

การพัฒนาโฟมชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลส สำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร

Development of Bio-foam from Banana Sheath and Cassava Starch (81 cultivar) with Natural Wax as Coating Agent for Food Packaging

ภาวิณี เทียมดี^{1*} สุพัตรา ชมจันทร์¹ และพรไพลิน พันธุ์สุมา¹
Pawinee Theamdee^{1*} Supattra Chomjan¹ and Pornprilin Pansuma¹

Received: December 8, 2021; Revised: March 17, 2022; Accepted: March 30, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาโฟมชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลส สำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้ได้ผลิตโฟมชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งได้เลือกใช้กาบกล้วยเป็นส่วนผสมหลักและใช้แป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) เป็นตัวประสาน โดยเตรียมโฟมชีวภาพด้วยการละลายแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ในน้ำให้มีความเข้มข้น 10% (w/v) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 20 นาที และผสมเส้นใยกาบกล้วย 350 กรัม โฟมชีวภาพถูกขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และใช้เวลาในการอัด 30 วินาที นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์นำโฟมชีวภาพที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วมาทำการศึกษาลักษณะการเคลือบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลส 3 ชนิด ได้แก่ ไฮฟิง ไฮทัวเลียง และไฮน้ามันมะพร้าว (5 10 และ 15 กรัม) จากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ การดูดซึมน้ำ การดูดซับความชื้น การต้านทานน้ำมัน การทนความร้อน การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงเฉือน ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและการย่อยสลายของโฟมชีวภาพจากการศึกษา พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำโฟมชีวภาพ คือ โฟมชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไฮฟิง 15 กรัม มีค่าร้อยละการดูดซับความชื้นและการดูดซึมน้ำต่ำมีค่าการต้านทานน้ำมัน แรงกด และแรงเฉือนสูง สำหรับการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่าโฟมชีวภาพมีผิวหน้าเรียบมากกว่าโฟมชีวภาพที่ไม่ได้เคลือบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลส ผลการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังในดิน พบว่าโฟมชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 20 - 52 ในระยะเวลา 3 เดือน โฟมชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลสสามารถย่อยสลายได้ ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทดแทนวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ถาดโฟมบรรจุอาหาร แผ่นโฟมรองของที่ระลึก และแผ่นโฟมรองแก้ว เป็นต้น

คำสำคัญ : โฟมชีวภาพ; กาบกล้วย; แป้งมันสำปะหลัง; ไฮดรอกซีเซลลูโลส; บรรจุภัณฑ์อาหาร

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹ Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi

* Corresponding Author, Tel. 08 6213 6336, E - mail: pawinee.t169@gmail.com

Abstract

This research aimed to develop bio-foam from banana sheath and cassava starch (81 cultivar) with natural waxes as coating agents for food packaging. This research proposed to produce food containers from banana sheath by using cassava starch (81 cultivar) as a binder. The bio-foam was prepared by dissolving the cassava starch (81 cultivar) in water with the concentration of 10 % (w/v) at 95 °C for 20 min and mixed with 350 g banana sheath. The bio-foam was formed in a mold by a hot compression process at 100 °C for 30 seconds. The bio-foam container was removed from the mold and coated with three types of natural wax, namely bee wax, soy wax, and coconut oil wax, in which the variation on wax content (5, 10 and 15 g) was also studied. The physical and mechanical properties; water absorption, moisture absorption, oil resistance, compression test, puncture strength, morphology analysis and the degradation of the bio-foam were evaluated. The results showed that the appropriate wax type and content for coating the bio-form was 15 g of bee wax. The water absorption and moisture absorption decreased while the oil resistance, compression test and puncture strength increased compared with the control sample. Morphological analysis of the bio-foam coated with bee wax showed a smoother surface than the one without the coating. The degradation study of the bio-foam samples buried under the ground showed 20 - 52 % degradation in three months. Bio-foam containers from banana sheath and cassava starch (81 cultivar) coated with natural waxes was biodegradable which can help reduce the amount of waste and can be used as foam trays, souvenir packaging and foam coasters.

Keywords: Bio-Foam; Banana Sheath; Cassava Starch; Natural Wax; Food Packaging

บทนำ

โฟมพอลิไทรีนเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีการใช้งานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากราคาถูก และน้ำหนักเบา แต่หลังจากการใช้งานโฟมพอลิไทรีนเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้และมีการปล่อยสารซึ่งเป็นสารพิษ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา ด้วยเหตุนี้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ หรือโฟมชีวภาพ (Bio-foam) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ทดแทนโฟมทางการค้าจากปิโตรเลียม โดยการใช้พอลิเมอร์ทางธรรมชาติ เช่น แป้ง ตัวอย่างเช่น แป้งมันสำปะหลัง [1] - [2] แป้งสาเก [3] แป้งข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง [4] เป็นต้น แต่โฟมที่ผลิตจากแป้งเพียงอย่างเดียว ทำให้สมบัติด้านความแข็งแรง การต้านทานน้ำดำ และแตกหักง่าย [5] จึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของโฟมแป้ง โดยการผสมวัสดุจากธรรมชาติซึ่งมีอยู่หลากหลายชนิด ได้แก่ ใคโตซาน [6] หรือเส้นใยจากธรรมชาติ [7] เป็นต้น เพื่อช่วยพัฒนาคุณสมบัติโฟมชีวภาพให้เหมาะกับการใช้งานมากขึ้น เช่น การลดอัตราการดูดซับความชื้น รวมไปถึงปรับปรุงคุณสมบัติทางกลให้ดีขึ้น จากงานวิจัย [8] ได้ศึกษาการเตรียมโฟมชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมเส้นใยธรรมชาติและใคโตซาน เมื่อทดสอบความต้านทานแรงดึง พบว่าการเพิ่มปริมาณของเส้นใยและใคโตซานที่มากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าโฟมชีวภาพมีสมบัติทางกลใกล้เคียงกับโฟมทางการค้าพอลิไทรีน เช่นเดียวกับงานวิจัย [9] ได้ศึกษาการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังกลบในดิน พบว่าโฟมชีวภาพแป้งมันสำปะหลังผสมเส้นใยจากขานอ้อยสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติร้อยละ 80 - 85 ในระยะเวลา 90 วัน อีกทั้งการเติมเส้นใยธรรมชาติช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกล

