

ศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมแผ่นเส้นใยจากเส้นใยกากกล้วยและ
เส้นใยขานอ้อยร่วมกับตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง
เพื่อประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหาร
Feasibility Study on Preparation of Fiber Sheet from Banana Stem
Fiber and Bagasse Fiber Combined with Binder from Cassava Flour
for Application in Forming Food Packaging

จิตติโสภา เฉลียวศักดิ์* นัฒน คูเจริญไพศาล สโรชา จงภู และ อิศราภรณ์ ฉายแก้ว

Jitsopa Chaliewsak* Numphon Koocharoenpisal Sarocha Jongpoo and Issaraporn Chay-kaew

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ ประเทศไทย

Department of General Science, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand

วันที่ส่งบทความ : 1 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไขบทความ : 4 มิถุนายน 2568 วันที่ตอบรับบทความ : 9 มิถุนายน 2568

Received: 1 May 2023, Revised: 4 June 2025, Accepted: 9 June 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมแผ่นเส้นใยจากเส้นใยกากกล้วย เส้นใยขานอ้อย และตัวประสานที่อัตราส่วนผสมต่างกัน วิเคราะห์ผลของเส้นใยและตัวประสานต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใย และขึ้นรูปตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใย โดยสกัดเส้นใยกากกล้วยและเส้นใยขานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาขึ้นรูปแผ่นเส้นใยร่วมกับตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนผสมต่างกัน นำแผ่นเส้นใยที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางเคมี การดูดซึมน้ำ การดูดซึมน้ำมัน และสมบัติเชิงกล จากนั้นขึ้นรูปตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใยด้วยวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัดพบว่า แผ่นเส้นใยที่ได้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันตามชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และปริมาณตัวประสานที่ใช้ แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสานมีพื้นผิวเรียบ ไม่มีขุยเส้นใย เนื่องจากมีตัวประสานช่วยยึดติดเส้นใย และมีสีต่างกันตามชนิดและปริมาณเส้นใย แต่การจัดเรียงเส้นใยไม่สม่ำเสมอ แผ่นเส้นใยทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงมาก (3.4-5.7 เท่า) และมีค่าการดูดซึมน้ำมันสูง (1.6-3.7 เท่า) แผ่นเส้นใยทุกสูตรสามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหารได้ แต่ไม่เหมาะสำหรับบรรจุอาหารประเภทน้ำและอาหารทอด แผ่นเส้นใย BN30BG30 มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปภาชนะ เพื่อนำไปศึกษาและพัฒนาต่อยอดในอนาคต

คำสำคัญ : เส้นใยกากกล้วย เส้นใยขานอ้อย แผ่นเส้นใย ตัวประสาน ภาชนะบรรจุอาหาร

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: jitsopa@g.swu.ac.th

<https://doi.org/10.55003/scikmitl.2025.258788>

Abstract

The aims of this research were to prepare fiber sheets with various amounts of banana stem fiber, bagasse fiber, and binder, to analyze the effect of fibers and binder on the physical properties of fiber sheets, and to cast food packaging samples from the fiber sheets. Banana stem fiber and bagasse fiber were extracted with a 5% w/w sodium hydroxide solution at 90°C for 120 min. Then, fiber sheets were formed with various amounts of fiber and binder from cassava flour. The fiber sheets were analyzed for physical appearance, chemical structure, water absorption, oil absorption, and mechanical properties. Then, food packaging samples were cast from the fiber sheets by the compression molding process. The results showed that the physical appearance of the fiber sheets depended on the type and amount of fiber and the amount of binder. The fiber sheets with binder presented a smooth surface, no fluff of fiber, but unparalleled fiber formation because the binder seized fiber into the sheets, and the color of the fiber sheet depended on type and amount of fiber. All of the fiber sheets presented very high water absorption (3.4–5.7 times) and high oil absorption (1.6–3.7 times). All of the fiber sheets could be cast into food packaging samples, but the food packaging samples are not suitable for soups and fried foods. The fiber sheet BN30BG30 was suitable for further study and developing food packaging.

Keywords: Banana stem fiber, Bagasse fiber, Fiber sheets, Binder, Food packaging

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีพืชเศรษฐกิจที่หลากหลาย อ้อยเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ มีการปลูกอ้อยเป็นจำนวนมากเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก (Centre for Agricultural Information, Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2022; Office of Agricultural Economics, 2022) ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลหลังกระบวนการผลิตจะเกิดขยะชานอ้อยขึ้นเป็นจำนวนมาก ชานอ้อยจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก และควรนำมาพัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์แทนการกำจัดทิ้งอย่างไม่ถูกวิธี เช่น การเผา หรือการฝังกลบ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ชานอ้อยมีลักษณะเส้นใยสั้นมาก ความแข็งแรงต่ำ ความยืดหยุ่นต่ำ และมีความหยาบกระด้าง แต่มีน้ำหนักเบาและขนาดเส้นใยสม่ำเสมอ จึงเหมาะต่อการใช้เป็นวัสดุเสริมแรงและการอัดขึ้นรูปเป็นกระดาษหรือผลิตภัณฑ์ (Li et al., 2020; Ramlee et al., 2019) นอกจากชานอ้อยแล้วยังมีขยะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกชนิดที่น่าสนใจ คือ กากกล้วย เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกมากในประเทศไทย (Centre for Information and Communication Technology, Department of Agricultural Extension, 2017) เมื่อดันกล้วยแก่เล็กน้อยให้ผลผลิตจะมีกาก

