

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้จากกากเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่ง

Development of Packaging for Mango Nam Dok Mai from Sugarcane Leaf Fibers and Residue Asparagus

ภาวิณี เทียมดี^{1*} และศุภกิจ เสวฆุนทศ¹

Pawinee Theamdee^{1*} and Suphakit Sewakhuntos¹

Received: March 3, 2025; Revised: April 15, 2025; Accepted: April 17, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งสำหรับบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ ศึกษาอัตราส่วนปริมาณเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่แตกต่างกัน ในการเตรียมเส้นใยใบอ้อยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % w/v อุณหภูมิ 80 - 90 °C เวลา 2 ชั่วโมง ฟอกขาวเส้นใยด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 25 % v/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนกากหน่อไม้ฝรั่งไปอบด้วยเตาอบลมร้อนจนแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ผงกากหน่อไม้ฝรั่ง ศึกษาหุ้ฟงักซ้นของเส้นใยใบอ้อยด้วยเครื่อง FTIR ของเส้นใยใบอ้อยหลังฟอกสีเป็นการยืนยันการมีอยู่ของเซลลูโลส จากนั้นเตรียมอัตราส่วนในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากเส้นใยใบอ้อยต่อกากหน่อไม้ฝรั่ง ได้แก่ 0:30 (S0A30), 10:20 (S10A20), 20:30 (S20A10) และ 30:0 (S30A0) ในหน่วยกรัม นำไปขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากการออกแบบรูปแบบบรรจุภัณฑ์โดยใช้ความกว้างยาวตามขนาดเฉลี่ยของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกและหล่อแบบแม่พิมพ์ด้วยปูนปลาสเตอร์ เพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกล ได้แก่ ความหนา การดูดซึมน้ำ การละลายน้ำ การดูดซับความชื้น การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงเจาะ การต้านทานแรงฉีกและการย่อยสลาย โดยธรรมชาติของตัวอย่าง พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมบรรจุภัณฑ์ คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นใยใบอ้อย 20 กรัม ต่อผงกากหน่อไม้ฝรั่ง 10 กรัม (S20A10) เนื่องจากมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและทางกลโดยรวมเหมาะสมที่สุด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์มีผิวเรียบสม่ำเสมอ มีค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการละลายน้ำ และค่าการดูดซับความชื้นค่อนข้างต่ำ ส่วนความสามารถในการต้านทานแรงกด ต้านทานแรงเจาะ และต้านทานแรงฉีกได้ดี และจากการศึกษาร้อยละการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าร้อยละการย่อยสลายมีค่า 6.36 ในระยะเวลา 3 เดือน ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากกากหน่อไม้ฝรั่งและเส้นใยใบอ้อยต้นแบบสามารถนำไปใช้งานเพื่อบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้และงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

คำสำคัญ : บรรจุภัณฑ์ผลไม้; ใบอ้อย; กากหน่อไม้ฝรั่ง; การย่อยสลาย

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹ Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

* Corresponding Author, Tel. 08 6213 6336, E - mail: pawinee.t@lawasri.tru.ac.th

Abstract

This research aims to study the preparation of fruit packaging made from sugarcane leaf fibers and asparagus residue for packaging Nam Dok Mai mangoes. It examines different ratios of sugarcane leaf fibers and asparagus residue. The sugarcane leaf fibers were prepared using 10 % w/v sodium hydroxide at a temperature of 80 - 90 °C for 2 hours. The fibers were then bleached with 25 % v/v hydrogen peroxide for 1 hour. Meanwhile, the asparagus residue was dried in a hot air oven at 50 °C for 24 hours to obtain asparagus residue powder. The functional groups of the bleached sugarcane leaf fibers were analyzed using FTIR to confirm the presence of cellulose. Next, prepare the ratio for molding fruit packaging from sugarcane leaf fibers to asparagus powder, including 0:30 (S0A30), 10:20 (S10A20), 20:30 (S20A10), and 30:0 (S30A0) in grams. The fruit packaging was then molded based on the average dimensions of ripe Nam Dok Mai mangoes using a plaster mold. The samples were analyzed for their physical, chemical, and mechanical properties, including thickness, water absorption, water solubility, moisture absorption, compression test, puncture resistance, shear resistance, and biodegradability. The results indicated that the optimal ratio for packaging preparation was 20 grams of sugarcane leaf fiber to 10 grams of asparagus residue powder (S20A10). This ratio yielded the best overall physical, chemical, and mechanical properties. The resulting packaging had a smooth and uniform surface, low water absorption, water solubility, and moisture uptake. Additionally, it exhibited good compressive strength, puncture resistance, and shear resistance. Biodegradability testing through soil burial showed a decomposition rate 6.36 % over a period of 3 months. Therefore, the prototype fruit packaging made from asparagus residue and sugarcane leaf fibers can be used for packaging Nam Dok Mai mangoes and other related applications.