ของโพลิเมอร์ชีวภาพได้อีกด้วย และจากงานวิจัย [10] ศึกษาการเตรียมโพลิเมอร์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมเส้นใยจากผักตบชวาเคลือบด้วยไขผึ้ง พบว่าการเคลือบไขผึ้งช่วยปรับปรุงให้โพลิเมอร์ชีวภาพมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ยังคงรูปร่างหลังจากแช่ลงในน้ำ และค่าความต้านทานการโค้งงอที่สูงกว่าโพลิเมอร์ชีวภาพที่ไม่ได้เคลือบด้วยไขผึ้ง จากข้อดีของการใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติซึ่งมีความโดดเด่น เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของโพลิเมอร์ชีวภาพ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยมุ่งศึกษาการผลิตโพลิเมอร์ชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติ คือ เส้นใยจากกากกล้วย เนื่องจากกล้วยมีการปลูกกันทั่วไปในท้องถิ่น กล้วยใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนตั้งแต่ลำต้น ใบ และผล พบว่ากากกล้วยเป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอยู่มาก ลักษณะของเส้นใยจากกล้วยน้ำว้ามักมีลักษณะค่อนข้างเรียวยาว มีคุณสมบัติเหนียวและมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ ช่วยสร้างความแข็งแรง ทนทาน และไม่สลายตัวเมื่ออยู่ในน้ำ [11] ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของกากกล้วย ประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 31 และเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 15 [12] จึงสนใจที่จะนำเส้นใยจากกากกล้วยเป็นวัสดุหลักในการผลิตโพลิเมอร์ชีวภาพ และใช้แป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) เป็นตัวประสาน เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกมากในตำบลโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูง ทำให้วัสดุเข้ากันได้ดีและมีความเหนียวมากขึ้น โดยจากงานวิจัย [13] ได้ทำการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยเปลือกทุเรียนและใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน แต่เนื่องจากโพลิเมอร์ชีวภาพที่ได้นั้นอาจไม่ทนต่อการรั่วซึมของของเหลว จึงจำเป็นต้องเคลือบด้วยไฮดรอกไซด์ เพื่อสามารถใส่อาหารทิ้งไว้เป็นเวลานานขึ้นโดยไม่รั่วซึม คงรูปทรงเดิมไม่เสียหายในระหว่างการใช้งาน ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการเคลือบโพลิเมอร์ชีวภาพด้วยไฮดรอกไซด์ ได้แก่ ไขผึ้ง (Bees Wax) ไขถั่วเหลือง (Soy Wax) และไขน้ำมันมะพร้าว (Coconut Wax) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงให้โพลิเมอร์ชีวภาพที่ผลิตได้นั้นมีคุณสมบัติด้านการต้านทานน้ำ และลดการดูดซึมน้ำของโพลิเมอร์ชีวภาพ [14] - [16] และทำการขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน จากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของโพลิเมอร์ชีวภาพ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ การดูดซับความชื้น การต้านทานน้ำมัน การทนความร้อน การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงเฉือน ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานนิเวศ และศึกษาการย่อยสลายของโพลิเมอร์ชีวภาพ ซึ่งโพลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการใช้วัสดุที่สามารถลดการก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม ทดแทนโพลิเมอร์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ อีกทั้งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาการผลิตโพลิเมอร์ชีวภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมแป้งจากหัวมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81)

ดัดแปลงตามวิธี [17] โดยหัวมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ได้รับความอนุเคราะห์จากเกษตรกร อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี นำหัวมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ล้างทำความสะอาด ผ่าเอาเปลือกออก ทิ้งให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปปั่นละเอียดกับน้ำ (อัตราหัวมันต่อน้ำเท่ากับ 1:2) เป็นเวลา 2 นาที ด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (Sharp, EM-ICE 2, ประเทศไทย) กรองผ่านผ้าขาวบางทิ้งไว้ให้แบ่งตกตะกอน จากนั้นเทส่วนของเหลวด้านบนออกแล้วล้างตะกอนแป้งด้วยไฮเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (98-100.5 %, Sigma-Aldrich) ร้อยละ 0.5 (อัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก) นาน 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ แล้วนำแป้งที่ได้ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, UN 110, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง บรรจุผงแป้งในภาชนะที่มีฝาปิด และเก็บรักษาในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 28 ± 2 °C