กล้วยเป็นขยะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปริมาณมากและหาได้ง่าย โดยทั่วไปนิยมใช้งานในรูปแบบเส้นใย ากกล้วย เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีความมันเงา แข็งแรง เหนียว และทนทาน สามารถนำไปแปรรูปผสมกับเส้น ใย อื่น ๆ ด้านสิ่งทอได้ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเป็นภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กระดาษ และวัสดุ เสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตต่าง ๆ (Kenned et al., 2020; Subagyo & Chafidz, 2018) การนำเส้นใยจาก กล้วยและเส้นใยชานอ้อยมาใช้งาน ต้องผ่านการสกัดแยกเส้นใยด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิและเวลาที่ เหมาะสม นอกจากนี้ Guimarães et al. (2009) ได้ศึกษาลักษณะเฉพาะของเส้นใยจากกล้วย เส้นใยชาน อ้อย และเส้นใยบวบพันธุ์พื้นเมืองของบราซิล โดยใช้ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเส้นใยพบว่า เส้นใยทั้ง 3 ชนิด มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างจาก แหล่งอื่น เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกและสายพันธุ์ เส้นใยชานอ้อยประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 54.87 เฮมิ เซลลูโลสร้อยละ 16.52 ลิกนินร้อยละ 23.33 และความชื้นร้อยละ 9.21 ในขณะที่เส้นใยจากกล้วย ประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 50.15 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 0.77 ลิกนินร้อยละ 17.44 ความชื้นร้อยละ 8.57 เส้นใยจากกล้วยมีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) 700-800 เมกะปาสคาล ยังมอดูลัส (Young's modulus) 27-32 จิกะปาสคาล ร้อยละการยืด (Elongation) 2.5-3.7 และเส้นใยชานอ้อยมีความทนต่อ แรงดึง 222 เมกะปาสคาล ยังมอดูลัส 27.1 จิกะปาสคาล ร้อยละการยืด 1.1 นอกจากนี้ Wisansakkul & Oupathumpanont (2021) ได้ศึกษาปริมาณไมโครเร็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วย โดยนำเส้น ใยจากกล้วยมาทำจัดไขมันด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัมต่อลิตร และโซเดียม คาร์บอเนต 1 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที แล้วนำไปพอกขาวด้วย คลอรีน ได้เส้นใยจากกล้วยที่มีสีเหลืองอ่อนช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับได้ดีขึ้น

ปัจจุบันมีการนำเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อยมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการใช้งานเป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต ในขณะที่ Kenned et al. (2020) ได้ศึกษาการ เตรียมวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยแผ่นเส้นใยกล้วยที่มีการขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้เข็มปัก (Needle punched) ในเมทริกซ์พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester: UPE) พบว่า การใช้ปริมาณแผ่นเส้นใยร้อยละ 40 ทำให้วัสดุคอมโพสิตทนแรงดึงและแรงดัดงอเพิ่มขึ้น จากนั้น Bartos et al. (2021) ได้ศึกษาการ เตรียมวัสดุคอมโพสิตพอลิแลคติกแอซิด (Poly (Lactic Acid): PLA) เสริมแรงด้วยเส้นใยชานอ้อยด้วยการ ฉีดขึ้นรูปพบว่า เส้นใยชานอ้อยสามารถเพิ่มความต้านทานแรงกระแทกของ PLA และเพิ่มความแข็งแรงของ PLA ให้มีค่ามากขึ้น ปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานด้านภาชนะและบรรจุภัณฑ์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ ประโยชน์จากเส้นใยจากกล้วย เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยธรรมชาติ นอกจากนี้ Liwthaisong (2013) ได้ ศึกษาการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยจากกล้วยพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใย ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดัดโค้ง ค่ามอดูลัสยังแรงดัดโค้ง ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสยังยืดหยุ่น และค่าร้อยละการยืดมีค่าลดลง และช่วยปรับปรุงความสามารถในการรับแรงกระแทกให้ดีขึ้น ต่อมา Ramdhonee & Jeetah (2017) ได้ศึกษาการผลิตกระดาษห่อบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกล้วยผสมเส้นใยชานอ้อยและเส้นใย กล้วยผสมกระดาษเหลือทิ้ง (Wastepaper) โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยกล้วยกับเส้นใยชานอ้อยหรือ กระดาษเหลือทิ้งเท่ากับ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 พบว่า กระดาษเส้นใยกล้วยร้อยละ 100 และ กระดาษเส้นใยชานอ้อยร้อยละ 100 มีคุณสมบัติการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน และมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า