Keywords: Fruit Packaging; Sugarcane Leaf Fibers; Residue Asparagus; Degradation

บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยโดยได้รับการส่งเสริมศักยภาพการผลิตเพื่อการส่งออกจากรัฐบาลมาโดยตลอด ทั้งในด้านการขยายพื้นที่เพาะปลูกและการพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยรูปแบบการส่งออกประกอบด้วยมะม่วงผลสดร้อยละ 2 ผลิตภัณฑ์แปรรูปร้อยละ 2 และมากกว่าร้อยละ 90 ใช้สำหรับการบริโภคภายในประเทศ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ จัดเป็นมะม่วงที่มีศักยภาพในการผลิต และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ (Ngamrabam et al., 2018) แต่การขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สดเป็นจำนวนมาก ๆ ในแต่ละภูมิภาค จึงจำเป็นต้องอาศัยบรรจุภัณฑ์ในการขนส่งเพื่อห่อหุ้มไม่ทำให้มะม่วงช้ำก่อนถึงมือผู้บริโภค ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ผลไม้จึงจำเป็นต่อการขนส่งเป็นอย่างมาก (Sakorn, 2022) เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการขนส่งและป้องกันการกระแทกระหว่างลูก การสัมผัสเนื่องระหว่างการขนส่งผลไม้ ซึ่งในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์แบบเดิมใช้กระดาษฟอย โฟมพลาสติกและโฟมตาข่าย ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้งานครั้งเดียวทำให้เหลือเศษวัสดุที่ได้จากการขนส่งในแบบต่าง ๆ จำนวนมาก (Suwannasre et al., 2017) จึงมีแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งในการเกษตร เพื่อทดแทนการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการวิจัยของประทุมทอง ไตรรัตน์ (Tiriat, 2017) ทำการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แบบเยื่อกระดาษจากก้านของต้นกล้วยและออกแบบบรรจุภัณฑ์จากเยื่อกระดาษสำหรับผลไม้ 2 ชนิด ได้แก่ มะม่วงมะละกอ และเติมสารสกัดจากสมุนไพรไทยจากใบขี้เหล็ก ใบมะกรูด และข่า เพื่อลดการเกิดเชื้อราลงได้

ผู้วิจัยสนใจจากหน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* L.: green asparagus) (Guo et al., 2020) เนื่องจากชุมชนหมู่บ้านอินทรี บ้านท่าปลวกสูง ตำบลท่าดินดำ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี มีการปลูกหน่อไม้ฝรั่งและผลิตผลิตภัณฑ์น้ำที่สกัดจากหน่อไม้ฝรั่ง จึงทำให้เหลือจากหน่อไม้ฝรั่งในปริมาณมาก จากหน่อไม้ฝรั่งมีสารสำคัญทางชีวภาพ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และฟีนอลิก เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระ 5 ชนิด ได้แก่ กรดเฟอรูลิก เคมเฟอรอล เคอร์ซีติน รูติน และโอซอร์ แอมเนติน (Fan et al., 2015) และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เซลลูโลสและเคอซิติน ดังนั้นจากหน่อไม้ฝรั่งจึงไม่มีความเป็นพิษ ไม่เป็นอันตราย และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และต้านจุลชีพ (Jin et al., 2021) แต่เส้นใยจากหน่อไม้ฝรั่งเพียงอย่างเดียวนั้นทำให้มีความแข็งแรงน้อยเมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ จึงต้องหาเส้นใยอื่นเข้ามาช่วย เส้นใยจากธรรมชาติที่น่าสนใจ คือ เส้นใยจากใบอ้อย (*Saccharum officinarum* L.) ซึ่งมีมากในจังหวัดลพบุรี เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ใบอ้อยมักเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและยังไม่สามารถเพิ่มมูลค่าจากใบอ้อยได้ เกษตรกรส่วนใหญ่มักเผาใบอ้อยเพื่อลดปัญหาด้านแรงงานและเพื่อการเก็บเกี่ยว จึงทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น ฝุ่น PM 2.5 เป็นต้น ใบอ้อยมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีความแข็งแรงของเส้นใยสูง (Mbise et al., 2021; Ratanamanee et al., 2022) ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการนำใบอ้อยมาทำเป็นเส้นใยใช้เป็นวัสดุร่วมกับจากหน่อไม้ฝรั่งจะทำให้บรรจุภัณฑ์ผลไม่มีความแข็งแรง เช่น จากงานวิจัยของ Lungnongkhun et al. (2017) ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตเส้นด้ายจากใบอ้อยร่วมกับฝ้าย เมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงและแรงดึงขาดของเส้นด้าย พบว่าเส้นด้ายจากใบอ้อยร่วมกับฝ้ายมีความแข็งแรงและทนต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายสูงสุด

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมบรรจุภัณฑ์ผลไม้มากจากหน่อไม้ฝรั่งและเส้นใยใบอ้อย จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางกล รวมถึงศึกษาอัตราการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ผลไม้มาก สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับใบอ้อยและจากหน่อไม้ฝรั่ง และเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ผลไม้มากชนิดอื่นได้อีกทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์และลดการเสียหายในการขนส่ง ลดการใช้สารเคมี ซึ่งจะส่งผลดีต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของประเทศได้

ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

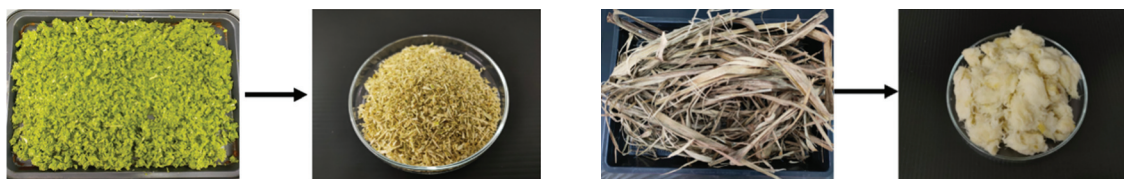
จากหน่อไม้ฝรั่ง ได้ความอนุเคราะห์จากชุมชนหมู่บ้านอินทรี บ้านท่าปลวกสูง ตำบลท่าดินดำ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ใบอ้อยพันธุ์ลำปาง ระยะเวลาปลูก 12 เดือน ได้ความอนุเคราะห์จากชุมชนบ้านดงไฟไหม้ ตำบลดงมะรุ อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ความเข้มข้น 10 % w/v สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) ความเข้มข้น 25 % v/v และปูนปลาสเตอร์ บริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ชายนต์พิค คอลซัพพลาย