2. การเตรียมเส้นใยจากกากกล้วย

ดัดแปลงตามวิธี [18] นำต้นกล้วยน้ำว้าที่ตัดผลออกแล้ว ได้รับความอนุเคราะห์จาก ตำบลบางขันหมาก อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี นำต้นกล้วยมาลอกกาบออก ล้างทำความสะอาด นำกากกล้วยที่แห้งเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นเก็บใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด เพื่อนำไปใช้ในขั้นต่อไป

3. การเตรียมตัวประสานหรือสารยึดเกาะ

ละลายแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในน้ำกลั่น ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 20 นาที ต้มจนสารละลายแป้งสุกกลายเป็นสารละลายแป้งเปียกใส

4. การผสมอัตราส่วนเส้นใยจากกล้วยต่อตัวประสาน

ดัดแปลงตามวิธี [19] ซึ่งนำหนักกล้วย 350 กรัม ปั่นผสมกับสารละลายแป้งเปียกใส จากนั้นนำเยื่อไปร่อนในน้ำ เพื่อให้เยื่อกระจายอย่างสม่ำเสมอ ขึ้นรูปบนเฟรมไม้ขนาด 20 x 30 เซนติเมตร ฝังชิ้นงานให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลอกชิ้นงานออกจากตะแกรงด้วยความระมัดระวัง

5. การเคลือบไขธรรมชาติ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

ดัดแปลงตามวิธี [10] เตรียมสารเคลือบผิวธรรมชาติจากไขผึ้ง ไขถั่วเหลือง (บริษัท ห้างหุ้นส่วน จำกัด ชายนันตีฟิค คอลซัพพลาย ประเทศไทย) และไขน้ำมันมะพร้าว (Naturel, บริษัท ลำสูง จำกัด, ประเทศไทย) ปริมาณอย่างละ 5 10 และ 15 กรัม จากนั้นเทลงไปในบนชิ้นงาน นำไปอัดขึ้นรูปภาชนะโดยเครื่องขึ้นรูปด้วยความร้อน (ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เรียนรู้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง 9 ตามพ่อ บ้านบางขันหมากได้ อำเภอมือง จังหวัดลพบุรี) ที่อุณหภูมิ 100 °C ทำการอัดค้ำงไว้จับเวลาประมาณ 30 วินาที ดังรูปที่ 1 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ภาชนะที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วนำไปตากแดดที่อุณหภูมิ 30 - 38 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ



รูปที่ 1 การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนของการผลิตโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81)

6. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขธรรมชาติ

การทดสอบสมบัติการดูดซับความชื้น (Moisture Absorption)

ดัดแปลงตามวิธี [20] โดยนำชิ้นงานขนาด 14 x 22 x 1.5 เซนติเมตร มาไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105±2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งนำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_0) จากนั้นนำชิ้นงานมาเก็บในโถที่มีสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75±2 อุณหภูมิ 28±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W_1) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นงานทดสอบ และคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซับความชื้น ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการดูดซับความชื้น} = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ดัดแปลงตามวิธี [21] โดยนำชิ้นงานขนาด 14 x 22 x 1.5 เซนติเมตร มาไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน

ที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_i) นำโอเอซีสดัดให้มีขนาดเท่ากับมิติภายในของชิ้นงานขนาด นำโอเอซีสไปแช่น้ำให้อิ่มตัวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำโอเอซีสวางลงด้านในของภาชนะตัวอย่างเป็นเวลา 180 นาที นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W_a) โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นงานทดสอบและคำนวณค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ (2) [22]

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(W_a - W_i)}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

การทดสอบการต้านทานน้ำมัน (Oil Resistant)

ดัดแปลงตามวิธี [23] โดยนำชิ้นงานขนาด $14 \times 22 \times 1.5$ เซนติเมตร วางบนกระดาษขาวและนำทรายน้ำหนัก 2 กรัม วางบนชิ้นงาน จากนั้นหยดน้ำมันพืชลงไปบนกองทรายจนชุ่ม และสังเกตการณ์ซึมผ่านได้ของน้ำมันไปยังกระดาษขาว บันทึกเวลาที่น้ำมันซึมผ่านกระดาษขาวเป็นค่าในการต้านทานน้ำมันของโฟมชีวภาพ

การศึกษาคูณสมบัติทางกล การต้านทานแรงกด และการต้านทานแรงเจาะ (Compression Test and Puncture Strength)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Stable Microsystems, TA-XT2, ประเทศอังกฤษ) ทดสอบการต้านทานแรงกดใช้หัววัดแบบแผ่นแบน (Flat Plate Compression Test) [24] ส่วนทดสอบการต้านทานแรงเจาะใช้หัววัด HDP/CFS และ HDP/90 Heavy Duty Platform ดัดชิ้นงานให้มีขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร โดยแต่ละตัวอย่างทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ [25] - [26]

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology Analysis)

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบจะตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสเตอริโอ (Stereo Optical Microscope, model SZX16-DP21, ญี่ปุ่น) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน โดยเตรียมชิ้นงานขนาด 2.5×2.5 cm ติดตั้งชิ้นงานบนแท่นวางชิ้นงานปรับกำลังขยายอยู่ในช่วง 100x