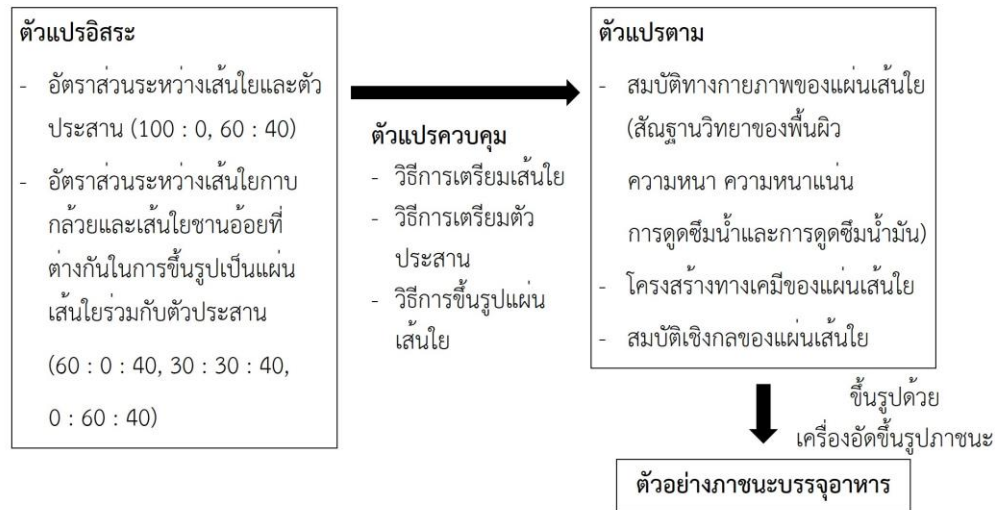
กระดาษเหลือทิ้ง 2.25 เท่า กระดาษเส้นใยกล้วยผสมกระดาษเหลือทิ้งที่อัตราส่วน 80:20 มีความทนแรงดึงมากที่สุด และมีความทนแรงดันทะลุมากที่สุด กระดาษเส้นใยกล้วยร้อยละ 100 มีความทนต่อแรงขีดถูมากที่สุด รองลงมา คือ กระดาษเส้นใยกล้วยผสมเส้นใยชานอ้อยที่อัตราส่วน 80:20 และอัตราส่วนผสมของการผลิตกระดาษห่อบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม คือ เส้นใยกล้วยผสมกระดาษเหลือทิ้งที่อัตราส่วนผสมกระดาษเหลือทิ้งร้อยละ 20-40 และเส้นใยกล้วยผสมชานอ้อยที่อัตราส่วนผสมเส้นใยชานอ้อยร้อยละ 10-30 เนื่องจากสูญเสียน้ำหนักหลังขึ้นรูปน้อยที่สุด ต่อมา lewkittayakorn et al. (2020) ได้ศึกษาการผลิตจานย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเยื่อใบสับปะรดเคลือบด้วยสารเคลือบชีวภาพเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการกันน้ำ จากนั้น Vanitha & Kavitha (2021) ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มบรรจุอาหารจากวัสดุคอมโพสิต PLA เสริมแรงจากเส้นใยหน่อปาล์มด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูป ฟิล์มที่ได้มีสมบัติทนสารเคมีได้ดี มีคุณสมบัติเชิงกลและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น และสามารถใช้บรรจุอาหารได้ดี

จากเหตุผลดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการเตรียมแผ่นเส้นใยจากกล้วย เส้นใยชานอ้อย และตัวประสาน เพื่อศึกษาลักษณะและสมบัติของแผ่นเส้นใยจากเส้นใย 2 ชนิดที่มีลักษณะทางกายภาพและสมบัติแตกต่างกัน ศึกษาการเสริมกันของลักษณะและสมบัติของแผ่นเส้นใยจากเส้นใยผสม และการเตรียมภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยจากกล้วยและชานอ้อยด้วยกระบวนการอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและหาได้ง่ายเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ยังเป็นการสนับสนุนนโยบายการลดการใช้ภาชนะบรรจุอาหารจากวัสดุที่ย่อยสลายยากและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ขอบเขตการวิจัยและกรอบการวิจัย

การวิจัยนี้มีขอบเขตการวิจัยดังนี้ การเตรียมเส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย ด้วยวิธีการสกัดแยกเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และการเตรียมตัวประสาน คือ แป้งเปียก โดยใช้แป้งมันสำปะหลังละลายในน้ำที่อัตราส่วน 1:6 แล้วนำเส้นใยทั้ง 2 ชนิด และตัวประสานมาขึ้นรูปแผ่นเส้นใยผสมระหว่างเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อยที่ต่างกันร่วมกับตัวประสาน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยต่อตัวประสานเท่ากับ 60:40 จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ คือ สัณฐานวิทยาของพื้นผิว ความหนา ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำมัน โครงสร้างทางเคมี และสมบัติเชิงกลของแผ่นเส้นใยที่ผลิตได้ และนำแผ่นเส้นใยที่ได้มาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแรงดัน เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปภาชนะ โดยมีกรอบการวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. กรอบวิจัยในการเตรียมแผ่นเส้นใยผสมระหว่างเส้นใยกากกล้วยและเส้นใยชานอ้อยที่แตกต่างกันร่วมกับตัวประสาน เพื่อประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปภาชนะ

2.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

กากกล้วยที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นบริเวณลำต้นส่วนนอกของกล้วยน้ำว้า จากตำบลโพธิ์ไก่ตัน อำเภอมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย ชานอ้อยที่ใช้เป็นส่วนของลำต้นอ้อยที่ผ่านการปอกเปลือกและคั้นเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว จากตำบลดอนโพธิ์ อำเภอมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการสกัดเป็นเกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Fisher Chemical และแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เตรียมตัวประสานเป็นเกรดประกอบอาหาร ตราปลาไทย 5 ดาว จากบริษัท อี.ที.ซี. เอียบตงจัน จำกัด

2.3 การเตรียมเส้นใยกากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย

นำกากกล้วยสดและชานอ้อยมาล้างทำความสะอาดแล้วหั่นให้มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำกากกล้วยและชานอ้อยที่เตรียมไว้มาสกัดแยกเส้นใยเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที (ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Guimarães et al. (2009)) อัตราส่วนของกากกล้วยหรือชานอ้อยต่อปริมาณตัวทำละลายเท่ากับ 1:40 จากนั้นกรองแยกเส้นใยที่ได้ แล้วนำเส้นใยไปล้างน้ำเปล่าจนผิวสัมผัสเส้นใยไม่ลื่น และวัดค่า pH ของน้ำล้างเส้นใยให้มีค่าเท่ากับน้ำก่อนล้าง (ค่า pH ประมาณ 7) นำเส้นใยที่ได้ไปตากแดดจนเส้นใยแห้งสนิท เก็บเส้นใยที่ได้ในถุงกันความชื้นเพื่อเตรียมสำหรับการนำไปขึ้นรูปแผ่นเส้นใยกากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย

2.4 การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย

การเตรียมตัวประสานแป้งเปียกเพื่อใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยให้คงตัวคงรูปร่างได้ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังในการทำแป้งเปียก ผสมอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ 1:6 จากนั้น คนผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาให้ความร้อนและกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จนได้แป้งเปียกที่มีลักษณะใส เหนียวหนืด (ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Liwthaisong (2013))

อัตราส่วนผสมของเส้นใยจากกล้วย (BN) เส้นใยชานอ้อย (BG) และตัวประสาน (B) ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยแสดงดังตารางที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการใช้ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน ผลของการใช้เส้นใยผสมกัน และผลของการใช้ตัวประสาน ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย

การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย โดยการนำเส้นใยแห้งมาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วนำเส้นใยแห้งมากระจายตัวในน้ำให้เส้นใยอ่อนตัวเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำเส้นใยเปียกมาผสมกับตัวประสาน ตามสูตรการผสมที่กำหนดดังตารางที่ 1 จากนั้นนำของผสมที่ได้ไปขึ้นรูปแผ่นใยด้วยกรอบไม้ซึ่งผ้าตาข่ายขนาด $20.5 \times 25.5 \times 5.0$ เซนติเมตร โดยการกระจายของผสมเส้นใยเปียกและตัวประสานลงบนกรอบไม้แล้วเกลี่ยให้เส้นใยกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งกรอบไม้ นำไปตากแดดจนแห้งสนิท จากนั้นแกะแผ่นเส้นใยออกจากกรอบไม้ เก็บในถุงกันความชื้นเพื่อนำไปทดสอบสมบัติและเตรียมขึ้นรูปภาชนะ แผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ ดังรูปที่ 2(ก) - 2(จ)

ตารางที่ 1. อัตราส่วนผสมของเส้นใยจากกล้วย (BN) เส้นใยชานอ้อย (BG) และตัวประสาน (B) ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย

สัญลักษณ์อัตราส่วนผสม	เส้นใยจากกล้วย (BN) (ร้อยละของน้ำหนัก ทั้งหมด, wt%)	เส้นใยชานอ้อย (BG) (ร้อยละของน้ำหนัก ทั้งหมด, wt%)	ตัวประสาน (B) (ร้อยละของ น้ำหนักทั้งหมด, wt%)
แผ่นเส้นใยจากกล้วย(BN100)	100	-	-
แผ่นเส้นใยชานอ้อย (BG100)	-	100	-
แผ่นเส้นใยจากกล้วยร้อยละ 60 และตัวประสาน 40 (BN60)	60	-	40
แผ่นเส้นใยจากกล้วยร้อยละ 30 แผ่นเส้นใยชานอ้อยร้อยละ 30 และตัวประสาน 40 (BN30BG30)	30	30	40
แผ่นเส้นใยชานอ้อยร้อยละ 60 และตัวประสาน 40 (BG60)	-	60	40