การเตรียมผงจากหน่อไม้ฝรั่ง

นำจากหน่อไม้ฝรั่งไปอบด้วยเตาอบลมร้อนจนแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้าประมาณ 30 วินาที จะได้ผงจากหน่อไม้ฝรั่งเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อใช้งานต่อไป (รูปที่ 1(ก))

การเตรียมเส้นใยใบอ้อย

ดัดแปลงตามวิธีของ Hadthamard et al. (2024) ตัดใบอ้อยแห้งให้มีขนาดยาวประมาณ 3 - 4 เซนติเมตร ปริมาณ 300 กรัม ล้างน้ำทำความสะอาดใบอ้อย และนำไปแช่น้ำทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำให้ใบอ้อยนุ่ม และนำไปต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 % w/v ที่อุณหภูมิ 80 - 90 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ต่อมานำเส้นใยไปล้างให้สะอาดจนหายสี จากนั้นนำไปฟอกขาวเส้นใยโดยนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 25 % v/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปล้างในน้ำสะอาดจนครบ 3 ครั้ง จะได้เส้นใยที่ถูกกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกไป นำเส้นใยไปอบด้วยเตาอบลมร้อนจนแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อใช้งานต่อไป (ดังรูปที่ 1(ข))



(ก) ผงกากหน่อไม้ฝรั่งจากกากหน่อไม้ฝรั่งสด
 (ข) เส้นใยใบอ้อยหลังลอกสี
รูปที่ 1 การเตรียมผงกากหน่อไม้ฝรั่งและการเตรียมเส้นใยใบอ้อยหลังลอกสีจากใบอ้อย

การออกแบบแม่พิมพ์บรรจุภัณฑ์ผลไม้

การออกแบบแม่พิมพ์บรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ เริ่มจากการกำหนดขนาดของบรรจุภัณฑ์จากขนาดเฉลี่ยของผลมะม่วงน้ำดอกไม้ในระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งได้จากการวัดผลมะม่วงตัวอย่างจำนวนหนึ่ง เพื่อให้บรรจุภัณฑ์มีขนาดพอดีกับผลไม้ วัสดุที่ใช้สำหรับหล่อแม่พิมพ์ ได้แก่ ปูนปลาสเตอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติคงรูปที่ดี จากนั้นเทลงในแบบที่เตรียมไว้และปล่อยให้แห้งตัวจนได้แม่พิมพ์ที่มีรูปร่างและขนาดตามต้องการ ทำการเจาะรูทั้งสองฝั่งเพื่อให้สามารถระบายน้ำออกได้ ทั้งนี้การออกแบบแม่พิมพ์จะต้องคำนึงถึงความโค้งมนของพื้นผิวและมุมต่าง ๆ เพื่อช่วยในการถอดชิ้นงานออกจากพิมพ์ได้ง่าย และต้องเผื่อขนาดเพื่อชดเชยการหดตัวของวัสดุเส้นใยธรรมชาติ ดังรูปที่ 2



(ก) แม่พิมพ์ฝั่งบน



(ข) แม่พิมพ์ฝั่งล่าง

รูปที่ 2 ออกแบบแม่พิมพ์บรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยปูนปลาสเตอร์

การเตรียมส่วนผสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผลไม้

ดัดแปลงตามวิธีของ Trirat (2017) อัตราส่วนในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากกากหน่อไม้ฝรั่งและเส้นใยใบอ้อย ดังตารางที่ 1 นำแต่ละอัตราส่วนใส่ลงในเครื่องปั่นไฟฟ้า เติมน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ปั่นจนเป็นเวลา 30 วินาทีจนเยื่อนุ่มและละเอียด นำเยื่อที่ปั่นเทลงแผ่นเฟรมไม้ขนาด 22 x 30 เซนติเมตร วางด้วยผ้าขาวบางด้านบน เกลี่ยเยื่อกระจายให้ทั่วแผ่น ใช้ฟองน้ำซับน้ำออกเพื่อให้เยื่อแน่นขึ้น นำเยื่อขึ้นจากแผ่นเฟรมไม้แล้วนำมาวางลงในแบบแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่สร้างขึ้น เกลี่ยขึ้นรูปโดยใช้ฟองน้ำซับน้ำออกเพื่อให้เยื่อแน่นขึ้น จากนั้นนำไปผึ่งลมให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นทำการตัดขอบบรรจุภัณฑ์ผลไม้ให้เป็นรูปทรงมะม่วง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากกากหน่อไม้ฝรั่งและเส้นใยใบอ้อย

ตารางที่ 1 อัตราส่วนในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผลไม้

ตัวอย่าง	เส้นใยใบอ้อย (กรัม)	กากหน่อไม้ฝรั่ง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)
S0A30	0	30	1,000
S10A20	10	20	1,000
S20A10	20	10	1,000
S30A0	30	0	1,000

หมายเหตุ : S = เส้นใยใบอ้อย A = กากหน่อไม้ฝรั่ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางกล

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ความหนา

วิเคราะห์ความหนาของบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องมือโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo Scientifica รุ่น M110-25 โดยตัดขึ้นตัวอย่างขนาด 4 x 4 เซนติเมตร ของทุกอัตราส่วนมาทดสอบ 3 ซ้ำ ที่ตำแหน่งต่างกัน 3 จุด แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย

การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ดัดแปลงตามวิธีของ Tajvidi et al. (2005), Patricia et al. (2018) โดยนำชิ้นงานขนาด 4 x 4 เซนติเมตร (อัตราส่วนละ 3 ชิ้น) เก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้นที่บรรจุซิลิกาเจลเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_i) นำไปแช่ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W_a) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ และคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(W_a - W_i)}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

การทดสอบสมบัติการละลายน้ำ (Water Solubility)

การทดสอบสมบัติการละลายน้ำช่วยให้สามารถประเมินความทนทานและความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นหรือการสัมผัสกับน้ำ ดัดแปลงตามวิธีของ Sanyang et al. (2016) โดยนำชิ้นงานขนาด 2 x 2 เซนติเมตร (อัตราส่วนละ 3 ชิ้น) ถูกทำให้แห้งในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งแล้วบันทึกค่าก่อนการทดสอบ (W_i) นำไปแช่ในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร จากนั้นเข้าเครื่องเขย่าสาร (Shaker) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W_o) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ และคำนวณหาค่าร้อยละการละลายน้ำ ดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละการละลายน้ำ} = \frac{(W_i - W_o)}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

การทดสอบสมบัติการดูดซับความชื้น (Moisture Absorption)

ดัดแปลงตามวิธีของ Bergel et al. (2018), Begum et al. (2021) โดยนำชิ้นงานขนาด 5 x 5 เซนติเมตร (อัตราส่วนละ 3 ชิ้น) มาไล่ความชื้นด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_o) จากนั้นนำชิ้นงานมาเก็บในโถที่มีสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ หลังจากครบเวลา ชิ้นงานถูกชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (W_i) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ และคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซับความชื้น ดังสมการที่ (3)

$$\text{ร้อยละการดูดซับความชื้น} = \frac{(W_i - W_o)}{W_i} \times 100 \quad (3)$$

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยตรวจสอบเอกลักษณ์ของหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทคนิค FTIR Spectrometer (Perkin Elmer, U.S.A.) โดยใช้ Attenuated Total Reflectance (ATR) มีช่วงเลขคลื่นในการวิเคราะห์ เท่ากับ $4,000 - 400 \text{ cm}^{-1}$

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกล

การศึกษาสมบัติทางกลด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (TA.XT.plus, U.S.A.) ส่วนทดสอบการต้านทานแรงกด นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบ โดยใช้หัววัดแบบแผ่นแบน (Flat Plate Compression Test) ระยะการกดร้อยละ 75 ของความสูงตัวอย่าง ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Schmidt and Laurindo, 2010; Bos et al., 2002) ทดสอบการต้านทานแรงเฉาะ ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2×2 เซนติเมตร (อัตราส่วนละ 3 ชิ้น) ใช้หัววัด HDP/CFS และ HDP/90 Heavy Duty Platform ระยะในการทดสอบ 8 มิลลิเมตร ความเร็วของเข็มที่เคลื่อนที่ลงถูกตั้งค่าไว้ที่ 10 มิลลิเมตร/นาที่ ทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ (Hu et al., 2021; Theamdee et al., 2024) ทดสอบการต้านทานแรงเฉือน นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบ ใช้หัววัด HDP/BS Blade Set ความเร็วของหัวกด (Cross-Head Speed) ที่ใช้ในการทดสอบ ถูกตั้งค่าไว้ที่ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะที่กดลงตัวอย่าง 6 มิลลิเมตรทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ (Herrera-Franco and Valadez-Gonzalez, 2004)

ศึกษาอัตราการย่อยสลาย

การทดสอบอัตราการย่อยสลายดำเนินการโดยการฝังกลบในดินแบบง่าย (Simple Soil Burial Test) เพื่อจำลอง กระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติ ตัดชิ้นงานขนาด 4×4 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบ (W_0) ชิ้นงานทุกอัตราส่วนถูกฝังลงในดินร่วน บรรจุดินลงในถังเพาะชำขนาด $80 \times 48 \times 50$ เซนติเมตร และฝังชิ้นงานให้มีความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 เดือน วางไว้ในที่ร่ม ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ $32 \pm 2^\circ \text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 80 และไม่มีการรดน้ำ หลังจากครบเวลาทดสอบ ตัวอย่างที่ถูกฝังกลบถูกนำออกจากพื้นผิว จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C จนกว่าตัวอย่างจะมีน้ำหนักคงที่ บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักชิ้นงาน (W_1) บันทึกผลการทดลองและคำนวณการย่อยสลายของชิ้นงาน ดังสมการที่ (4) (Yussuf et al., 2010)

$$\text{ร้อยละการย่อยสลาย} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100 \quad (4)$$

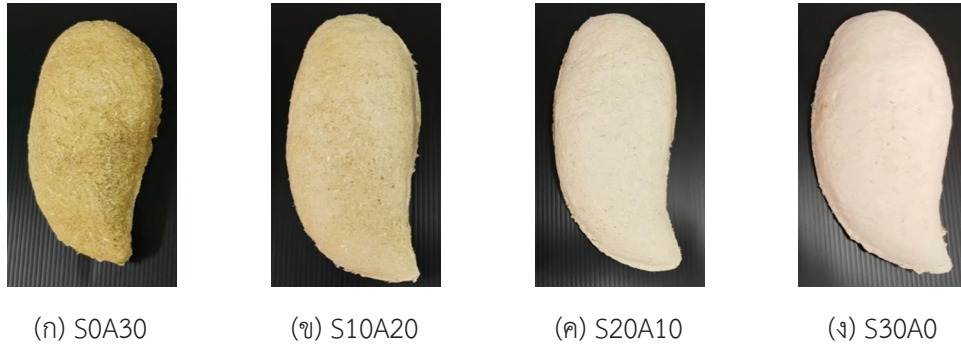
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าผลต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS® Version 12 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา)