การทดสอบการทนความร้อน (Heat Resistance Analysis)

ดัดแปลงตามวิธี [27] เพื่อตรวจสอบในเชิงคุณภาพของโฟมชีวภาพในด้านความต้านทานความร้อนที่มีแนวโน้มการเสียรูปเนื่องจากความร้อน โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาอบด้วยเตาอบไมโครเวฟโดยใช้กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที เพื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และลักษณะการเสียรูป

ศึกษาอัตราการย่อยสลายของชิ้นงาน

นำชิ้นงานขนาด $14 \times 22 \times 1.5$ เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (A) จากนั้นนำไปฝังลงในดินร่วน โดยความชื้นเริ่มต้นของดินเท่ากับ 24 โดยน้ำหนัก บรรจุดินลงในถังเพาะชำขนาด $80 \times 48 \times 50$ เซนติเมตร และฝังชิ้นงานให้มีความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 32 ± 2 °C โดยวางในที่ร่ม และไม่มีการให้น้ำ บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักชิ้นงาน (B) ชุดควบคุมที่ใช้คือ โฟมพอลิไสไตรีน (PS) บันทึกผลการทดลองและคำนวณการย่อยสลายของชิ้นงาน ดังสมการที่ (3) [28]

$$\text{ร้อยละการย่อยสลาย} = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \quad (3)$$

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS® version 12 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา) และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและการอธิบายผล

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการดูดซับความชื้นและการดูดซึมน้ำของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบไขมันธรรมชาติจากไขผึ้ง ไขถั่วเหลือง และไขน้ำมันมะพร้าว ปริมาณ 5 10 และ 15 กรัม ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่สุดสำหรับโฟมชีวภาพ ซึ่งภาชนะที่ดูน้ำหนักน้อย แสดงว่ามีความต้านทานน้ำได้สูง ในทางตรงกันข้ามภาชนะที่ดูดซึมน้ำได้ดีอาจทำให้ภาชนะเกิดการเสียรูปได้ พบว่าค่าการดูดซับความชื้น และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยลงเมื่อปริมาณของสารเคลือบมากขึ้น จะเห็นได้ว่าการเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติสามารถต้านทานการดูดซับความชื้น และต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือเคลือบด้วยไขถั่วเหลือง และเคลือบด้วยไขน้ำมันมะพร้าว เนื่องจากไขมันประกอบไปด้วย ไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่ไม่ชอบน้ำสูง จึงทำให้ชั้นงานมีความต้านทานน้ำมากขึ้น [29] มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการต้านทานความชื้นและต้านทานการดูดซึมน้ำ [14], [30] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [31] พบว่าโฟมชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและสารเติมแต่งไขมัน ช่วยลดการดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดีกว่าโฟมชีวภาพจากแป้งเพียงชนิดเดียว แต่มีค่าการดูดซับความชื้น (ร้อยละ 9.43) และค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ 15 - 20) มีค่าต่ำกว่าโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ (ค่าการดูดซับความชื้นร้อยละ 3.68 และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 7.43) และจากผลการศึกษาการต้านทานน้ำมันของโฟมชีวภาพที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ พบว่าสามารถต้านทานการซึมของน้ำมันได้นานขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสารเคลือบไขมันธรรมชาติ โดยโฟมชีวภาพที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติมีค่าการต้านทานน้ำมันนานที่สุด เนื่องจากไขมันมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาวกว่า เกิดการเคลือบกระจายทั่วชั้นงาน ช่วยเติมเต็มช่องว่าง ทำให้พื้นผิวเรียบเนียนมากขึ้น จึงลดการแทรกซึมของน้ำและน้ำมันได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัย [32] พบว่าชั้นงานกระดาษที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ

ตัวอย่าง	การดูดซับความชื้น (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	การต้านทานน้ำมัน (นาท)
350:10:5B	8.25±1.26 ^c	18.52±2.34 ^c	< 5
350:10:10B	7.45±1.13 ^d	13.39±2.56 ^d	90
350:10:15B	3.68±1.24 ^e	7.43±1.66 ^e	2,880
350:10:5S	9.14±1.56 ^c	20.38±2.15 ^c	< 5
350:10:10S	8.23±1.49 ^c	19.12±2.11 ^c	< 5
350:10:15S	6.24±1.38 ^d	13.94±1.93 ^d	1,740
350:10:5C	9.49±1.61 ^a	38.05±3.45 ^a	< 5
350:10:10C	6.82±1.70 ^a	35.04±2.86 ^a	< 5
350:10:15C	6.08±1.68 ^b	29.72±2.98 ^b	< 5