(ก) BN60 (ข) BG60 (ค) BN30BG30 (ง) BN100 (จ) BG100

รูปที่ 2. แผ่นเส้นใยที่ขึ้นรูปได้

2.5 การวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติ

1) การหาปริมาณร้อยละที่ได้ของเส้นใยและแผ่นเส้นใยด้วยวิธีการหาน้ำหนักแห้ง ปริมาณร้อยละที่ได้ (%yield) ของเส้นใยและแผ่นเส้นใยด้วยวิธีการหาน้ำหนักแห้ง คำนวณปริมาณ ร้อยละที่ได้จากสมการที่ (1)

$$\%yield = \frac{W_1}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ %yield = ร้อยละที่ได้
 W_0 = น้ำหนักแห้งก่อนการสกัดเส้นใยหรือการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย (กรัม)
 W_1 = น้ำหนักแห้งหลังการสกัดเส้นใยหรือการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย (กรัม)

2) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่นเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง (Optical Microscope: OM) ที่กำลังขยาย 40x และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแบบสเตอริโอ (Stereo Microscope) ที่กำลังขยาย 55x

3) การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยและแผ่นเส้นใยด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ของ Perkin Elmer Spectrum One ใช้โหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) ในช่วงเลขคลื่น 4,000-400 ต่อเซนติเมตร

4) การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นเส้นใย

การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นเส้นใยในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นเส้นใย ในการดูดซึมน้ำ ดัดแปลงการทดสอบจากมาตรฐาน ABNT NBR NM ISO 535: 1999 เพื่อใช้ในประเมินรูปแบบการใช้งานของภาชนะจากเส้นใยในการใช้บรรจุอาหารประเภทน้ำ โดยเตรียมชิ้นทดสอบแผ่นเส้นใย ขนาด 2x5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบ จากนั้นนำขึ้นทดสอบแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำขึ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักหลังทดสอบ ทำการทดสอบซ้ำ

3 ครั้ง คำนวณร้อยละการดูดซึมน้ำได้จากสมการที่ (2) หาค่าเฉลี่ยของความสามารถในการดูดซึมน้ำจะได้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแผ่นเส้นใย

$$W = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W = ร้อยละการดูดซึมน้ำ
 W_0 = น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (กรัม)
 W_1 = น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (กรัม)

5) การทดสอบการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใย

การทดสอบการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใยในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นเส้นใยในการดูดซึมน้ำมัน ดัดแปลงการทดสอบจากมาตรฐาน ABNT NBR NM ISO 535: 1999 เพื่อใช้ในประเมินรูปแบบการใช้งานของภาชนะจากเส้นใยในการใช้บรรจุอาหารประเภททอด โดยเตรียมชิ้นทดสอบแผ่นเส้นใยขนาด 2x5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำมันปาล์มปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักหลังทดสอบ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณความสามารถในการดูดซึมน้ำมันได้จากสมการที่ (3) หาค่าเฉลี่ยของความสามารถในการดูดซึมน้ำมันจะได้ความสามารถในการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใย

$$W = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ W = ร้อยละการดูดซึมน้ำมัน
 W_0 = น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมัน (กรัม)
 W_1 = น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำมัน (กรัม)

6) การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นเส้นใย

การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นเส้นใยในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบความทนแรงดึงและการยืดของแผ่นเส้นใยด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) (H10 KM) ตามมาตรฐาน ASTM D 882 โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร วัดความหนาของตัวอย่างทดสอบ แล้วนำไปทดสอบความทนแรงดึง ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของความทนแรงดึงจะได้ความทนแรงดึงของแผ่นเส้นใย

2.6 การขึ้นรูปตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหาร

การขึ้นรูปตัวอย่างภาชนะบรรจุอาหารด้วยวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัด (Compression molding) โดยการนำแผ่นเส้นใยมาฉีดยาเพื่อให้แผ่นเส้นใยอ่อนตัวลง ไม่ฉีกขาดขณะอัดขึ้นรูป นำแผ่นเส้นใยมาประกบด้วยใบตองทั้งด้านบนและล่าง เพื่อป้องกันการติดแม่พิมพ์ จากนั้นนำแผ่นเส้นใยที่เตรียมไว้มา

อัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะ แม่พิมพ์ทรงถาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดปากภาชนะ กว้าง 15.5 เซนติเมตร ยาว 21.5 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร และมีขนาดก้นภาชนะ กว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 17 เซนติเมตร ที่แรงดัน 115 - 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที การอัดขึ้นรูปภาชนะและภาชนะจากแผ่นเส้นใย ดังรูปที่ 3(ก) และ 3(ข)



(ก) การขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป



(ข) ภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้

รูปที่ 3. การขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารและภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

