no. 10, 2006.
- [14] L. Jiménez, E. Ramos, A. Rodríguez, M. J. De la Torre, and J. L. Ferrer, “Optimization of pulping conditions of abaca: An alternative raw material for producing cellulose pulp,” *Bioresource Technology*, vol. 96, no. 9, pp. 977–983, Jun. 2005.
- [15] K. L. Kadam, L. H. Forrest, and W. A. Jacobson, “Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing,

- transportation, and environmental aspects,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 18, no. 5, pp. 369–389, 2000.
- [16] P. Girouard and R. Samson, “The potential role of perennial grasses in the pulp and paper industry,” in *Proceedings of the Americas*, Oakland, CA, Canada, 2000, pp. 85–89.
- [17] Land Development Department, “Appropriate agricultural promotion guidelines based on the proactive agriculture map database (Agri-Map) Prachin Buri,” [Online]. Available: <https://www.ldd.go.th/Agri-Map/Data/E/pri.pdf>. [Accessed: May 14, 2023].
- [18] M. Kawsuk and T. Somjai, “The study parameters the effect of paper from fiber of bamboo shoot sheath,” in *Proceedings of the 7th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference*, Thailand, 2022.
- [19] P. Tongngam, P. Jeedeyod, and W. Vongthep, *Handmade Corn Husk Paper, Creating Environmentally Friendly Packaging*. Kaewpanya, Thailand: KBS Knowledge BookStore, 2018.
- [20] M. O. Aremu, S. O. Aperolola, and O. O. Dabonyan, “Suitability of Nigerian corn husk and plantain stalk for pulp and paper production,” *European Scientific Journal*, vol. 11, no. 30, pp. 146–152, Oct. 2015.
- [21] T. Baipluthong, B. Yodkaew, and A. Tatsana, “Developmental production of biodegradable container from mixture of rough bamboo shoot sheath and corn husk,” B. Ind. Tech. project, Dept. Industrial Management, KMUTNB Univ., Prachin Buri, Thailand, 2022.
- [22] J. Phawande and S. Jungin, “Study of properties of paper from bamboo shoot fibers coated with bioplastic,” B. Ind. Tech. project, Dept. Industrial Management, KMUTNB Univ., Prachin Buri, Thailand, 2020.
- [23] M. Kawsuk and T. Somjai, “Properties of paper from mixed fiber of bamboo sprout coat and corn husk,” *Journal of Manufacturing and Management Technology*, vol. 1, no. 2, pp. , Jul.–Dec. 2022.
- [24] C. Arpavate, J. Wongon, N. Srisawat, and N. Kaabbuathong, “The improvement of impact strength of PLA blends with PBS,” in *Proceedings of IE Network Conference 2011*, Thailand, 2011, pp. 1419 – 1423.
- [25] Thai Community Product Standard, “Plant-based container,” [Online]. Available: <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>. [Accessed: May 10, 2022].
- [26] J. H. Han and J. M. Krochta, “Wetting properties and water vapor permeability of whey-protein-coated paper,” *Transactions of the ASAE*, vol. 42, no. 5, pp. 1375 – 1382, 1999.
- [27] W. Kongtud, S. Witayakran, J. Boonyarit, and R. Chollakup, “Comparative study

on mechanical and physical properties of handmade paper from oil palm empty fruit bunches and mulberry coated with glucomannan,” in *Proceedings of the 57th Kasetsart*

*University Annual Conference: Science and Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industry, Natural Resources and Environment*, Kasetsart University, Thailand, 2019, pp. 754–762.