หมายเหตุ: B = เคลือบไขผึ้ง S = เคลือบไขถั่วเหลือง C = เคลือบไขน้ำมันมะพร้าว

ข้อมูลในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการทดสอบค่าต้านทานแรงกดและค่าต้านทานแรงเฉือนของชิ้นงานดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเคลือบจะทำให้ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และการเคลือบด้วยไขมันมีค่ามากที่สุด เนื่องจากการเคลือบด้วยไขมันมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาวกว่า เมื่อสารเคลือบแห้งยังทำหน้าที่ช่วยในการเป็นตัวประสานหรือเป็นสารเชื่อมระหว่างชั้นของชิ้นงานได้ จึงทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณสารเคลือบส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงเฉือนมากขึ้นตามลำดับ รองลงมาคือ การเคลือบด้วยไขถั่วเหลือง เนื่องจากขนาดสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนมีความยาวสั้นลงมา ค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงเฉือนจึงต่ำกว่าการเคลือบด้วยไขมัน ส่วนชิ้นงานที่เคลือบด้วยไขมันมะพร้าว พบว่าค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงเฉือนน้อยที่สุด เนื่องจากการเคลือบไขมันมะพร้าวซึ่งมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่สั้นเกิดการแทรกซึมลงไปในชิ้นงานทำให้ไปทำลายความแข็งแรงของชิ้นงานหรือตัวประสาน ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัย [29] - [30] ได้ศึกษาปริมาณสารเคลือบผิวจากไขมัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไขมันมากขึ้นค่าความต้านทานแรงเฉือน และค่าทนต่อแรงดึงขาดสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลกับโพลีเอทิลีน พบว่าโพลีเอทิลีนจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบไขมันธรรมชาติยังมีสมบัติทางกลที่ต่ำกว่า [8]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกลของโพลีเอทิลีนจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ

ตัวอย่าง	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตันต่อตารางเมตร)	ค่าความต้านทานแรงเฉือน (นิวตันต่อตารางเมตร)
350:10:5B	7.07±1.26 ^{bc}	10.06±1.15 ^{bc}
350:10:10B	12.44±1.51 ^a	12.07±1.47 ^{ab}
350:10:15B	13.53±1.65 ^a	13.58±0.94 ^a
350:10:5S	5.46±0.38 ^{cde}	8.41±1.98 ^{cd}
350:10:10S	6.76±0.38 ^{bcd}	9.47±0.51 ^c
350:10:15S	7.25±0.54 ^b	10.21±1.52 ^{bc}
350:10:5C	4.79±0.26 ^c	6.71±1.29 ^e
350:10:10C	5.21±0.12 ^{de}	7.79±0.25 ^{cd}
350:10:15C	6.07±0.23 ^{bcd}	9.44±1.33 ^c

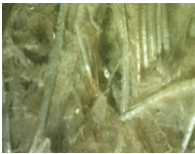
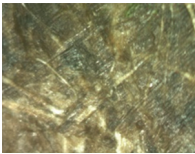
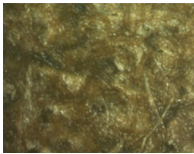
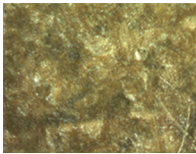
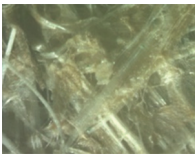
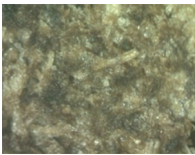
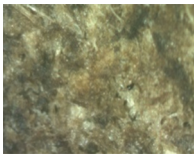
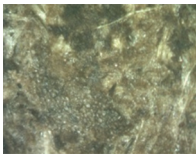
หมายเหตุ: B = เคลือบไขมัน S = เคลือบไขถั่วเหลือง C = เคลือบไขมันมะพร้าว

ข้อมูลในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โพลีเอทิลีนจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ ทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงชนิดสโคปออปติคัล ศึกษาลักษณะพื้นผิวของโพลีเอทิลีนที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติดังตารางที่ 3 แสดงชิ้นงานก่อนเคลือบและหลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ ได้แก่ ไขมันถั่วเหลือง และไขมันมะพร้าว ปริมาณ 5 10 และ 15 กรัม พบว่าชิ้นงานก่อนการเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติจะมีช่องว่างเป็นบางจุด ส่วนชิ้นงานที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติปริมาณมากขึ้น ทำให้สารเคลือบกระจายอยู่ทั่วชิ้นงานได้ดีกว่า พื้นผิวเรียบเนียน เกิดการเติมเต็มช่องว่างมากขึ้นกว่าชิ้นงานที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติที่ปริมาณต่ำกว่ามีส่วนช่วยทำให้ชิ้นงานมีค่าความต้านทานแรงกดและค่าความต้านทานแรงเฉือนได้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัย [35] ศึกษาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังผสมเส้นใยจากขาน้อยและเติมไขมันเป็นสารเติมแต่ง พบว่าเมื่อปริมาณสารเติมแต่งมากขึ้น ช่วยอุดช่องว่าง ลดรอยแตก ทำให้พื้นผิวเรียบเนียนกว่าปริมาณสารเติมแต่งที่น้อย

ตารางที่ 3 ภาพทางสัณฐานวิทยาของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ

ตัวอย่าง	ก่อนเคลือบ	ปริมาณสารเคลือบ (กรัม)		
		5	10	15
350:10:B				
350:10:S				
350:10:C				