ผลการวิจัยและการอธิบายผล

ลักษณะทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ผลไม้ที่ทำจากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่ง

จากการศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งทุกอัตราส่วน พบว่าบรรจุภัณฑ์ผลไม้ที่ทำจากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งอัตราส่วน S0A30 และ S10A20 (รูปที่ 4(ก) - (ข)) มีลักษณะเป็นสีเหลือง-น้ำตาล เกิดจากสีของกากหน่อไม้ฝรั่ง ผิวขรุขระ แผ่นบาง แตกและเปราะ บรรจุภัณฑ์ผลไม้อัตราส่วน S20A10 (รูปที่ 4(ค)) มีลักษณะผิวเรียบ มีความหนาเพิ่มขึ้น แข็งแรง ไม่แตกและไม่เปราะง่าย และบรรจุภัณฑ์ผลไม้อัตราส่วน S30A0 (รูปที่ 4(ง)) มีลักษณะผิวขรุขระน้อย แข็ง ค่อนข้างหนามากกว่าทุกอัตราส่วน จากลักษณะทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ผลไม้เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไผ่อ้อยมากขึ้นทำให้มีความหนาและมีสีขาวมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยไผ่อ้อยหลังจากการฟอกสี มีลักษณะเส้นใยที่เป็นสีขาว (รูปที่ 1(ข)) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mbise et al. (2021)



รูปที่ 4 ลักษณะบรรจุภัณฑ์สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้จากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้จากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่าค่าความหนาของบรรจุภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.11 - 3.23 mm ซึ่งมีค่าความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามอัตราส่วนของเส้นใยไผ่อ้อยที่มากขึ้น จากการศึกษาการดูดซึมน้ำ ร้อยละการละลายน้ำ และร้อยละการดูดซับความชื้น พบว่าค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการละลายน้ำ และค่าการดูดซับความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอัตราส่วนของไผ่อ้อยมากขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีของเส้นใยไผ่อ้อย ซึ่งเซลลูโลสสามารถสร้างโครงสร้างผลึกสถานะผลึกจะมีพลังงานอิสระต่ำ ทำให้สถานะผลึกของเซลลูโลสละลายน้ำได้ยาก (Medronho et al., 2012) ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการละลายน้ำ และค่าการดูดซับความชื้นลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยไผ่อ้อยเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kiangkoo et al. (2017) ทำการศึกษาการผลิตแผ่นกันความร้อนจากเศษผลผลิตเส้นใยขานอ้อย พบว่าเศษผลผลิตสามารถดูดซับน้ำได้ง่ายกว่าเส้นใยขานอ้อย เนื่องจากเซลลูโลสธรรมชาติในเส้นใยขานอ้อยมีความเหนียว ผนังเซลล์แข็งจึงดูดซับน้ำได้น้อยกว่า

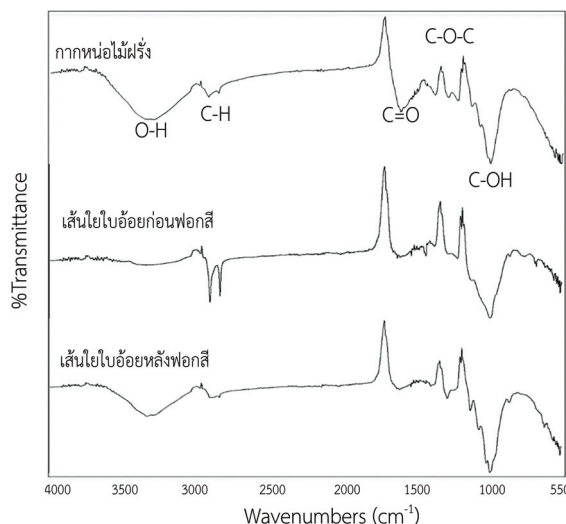
ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความหนา (mm)	การดูดซึมน้ำ (%)	การละลายน้ำ (%)	การดูดซับความชื้น (%)
S0A30	2.11±0.01 ^d	391.67±17.61 ^d	26.11±2.73 ^c	32.70±1.10 ^d
S10A20	2.26±0.03 ^c	322.73±25.31 ^c	14.68±2.41 ^b	18.60±0.43 ^c
S20A10	2.37±0.02 ^b	257.54±26.88 ^b	11.66±1.30 ^b	12.28±0.87 ^b
S30A0	3.23±0.03 ^a	171.41±47.54 ^a	5.40±1.77 ^a	9.29±0.97 ^a

หมายเหตุ : S = เส้นใยไผ่อ้อย A = กากหน่อไม้ฝรั่ง, ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร ^{a, b, c, d} ที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 5 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยกากหน่อไม้ฝรั่ง เส้นใยไผ่อ้อยก่อนฟอกสี และเส้นใยไผ่อ้อยหลังฟอกสี ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าลักษณะสเปกตรัมของเส้นใยกากหน่อไม้ฝรั่งและเส้นใยไผ่อ้อยก่อนฟอกสีพบสัญญาณเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 3,285 cm^{-1} แสดงหมู่ O-H Stretching สัญญาณเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 2,917 cm^{-1} แสดงหมู่ C-H Stretching สัญญาณเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 1,030 cm^{-1} แสดงหมู่ C-OH ของเซลลูโลส สัญญาณเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 1654 cm^{-1} แสดงหมู่ C=O ของเฮมิเซลลูโลส และพบสัญญาณเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 1249 cm^{-1} แสดงหมู่ C-O-C ของลิกนิน จากเส้นสเปกตรัมเส้นใยไผ่อ้อยหลังฟอกสีสัญญาณของตำแหน่งเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการฟอกสีเส้นใยไผ่อ้อยมีผลต่อการมีอยู่ของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน สอดคล้องกับงานวิจัย Maduang et al. (2018) ซึ่งการมีอยู่ของเฮมิเซลลูโลสนั้นทำให้เส้นใยมีความไวต่อความชื้นสูง ทำให้เส้นใยดูดซับน้ำง่าย ส่วนการมีอยู่ของลิกนินนั้นสีของลิกนินตามธรรมชาติมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำไม่สวยงาม