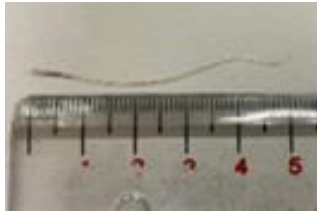
3.1 ปริมาณร้อยละที่ได้และสมบัติทางกายภาพของเส้นใยและแผ่นเส้นใย

เส้นใยจากกล้วยที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที มีปริมาณร้อยละที่ได้ (%yield) 17.67 ± 1.44 มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร และมีลักษณะเป็นเส้นเล็ก เหนียวนุ่ม และมีสีน้ำตาล สันฐานวิทยาของเส้นใยจากกล้วย กลุ่มเส้นใยมีการแตกออกเป็นเส้นใยขนาดเล็กและแยกออกจากกลุ่มเส้นใย เส้นใยที่ได้จึงมีขนาดเล็ก จากความยาวเส้นใยจากกล้วยที่ได้มีความยาวใกล้เคียงกับความยาวจากกล้วยก่อนเริ่มการสกัดแยกเส้นใย และลักษณะสันฐานวิทยาของเส้นใยที่มีการแตกออกจากกลุ่มเส้นใยเป็นเส้นใยขนาดเล็กสื่อถึงลักษณะของเส้นใยจากกล้วยเมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย เส้นใยจะถูกแยกออกจากกลุ่มเส้นใยตามความยาวเส้นใยโดยไม่มีการทำลายเส้นใย ในขณะที่เส้นใยขนาดเล็กที่ได้จากการการสกัดมีปริมาณร้อยละที่ได้ 35.38 ± 3.10 มีความยาวประมาณ 4 เซนติเมตร และมีลักษณะเป็นเส้นหนา หยิบกระด้าง และมีสีเหลือง สันฐานวิทยาของเส้นใยขนาดเล็ก กลุ่มเส้นใยมีการแตกออกเป็นเส้นใยขนาดเล็กลง มีการแยกออกจากกลุ่มเส้นใยบางส่วน ยังมีการเกาะกลุ่มกันของเส้นใย เส้นใยที่ได้จึงมีขนาดใหญ่และหนา จากความยาวเส้นใยขนาดเล็กที่ได้มีความยาวน้อยกว่ากับความยาวขนาดเล็กก่อนเริ่มการสกัดแยกเส้นใย และลักษณะสันฐานวิทยาของเส้นใยที่มีการแตกออกจากกลุ่มเส้นใยบางส่วน และมีการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยบางส่วน บ่งบอกถึงลักษณะของเส้นใยขนาดเล็กเมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย เส้นใยจะถูกแยกออกจากกลุ่มเส้นใยตามความยาวเส้นใยได้เพียงบางส่วน และมีส่วนปลายของเส้นใยถูกทำลายด้วยกระบวนการสกัดประมาณร้อยละ 20 ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะของเส้นใยที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นต่ำ

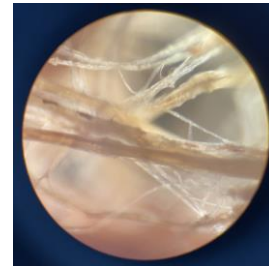
ทำให้เกิดการแตกหักในกระบวนการสกัด ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อย
ดังรูปที่ 4(ก) – 4(ฉ)



(ก) เส้นใยจากกล้วย (BN) ที่เตรียมได้



(ข) ลักษณะเส้นใยจากกล้วย



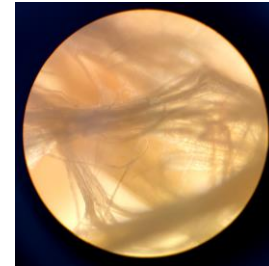
(ค) สัณฐานวิทยาเส้นใยจากกล้วย (40x)



(ง) เส้นใยชานอ้อย (BG) ที่เตรียมได้



(จ) ลักษณะเส้นใยชานอ้อย



(ฉ) สัณฐานวิทยาเส้นใยชานอ้อย (40x)