หมายเหตุ: B = เคลือบไขผึ้ง S = เคลือบไขถั่วเหลือง C = เคลือบไขน้ำมันมะพร้าว

ข้อมูลในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบการทนความร้อนของชิ้นงานโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ ได้แก่ ไขผึ้ง ไขถั่วเหลือง และไขน้ำมันมะพร้าว ปริมาณ 5 10 และ 15 กรัม ที่ผ่านการอบจากเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 วัตต์ พบว่าเมื่อชิ้นงานผ่านการอบไมโครเวฟเป็นเวลา 1 - 3 นาที ชิ้นงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงและมีความร้อนเกิดขึ้นบนชิ้นงาน แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 5 นาที พบว่าตรงกลางชิ้นงานเริ่มไหม้ เหนียว งอเล็กน้อย และชิ้นงานมีความร้อนมากขึ้นเนื่องจากบริเวณที่มีคลื่นไมโครเวฟมากที่สุดคือ บริเวณตรงกลางของเตาอบไมโครเวฟ [33] อีกทั้งสารเคลือบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลสูง มีจุดเดือดที่สูง จึงทำให้เส้นใยและสายโซ่โมเลกุลของแป้งเกิดการไหม้เกิดการเสียรูปได้ง่าย สอดคล้องกับงานวิจัย [27]

จากตารางที่ 4 แสดงการย่อยสลายโดยธรรมชาติของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขมันธรรมชาติ นำชิ้นงานฝังในดินร่วนไม่มีการให้น้ำ (ความชื้นในดินร้อยละ 24) เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าร้อยละการย่อยสลายอยู่ในช่วง 20 - 52 เมื่อเปรียบเทียบกับโฟมพอลิสไตรีน (ชุดควบคุม) ซึ่งไม่เกิดการย่อยสลาย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเคลือบไขมากขึ้นร้อยละการย่อยสลายมีค่าลดลง เนื่องจากการเคลือบปริมาณไขที่มากช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี เกิดการขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดการย่อยสลายได้ จึงทำให้ร้อยละการย่อยสลายลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [34] ศึกษาอัตราการย่อยสลายของโฟมชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยจากชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแป้งเดิมสารเติมแตงน้ำมันออริกาน (ร้อยละ 0 - 8 โดยน้ำหนักของแป้ง) พบว่าร้อยละการย่อยสลายลดลงเมื่อปริมาณสารเติมแตงมากขึ้นจากร้อยละ 57.09 - 28.8 ในระยะเวลา 30 วัน จากผลการทดลองพบว่าโฟมชีวภาพเคลือบด้วยไขน้ำมันมะพร้าว ค่าร้อยละการย่อยสลายมากที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นงานที่เคลือบด้วยไขถั่วเหลือง และชิ้นงานที่เคลือบด้วยไขผึ้ง เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของไขน้ำมันมะพร้าวก่อนข้างสั้นกว่า

สารเคลือบชนิดอื่น จึงเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าอีกทั้งเส้นใยจากกากกล้วยและแป้งเป็นโมเลกุลชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ง่ายจึงช่วยให้ชิ้นงานย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น [2]

ตารางที่ 4 การย่อยสลายของโฟมชีวภาพจากเส้นใยกากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไฮดรอกซีอะคริลาไมด์

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ				% การย่อยสลาย
	ระยะเวลา (เดือน)				
	0	1	2	3	
ชุดควบคุม (PS)					0.00
350:10:5B					25.39
350:10:10B					21.71
350:10:15B					20.09
350:10:5S					42.17
350:10:10S					30.42
350:10:15S					27.32
350:10:5C					52.16

ตารางที่ 4 การย่อยสลายของโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) หลังเคลือบด้วยไขธรรมชาติ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ				% การย่อยสลาย
	ระยะเวลา (เดือน)				
	0	1	2	3	
350:10:10C					51.01
350:10:15C					42.14

จากผลการวิจัยโดยรวมของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนมีข้อดีข้อเด่นที่แตกต่างกันออกไป จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำโฟมชีวภาพ คือ โฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไขฝั ง 15 กรัม โดยโฟมชีวภาพมีความเรียบสม่ำเสมอมีความสามารถในการทนแรงกดและแรงเจาะได้ดี มีการดูดซึมน้ำ การละลายน้ำต่ำ และมีการต้านทานน้ำมันได้ดีในระดับหนึ่งก่อนที่จะทิ้ง อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตเป็นภาชนะโฟมชีวภาพ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไขฝั ง

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) ที่เคลือบด้วยไขธรรมชาติ จากการทดสอบสมบัติที่สำคัญของโฟมชีวภาพทั้งทางกายภาพ และทางกล พบว่าโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วย น้ำหนัก 350 กรัม และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นตัวประสานเคลือบด้วยไขฝั ง ปริมาณ 15 กรัม เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากโฟมชีวภาพใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งจะให้ความสำคัญมากไป ที่เรื่องการดูดซึมน้ำ เนื่องจากภาชนะที่ดีควรต้องต้านทานน้ำได้ในระดับหนึ่งก่อนที่จะทิ้ง และรองลงมาคือ ในการถือภาชนะที่ขอบด้านใดด้านหนึ่งเหมือนกับเป็นการเพิ่มแรงกดให้กับชิ้นงาน ซึ่งโฟมชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วย และแป้งมันสำปะหลัง (พันธุ์ 81) เคลือบด้วยไขฝั ง 15 กรัม มีค่าร้อยละการดูดซับความชื้น และการดูดซึมน้ำที่ต่ำ และค่าการต้านทานน้ำมัน ค่าการต้านทานแรงกด และค่าต้านทานแรงเจาะมีค่าสูงกว่าเคลือบด้วยไขถั่วเหลือง และไขน้ำมันมะพร้าว เมื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะพื้นผิวของโฟมชีวภาพมีสารเคลือบ กระจายอยู่ทั่วชิ้นงาน เกิดการเติมเต็มช่องว่างพื้นผิวจึงเนียนขึ้นมากกว่าการเคลือบสารเคลือบที่ปริมาณต่ำกว่า