รูปที่ 5 สเปกตรัม FTIR ของเส้นใย

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่าค่าการต้านทานแรงกด ค่าความต้านทานแรงเฉาะ และค่าความต้านทานแรงฉีกของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณเส้นใยใบอ้อยมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสภายในตัวเส้นใยใบอ้อยทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุ (Soison and Pratumshat, 2017) อีกทั้งบรรจุภัณฑ์ผลไม้ไม่มีความหนาเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2 ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kawsuk and Somjai (2022) ทำการศึกษาสมบัติของกระดาษจากเปลือกหน่อไม้ผสมเปลือกข้าวโพด เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เนื่องจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดมีสมบัติในการเพิ่มความเหนียวและเส้นใยหน่อไม้มีขนาดใหญ่ หนา และยาว การผสมรวมเส้นใยทั้งสองจึงเพิ่มสมบัติเชิงกลได้ดีมากขึ้น

ตารางที่ 3 สมบัติทางกลของบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงกด (N/m ²)	ความต้านทานแรงเฉาะ (N/m ²)	ความต้านทานแรงฉีก (N/m ²)
SOA30	34.83±1.34 ^d	3.25±0.53 ^c	161.50±3.77 ^d
S10A20	46.56±1.46 ^c	13.28±2.07 ^b	172.94±5.93 ^c
S20A10	53.18±2.01 ^b	19.39±2.62 ^a	232.01±4.03 ^b
S30A0	60.56±2.25 ^a	23.29±2.56 ^a	272.40±6.24 ^a

หมายเหตุ : S = เส้นใยใบอ้อย A = กากหน่อไม้ฝรั่ง, ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษร ^{a, b, c, d} ที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ผลไม้จากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ ระยะเวลา (เดือน)				การย่อย สลาย (%)
	0	1	2	3	
SOA30					28.84
S10A20					25.72
S20A10					6.36
S30A0					1.57

จากการศึกษาอัตราการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ผลไม้ที่ทำจากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่อัตราส่วนที่ต่างกัน โดยชิ้นงานมีขนาด 4×4 เซนติเมตร ถูกฝังในดินเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยพิจารณาการย่อยสลายจากค่าการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าร้อยละการย่อยสลายอยู่ในช่วง 1.57 - 28.84 ซึ่งบรรจุภัณฑ์ผลไม้อัตราส่วน SOA30 มีการย่อยสลายมากที่สุด (ร้อยละ 28.84) เนื่องจากความหนาของบรรจุภัณฑ์ผลไม้ที่น้อย มีสมบัติเชิงกลน้อยและความเสถียรต่อความชื้นต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากความชื้นและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน ส่งผลให้ชิ้นงานค่อย ๆ สลายตัวเป็นชิ้นเล็ก ๆ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไผ่อ้อยมากขึ้น ร้อยละการย่อยสลายมีค่าลดลงซึ่งมีความหนาของบรรจุภัณฑ์ผลไม้ที่มาก มีสมบัติเชิงกลมาก และมีความเสถียรต่อความชื้นที่สูงกว่าจึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้ช้าที่สุด (Wang et al., 2020; Liu et al., 2022)

ศึกษาการออกแบบและสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้จากเส้นใยไผ่อ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่ง

จากผลการวิจัยโดยรวมของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์ผลไม้ คือ อัตราส่วนเส้นใยไผ่อ้อย 20 กรัม ต่อผงกากหน่อไม้ฝรั่ง 10 กรัม โดยบรรจุภัณฑ์มีผิวเรียบสม่ำเสมอ การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และการดูดซับความชื้นต่ำ มีความสามารถในการต้านทานแรงกด ต้านทานแรงเฉาะ และต้านทานแรงฉีกได้ดี อีกทั้งสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ถึงแม้ว่าอัตราส่วนไผ่อ้อย 20 กรัม ต่อผงกากหน่อไม้ฝรั่ง 10 กรัม (S20A10) ถูกสรุปว่าเหมาะสมที่สุดในการทำบรรจุภัณฑ์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนไผ่อ้อย 30 กรัม ต่อผงกากหน่อไม้ฝรั่ง 0 กรัม (S30A0) ซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าของอัตราส่วน S20A10 แต่อัตราส่วนไผ่อ้อย 30 กรัม เพียงอย่างเดียวทำให้บรรจุภัณฑ์ได้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง หยิบ และหนามากเกินไป ส่งผลให้เกิดการหดตัว และเมื่อประกอบชิ้นส่วนของบรรจุภัณฑ์เข้าด้วยกันจึงเกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงาน ดังนั้น S20A10 จึงยังคงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยให้คุณสมบัติทั้งในด้านคุณสมบัติและความสมบูรณ์ของรูปร่างบรรจุภัณฑ์ จึงเหมาะสมสำหรับนำมาสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ โดยทั่วไปนั้นมะม่วงน้ำดอกไม้มีขนาดและน้ำหนักแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการปลูก ดังนั้นการออกแบบบรรจุภัณฑ์ต้องยืดหยุ่นต่อขนาดที่หลากหลาย เช่น การใส่เศษบรรจุภัณฑ์ผลไม้ที่เหลือจากการตัดขอบสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีขนาดน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์เพื่อลดการขยับภายในบรรจุภัณฑ์ ป้องกันแรงกระแทก