รูปที่ 4. ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่เตรียมได้

ปริมาณร้อยละที่ได้และสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ จากตารางที่ 2 พบว่า การเตรียมแผ่นเส้นใยจากเส้นใยที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ เส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อยที่มีปริมาณเส้นใยแตกต่างกัน และมีปริมาณการใส่ตัวประสานที่แตกต่างกัน จะทำให้ปริมาณร้อยละที่ได้และสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใยที่แตกต่างกัน แผ่นเส้นใยจากกล้วย (BN100) และแผ่นเส้นใยชานอ้อย (BG100) ที่ไม่ได้ใส่ตัวประสานมีปริมาณร้อยละที่ได้มากที่สุด เนื่องจากเป็นน้ำหนักของเส้นใย (ร้อยละ 100) โดยไม่มีน้ำหนักของตัวประสาน ในขณะที่แผ่นเส้นใยที่มีการใส่ตัวประสานมีปริมาณร้อยละที่ได้ใกล้เคียงกับอัตราส่วนของเส้นใยในสูตรส่วนผสม (ร้อยละ 60) เนื่องจากเมื่อแผ่นเส้นใยแห้งน้ำหนักน้ำในตัวประสานระเหยไป (ประมาณร้อยละ 85) จึงเหลือเพียงน้ำหนักแห้งของตัวประสาน ความหนาของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ ดังรูปที่ 5(ก) – 5(จ) และจากตารางที่ 2 พบว่า ความหนาของแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ใส่ตัวประสาน (BN100 และ BG100) มีความหนากว่าแผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสาน เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยมากกว่า และไม่มีตัวประสานช่วยยึดเกาะเส้นใยให้ยึดติดกันจึงมีช่องว่างระหว่างเส้นใยในแผ่นเส้นใยมากกว่า แผ่นเส้นใยชานอ้อย (BG100) มีความหนาที่สุด เนื่องจากเส้นใยมีความหนาและหยาบกระด้าง ทำให้เส้นใยเรียงตัวชิดกันได้ยาก และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยมาก ส่วนแผ่นเส้นใย BG60 มีความหนามากกว่าแผ่นเส้นใย BN60 เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเส้นใย ชานอ้อยที่มีความหยาบ ทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยมากกว่า และแผ่นเส้นใย BN30BG30 มีความหนาน้อยที่สุด เนื่องจากมีการผสมกันของเส้นใย 2 ชนิด ซึ่งมีลักษณะ

ทางกายภาพแตกต่างกัน คือ เส้นใยจากกล้วยมีลักษณะเส้นใยเล็ก เหนียวนุ่ม และเส้นใยชานอ้อยมีลักษณะเส้นใยหนา หยาบกระด้าง เมื่อผสมกันทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของเส้นใยชิดกันได้มากขึ้น จึงมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยชนิดเดียว ความหนาแน่นของแผ่นเส้นใย BG100 น้อยที่สุด เนื่องจากแผ่นเส้นใย BG100 เป็นแผ่นเส้นใยจากเส้นใยชานอ้อยที่ความหนาและหยาบกระด้าง และไม่ได้ใส่ตัวประสานเพื่อช่วยยึดเส้นใย ทำให้มีความหนาและปริมาตรมากนำไปสู่ความหนาแน่นที่น้อย ส่วนแผ่นเส้นใยสูตรอื่น ๆ มีความหนาแน่นสอดคล้องกับความหนาเช่นกัน

ตารางที่ 2. ปริมาณร้อยละที่ได้ (%yield) และสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใย

แผ่นเส้นใย	ปริมาณร้อยละที่ได้ (%yield)	ความหนา (mm.)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
BN100	96.93	6.36±0.64	0.22
BG100	97.63	8.75±0.34	0.16
BN60	62.95	3.44±0.16	0.26
BN30BG30	62.34	3.59±0.46	0.25
BG60	61.29	3.73±0.42	0.23



(ก) BN100

(ข) BG100

(ค) BN60

(ง) BN30BG30

(จ) BG60

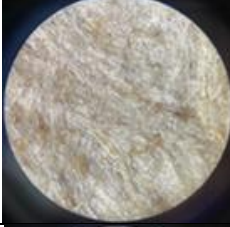
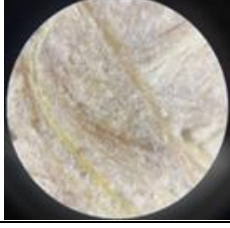
รูปที่ 5. เปรียบเทียบความหนาและลักษณะทางกายภาพของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้

3.2 ผลของชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และตัวประสานต่อลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย

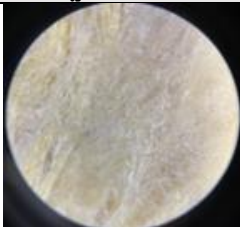
ลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย จากตารางที่ 3 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของแผ่นเส้นใยแตกต่างกันตามชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และปริมาณตัวประสาน แผ่นเส้นใยที่ไม่ใส่ตัวประสาน คือ แผ่นเส้นใย BN100 และ BG100 มีสีน้ำตาลเข้มจากสีของเส้นใยจากกล้วยและสีเหลืองจากสีของเส้นใยชานอ้อย ตามลำดับ มีพื้นผิวไม่เรียบ การจัดเรียงเส้นใยไม่สม่ำเสมอ มีขุยเส้นใย และมีความหนามาก เนื่องจากไม่มีตัวประสานช่วยยึดติดเส้นใย ในขณะที่แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสาน คือ แผ่นเส้นใย BN60 BG60 และ BN30BG30 มีสีน้ำตาล สีเหลือง และสีน้ำตาลอ่อน จากสีของเส้นใยจากกล้วย เส้นใย