และจากการศึกษาอัตราการย่อยสลายโดยธรรมชาติพบว่าโฟมชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ร้อยละ 20 - 52 ในระยะเวลา 3 เดือน เนื่องจากเส้นใยจากกากกล้วยและแป้งเป็นชีวโมเลกุลสามารถย่อยสลายได้ง่ายจึงช่วยให้ชิ้นงานย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยจากเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบนโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี (ค.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Cabanillas, A., Julio, Nun˜ez J., Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Bla˜cido, D. R., Arteaga, H., and Siche, R. (2019). Pineapple Shell Fiber as Reinforcement in Cassava Starch Foam Trays. **Polymers and Polymer Composites**. Vol. 27, No. 8, pp. 1-11. DOI: 10.1177/0967391119848187
- [2] Machado, C. M., Benelli, P., and Tessaro, I. C. (2020). Study of Interactions Between Cassava Starch and Peanut Skin on Biodegradable Foams. **International Journal of Biological Macromolecules**. Vol. 147, pp. 1343-1353. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.098
- [3] Hendrawati, N., Wibowo, A. A., Chrisnandari, R. D., and Adawiyah, R. (2021). Biodegradable Foam Tray based on Sago Starch with Beeswax as Coating Agent. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Vol. 1073, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1757-899X/1073/1/012006
- [4] Bergel, B. F., da Luz, L. M., and Santana, R. M. C. (2017). Comparative Study of the Influence of Chitosan as Coating of Thermoplastic Starch Foam from Potato, Cassava and Corn Starch. **Progress in Organic Coatings**. Vol. 106, pp. 27-32. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.02.010
- [5] Carr, L. G., Parra, D. F., Ponce, P., Lugao, A. B., and Buchler, P. M. (2006). Influence of Fibers on the Mechanical Properties of Cassava Starch Foams. **Journal of Environmental Polymer Degradation**. Vol. 14, pp. 179-183. DOI: 10.1007/s10924-006-0008-5
- [6] Mathias, J.-D., Tessier-Doyen, N., and Michaud, P. (2011). Development of a Chitosan-Based Biofoam: Application to the Processing of a Porous Ceramic Material. **International Journal of Molecular Sciences**. Vol. 12, Issue 2, pp. 1175-1186
- [7] Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., and Laohakunjit, N. (2014). Characterization of Cassava Starch based Foam Blended with Plant Proteins, Kraft Fiber, and Palm Oil. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 110, pp. 70-77. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.03.067
- [8] Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., and Laohakunjit, N. (2012). Biodegradable Foam Tray from Cassava Starch Blended with Natural Fiber and Chitosan. **Industrial Crops and Products**. Vol. 37, pp. 542-546. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.07.034

- [9] Ana Elisa, S., Vercelheze, A. E. S., Oliveira, A. L. M., Rezende, M. I., Muller, C. M. O., Yamashita, F., and Mali, S. (2013). Physical Properties, Photo- and Bio-degradation of Baked Foams Based on Cassava Starch, Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite. **Journal of Polymers and the Environment**. Vol. 21, pp. 266-274
- [10] Chaireh, S., Ngasatool, P., and Kaewtatip, K. (2020). Novel Composite Foam Made from Starch and Water Hyacinth with Beeswax Coating for Food Packaging Applications. **International Journal of Biological Macromolecules**. Vol. 165, Part A, pp. 1382-1391. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.007
- [11] Ritthison, S., Rattanaudnusorn, S., and Lunprom, S. (2012). Biopulping from Banana Seudostem of Num-Wa by Trichoderma viride. **KKU Science Journal**. Vol. 40, No. 3, pp. 899-912 (in Thai)
- [12] Mukhopadhyay, S., Figueiro, R., Arpac, Y., and Sentrirk, R. (2008). Banana Fibers-Variability and Fracture Behaviour. **Journal of Engineering Fibers and Fabrics**. Vol. 3, Issue 2, pp. 39-45
- [13] Ninlanon, W., Puttame, K., Sawasdikarn, J., Muisee, K., and Sriaklong, P. (2021). Development of Packaging from Durian Rind Fibers using Bleached and Unbleached Fibers. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University**. Vol. 40, No. 6, pp. 422-429 (in Thai)
- [14] Monedero, F. M., Fabra, M. J., Talens, P., and Chiralt, A. (2009). Effect of Oleic Acid-beeswax Mixtures on Mechanical, Optical and Water Barrier Properties of Soy Protein Isolate Based Films. **Journal of Food Engineering**. Vol. 91, pp. 509-515. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.034
- [15] Qiu, T. Y., Lei, Z., Qiang, G. W., and Meng, G. (2012). Investigation of the Effects of Wax Additive on the Properties of Asphalt Binder. **Construction and Building Materials**. Vol. 36, pp. 578-584. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.024
- [16] Reis, M. O., Olivato, J. B., Bilck, A. P., Zanela, J., Grossmann, M. V. E., and Yamashita, F. (2018). Biodegradable Trays of Thermoplastic Starch/Poly (Lactic Acid) Coated with Beeswax. **Industrial Crops and Products**. Vol. 112, pp. 481-487. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.12.045
- [17] Theamdee, P., and Pansaeng, N. (2019). The Effect of Glycerol on the Properties of Biodegradable Cassava Starch (Saai Dieow Cultivar) Film for Plastic Plant Bag Application. **Naresuan University Journal Science and Technology**. Vol. 27, No. 4, pp. 27-38. DOI: 10.14456/nujst.2019.34
- [18] Luepong, K., Sasithorn, N., and Manarungwit, K. (2016). Kraft Paper Preparation from Water Hyacinth, Pineapple Leaves and Leaf Sheath of Banana Tree. **RMUTP Research Journal**. Vol. 11, No. 1, pp. 15-22 (in Thai)
- [19] Spada, J. C., Seibert, S. F., and Tessaro, I. C. (2021). Impact of PLA Poly (Lactic Acid) and PBAT Poly (butyleneadipate-co-terephthalate) Coating on the Properties of Composites with High Content of Rice Husk. **Journal of Polymers and the Environment**. Vol. 29, pp. 1324-1331. DOI: 10.1007/s10924-020-01957-8