สามารถเปิดฝาท่อออกได้ทีละด้านลดการสัมผัสโดยตรงที่ผลไม้ และบรรจุภัณฑ์ผลไม้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยเพิ่มมูลค่า และสร้างจุดขายให้กับสินค้า ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 บรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ต้นแบบจากเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่ง

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้จากกากเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่ง โดยศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยใบอ้อยและกากหน่อไม้ฝรั่งที่แตกต่างกัน พบว่าจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกล อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมบรรจุภัณฑ์ คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นใยใบอ้อย 20 กรัม ต่อผงกากหน่อไม้ฝรั่ง 10 กรัม (S20A10) เนื่องจากมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและทางกลโดยรวมเหมาะสมที่สุด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์มีผิวเรียบสม่ำเสมอ มีค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการละลายน้ำ และค่าการดูดซับความชื้นค่อนข้างต่ำ ส่วนความสามารถในการต้านทานแรงกด ต้านทานแรงเจาะ และต้านทานแรงฉีกได้ดี ดังนั้นอัตราส่วน S20A10 ยังคงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ความสมดุลทั้งในด้านคุณสมบัติและความสมบูรณ์ของรูปร่างบรรจุภัณฑ์ ผลการศึกษาหมูฟิงก์ซันด้วยเครื่อง FTIR เพื่อยืนยันการมีอยู่ของเซลลูโลสและการลดลงของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินของเส้นใยใบอ้อยหลังการฟอกสี และจากการศึกษาร้อยละการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าร้อยละการย่อยสลายมีค่า 6.36 ในระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลไม้ชนิดอื่นได้ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ ลดความเสียหายระหว่างการขนส่ง ลดการใช้สารเคมีหรือผลิตภัณฑ์ราคาแพง ลดมลพิษทางอากาศจากการเผาเศษวัสดุอ้อย ซึ่งส่งผลดีต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของประเทศ

ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

- ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ซ้ำ รวมถึงการศึกษาความสามารถในการจัดเรียงซ้อนทับของบรรจุภัณฑ์ เพื่อประเมินจำนวนชั้นที่สามารถซ้อนทับได้โดยไม่ทำให้บรรจุภัณฑ์เสียหาย
- ศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ในการชะลอการเน่าเสียของมะม่วงน้ำดอกไม้ เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานจริงด้านการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ประจำปีงบประมาณ 2567 และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี (ค.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

References

- Begum, H.A., Tanni, T.R. and Shahid, M.A. (2021). Analysis of Water Absorption of Different Natural Fibers. *Journal of Textile Science and Technology*, 7(4), 152-160. <https://doi.org/10.4236/jtst.2021.74013>
- Bergel, B.F., Dias Osorio, S., da Luz, L. M. and Santana, R.M.C. (2018). Effects of Hydrophobized Starches on Thermoplastic Starch Foams Made from Potato Starch. *Carbohydrate Polymers*, 200, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.047>

- Bos, H.L., Van Den Oever, M.J.A. and Peters, O.C.J.J. (2002). Tensile and Compressive Properties of Flax Fibres for Natural Fibre Reinforced Composites. *Journal of Materials Science*, 37, 1683-1692. <https://doi.org/10.1023/A:1014925621252>
- Fan, R., Yuan, F., Wang, N., Gao, Y. and Huang, Y. (2015). Extraction and Analysis of Antioxidant Compounds from the Residues of *Asparagus officinalis* L. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2690-2700. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1360-4>
- Guo, Q., Wang, N., Liu, H., Li, Z., Lu, L. and Wang, C. (2020). The Bioactive Compounds and Biological Functions of *Asparagus officinalis* L. – A Review. *Journal of Functional Foods*, 65, 103727. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
- Hadthamad, N., Opamawutthikul, M., Phattarakunamorn, K., Thongpan, N., Champa, L. and Siriphonllakun, P. (2024). Development of Eco-Friendly Paper Boxes from Sugarcane Waste. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 26(2), 25-38. (in Thai)
- Herrera-Franco, P.J. and Valadez-González, A. (2004). Mechanical Properties of Continuous Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.012>
- Hu, J., Zhang, Yan., Liang, C., Wang, P. and Dongmei, H. (2021). The Preparation and Characteristics of High Puncture Resistant Composites Inspired by Natural Silk Cocoon. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 149, 106537. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106537>
- Jin, T., Yan, L., Liu, W., Liu, S., Liu, C. and Zheng, L. (2021). Preparation and Physicochemical/antimicrobial Characteristics of Asparagus Cellulose Film Containing Quercetin. *Food Science and Human Wellness*, 10(2), 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.02.015>
- Kawsuk, M. and Somjai, T. (2022). Properties of Paper from Mixed Fiber of Bamboo Sprout Coat and Corn Husk. *Journal of Manufacturing and Management Technology (JMMT)*, 1(2), 1-11. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JMMT/article/view/249135/170178> (in Thai)
- Kiangkoo, N., Ngencharoen, S. and Tanghengjarern, C. (2017). Manufacturing of Thermal Insulation Sheet from Beverage Labelling Waste and Bagasse Fiber. *Thaksin University Journal*, 20(2), 44-53. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal/article/view/106713/84460> (in Thai)
- Liu, J., Wang, C., Ewulonu, C. M., Chen, X., Wu, M. and Huang, Y. (2022). Fabrication of Superhydrophobic and Degradable Cellulose Paper Materials for Straw Application. *Cellulose*, 29, 52-540. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04279-7>
- Lungnongkhun, P., Jatuphatwarodom, S. and Chonsakorn, S. (2017). The Process Development of Yarn Production from Sugarcane Leafs. *TNI Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 18-22. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal/article/view/144862/107109> (in Thai)
- Maduang, T., Chunhachart, O. and Pawongrat, R. (2018). The Effect on Morphological Change of Cellulose Fibers by Sonochemical-Assisted Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *RMUTSB Academic Journal*, 6(1), 26-36. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/124475/98416> (in Thai)
- Mbise, E., Said, I. and Minja, R. J. (2021). Potential of Using Sugarcane Leaves to Produce Pulp for Paper Making. *Journal of Textile Engineering and Fashion Technology (JTEFT)*, 3(1), 32-35.
- Medronho, B., Romano, A., Miguel, M.G., Stigsson, L. and Lindman, B. (2012). Rationalizing Cellulose (in)Solubility: Reviewing Basic Physicochemical Aspects and Role of Hydrophobic Interactions. *Cellulose*, 19, 581-587. <https://doi.org/10.1007/s10570-011-9644-6>