- [20] 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**. Vol. 200, pp. 106-114. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.07.047
- [21] Sanguansook, P. (2009). **Development of Molded-Pulp Pot Packaging from Palm Oil Sludge and Activated Sludge Cake for Plant Seedlings**. Master of Science. Packaging Technology, Department of Packaging Technology, Dissertation University of Kasetsart University
- [22] Pervaiz, M., Oakley, P., and Sain, M. (2014). Development of Novel Wax-enabled Thermoplastic Starch Blends and Their Morphological, Thermal and Environmental Properties. **International Journal of Composite Materials**. Vol. 4, No. 5, pp. 204-212. DOI: 10.5923/j.cmaterials.20140405.02
- [23] Sirilert, T. and Kitthaisong, W. (2011). Development of Chitosan Film Laminated with Paper material for Food Packaging forming. **Journal of Food Technology, Siam University**. Vol. 6, No. 1, pp. 55-63
- [24] Combrzyński, M., Wójtowicz, A., Mitrus, M., Oniszczyk, T., Matwijczuk, A., Pawelczyk, P., and Mościcki, L. (2019). Effect of Starch Type and Screw Speed on Mechanical Properties of Extrusion-cooked Starch-based Foams. **International Agrophysics**. Vol. 33, pp. 233-240. DOI: 10.31545/INTAGR/109517
- [25] 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**. Vol. 53, No. 1, pp. 185-192
- [26] Theamdee, P. and Sooksamran, K. (2020). Development of a Biodegradable Film from Jicama Starch (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb. var.) for Plant Bag Application. **RMUTP Research Journal Science & Technology**. Vol. 14, No. 1, pp. 1-14 (in Thai)
- [27] Denthet, S. and Na-Ayutthaya, S. (2014). An Analysis of the Efficiency of Development Package Food from the Rice Straw for Enhances Economical Cost. **The Journal of Applied Science**. Vol. 13, No. 1, pp. 14-29 (in Thai)
- [28] Nguyen, D. M., Do, T. V. V., Grillet, A. C., Thuc, H. H., and Thuc, C. N. H. (2016). Biodegradability of Polymer Film based on Low Density Polyethylene and Cassava Starch. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Vol. 115, pp. 257-265. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.09.004
- [29] Yang, L. and Paulson, A. T. (2000). Effects of Lipids on Mechanical and Moisture Barrier Properties of Edible Gelatin Film. **Food Research International**. Vol. 33, pp. 571-578. DOI: 10.1016/S0963-9969(00)00093-4
- [30] Sothornvit, R. (2009). Effect of Hydroxypropyl Methylcellulose and Lipid on Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Coated Paper. **Food Research International**. Vol. 42, pp. 307-311 (in Thai)
- [31] Polat, S., Uslu, M.-K., Aygün, A., and Certel, M. (2013). The Effects of the Addition of Corn Husk Fibre, Kaolin and Beeswax on Cross-Linked Corn Starch Foam. **Journal of Food Engineering**. Vol. 116, Issue 2, pp. 267-276. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.12.017

- [32] Zhang, W., Xiao, H., and Qian, L. (2014). Enhanced Water Vapor Barrier and Grease Resistance of Paper Bilayer-Coated with Chitosan and Beeswax. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 101, pp. 401-406. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.097
- [33] Vadivambal, R. and Jayas, D. S. (2008). Non-uniform Temperature Distribution During Microwave Heating of Food Materials-A Review. **Food and Bioprocess Technology**. Vol. 3, No. 2, pp. 161-171. DOI: 10.1007/s11947-008-0136-0
- [34] Ketkaew, S., Kasemsiri, P., Hiziroglu, S., Mongkolthanaruk, W., Wannasutta, R., Pongsa, U., and Chindaprasirt, P. (2017). Effect of Oregano Essential Oil Content on Properties of Green Biocomposites based on Cassava Starch and Sugarcane Bagasse for Bioactive Packaging. **Journal Polymer Environment**. Vol. 26, pp. 311-318