- Ngamrabam, R., Aungsuratana, A. and Saridnirun, P. (2018). Potential of “NAM DOK MAI” Mango Production Through Supply Chain for Export in Ratchaburi Province. *Veridian E-Journal, Silpakorn University*, 11(2), 2563-2579. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/Veridian-E-Journal/article/view/144963/119438> (in Thai)
- Patricia, C., Manuel, V. and Gonzalo, V. (2018). Cellulose-Glycerol-Polyvinyl Alcohol Composite Films for Food Packaging: Evaluation of Water Adsorption, Mechanical Properties, Light-Barrier Properties and Transparency. *Carbohydrate Polymers*, 195, 432-443. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.120>
- Ratanamane, A., Suwannapan, S., Satchawan, S. and Inkum, R. (2022). Synthesis and Properties of Carboxymethyl Cellulose from Agricultural Waste - Sugarcane Leaves. *Cellulose Chemistry and Technology*, 56(5-6), 509-516. [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6\(2022\)/p.509-516.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6(2022)/p.509-516.pdf)
- Sakorn, J. (2022). Improving Packaging to Reduce Damage in the Transportation of Ripe Nam Dok mai Mango: A Case Study of Nam Dok Mai Mango in Chachoengsao Province. *Interdisciplinary Sripatum Chonburi Journal*, 8(1), 48-58. <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/ISCJ/article/view/257288/175156> (in Thai)
- Sanyang, M.L., Sapuan, S., Jawaid, M.M., Ishak, M.R. and Sahari, J. (2016). Development and Characterization of Sugar Palm Starch and Poly(lactic acid) Bilayer Films. *Carbohydrate Polymers*, 146, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.051>
- Schmidt, V.C.R. and Laurindo, J.B. (2010). Characterization of Foams Obtained from Cassava Starch, Cellulose Fibres and Dolomitic Limestone by a Thermopressing Process. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(1), 185-192. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000100023>
- Soison, P. and Pratumshat, S. (2017). Effect of Surface Modifications of Fiber on the Mechanical Properties and Morphology of Poly (lactic acid) and Pineapple Leaf Fiber Composite. *Vocational Education Innovation and Research Journal*, 1(2), 48-54. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/ve-irj/article/view/195757/136031> (in Thai)
- Suwannasre, P., Egwutvongsa, S. and Seviset, S. (2017). Study and Design Furniture of Residues from Transport Wood Package. *Art and Architecture Journal Naresuan University*, 8(1), 142-154. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/ajnu/article/view/91251/71653> (in Thai)
- Tajvidi, M., Najafi, S.K. and Moteei, N. (2005). Long-Term Water Uptake Behavior of Natural Fiber/ Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(5), 2199-2203. <https://doi.org/10.1002/app.21892>
- Theamdee, P., Khadsai, S. and Puborom, W. (2024). The Preparation of Naturally Dyed Banana Rope (*Musa x paradisiaca* L.) from *Curcuma longa* L. and *Caesalpinia sappan* L. Using Micro-wax Coating for Handicraft Products. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 15(2), 164-178. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/JSTEL/article/view/16312/13047> (in Thai)
- Trirat, P. (2017). Packaging Development from Agricultural Debris and Weeds as Molded Pulp for Fruit. *Art and Architecture Journal Naresuan University*, 8(2), 186-199. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/ajnu/article/view/107382/84969> (in Thai)

- Wang, X., Pang, Z., Chen, C., Xia, Q., Zhou, Y., Jing, S., Wang, R., Ray, U., Gan, W., Li, C., Chen, G., Foster, B., Li, T. and Hu, L. (2020). All-Natural, Degradable, Rolled-Up Straws Based on Cellulose Micro- and Nano-Hybrid Fibers. *Advanced Functional Materials*, 30(22), <https://doi.org/10.1002/adfm.201910417>
- Yussuf, A.A., Massoumi, I. and Hassan, A. (2010). Comparison of Polylactic Acid/Kenaf and Polylactic Acid/Rise Husk Composites: The Influence of the Natural Fibers on the Mechanical, Thermal and Biodegradability Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 18, 422-429. <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0185-0>