ชานอ้อย และเส้นใยผสม ตามลำดับ มีพื้นผิวเรียบแต่การจัดเรียงเส้นใยไม่สม่ำเสมอ และไม่มีขุยเส้นใย เนื่องจากมีตัวประสานช่วยยึดติดเส้นใย ส่วนสัณฐานวิทยาพื้นผิวของแผ่นเส้นใยมีลักษณะแตกต่างกันตาม ปริมาณตัวประสานในแผ่นเส้นใย แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสาน คือ แผ่นเส้นใย BN60 BG60 และ BN30BG30 มีลักษณะผิวหน้าที่ค่อนข้างเรียบ พบช่องว่างระหว่างเส้นใยเพียงเล็กน้อย ในขณะที่แผ่นเส้นใยที่ไม่ใส่ตัว ประสาน คือ BN100 และ BG100 มีลักษณะผิวหน้าที่ไม่เรียบ พบช่องว่างระหว่างเส้นใยเป็นช่องว่างขนาดใหญ่

ตารางที่ 3. ลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย

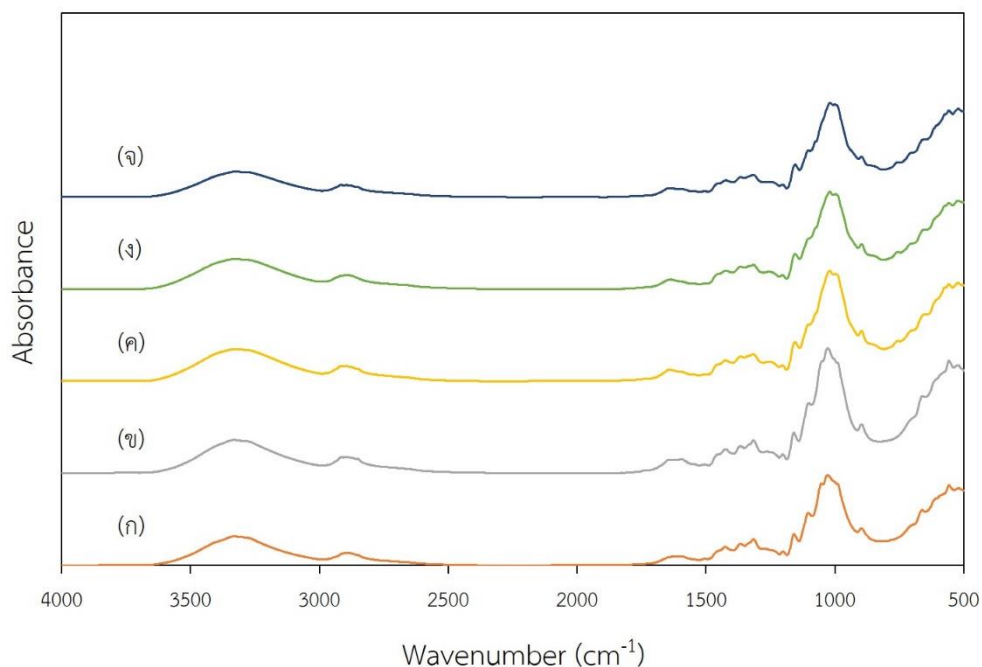
แผ่นเส้นใย	ทางกายภาพ			สัณฐานวิทยา(55x)	
BN100					
BG100					
BN60					
BN30BG30					

ตารางที่ 3. (ต่อ) ลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใย

แผ่นเส้นใย	ทางกายภาพ	สัณฐานวิทยา(55x)
BG60		

3.3 ผลของชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และตัวประสานต่อโครงสร้างทางเคมีของแผ่นเส้นใย

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแผ่นเส้นใยที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน ดังรูปที่ 6 พบว่า แผ่นเส้นใยที่เตรียมจากสูตรส่วนผสมที่ต่างกันทุกสูตร มีความเข้มพีคของหมู่ฟังก์ชันที่บ่งชี้ลักษณะทางเคมีของเซลลูโลส คือ -OH ($3400-3200\text{ cm}^{-1}$) -CH_n ($2970-2860\text{ cm}^{-1}$) C-H ($1431-1315\text{ cm}^{-1}$) C-O-C (1160 cm^{-1}) และ C-O (1060 cm^{-1}) ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มพีคที่ชี้ให้เห็นหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสในงานวิจัยของ Guimarães et al. (2009) และ Yang et al. (2007) สื่อถึงการเตรียมแผ่นเส้นใยทุกสูตรไม่มีการสร้างพันธะเคมี และไม่มีการทำลายโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส เนื่องจากสามารถระบุหมู่ฟังก์ชันที่บ่งชี้ลักษณะเฉพาะของเซลลูโลสได้ชัดเจน และไม่มีหมู่ฟังก์ชันปรากฏที่ตำแหน่งใหม่



รูปที่ 6. สเปกตรัมการดูดกลืนจากเทคนิค FTIR ของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ ก) BN100 ข) BN60 ค) BG100 ง) BG60 และ จ) BN30BG30

3.4 ผลของชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และตัวประสานต่อการดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใย

การดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใย จากตารางที่ 4 พบว่า แผ่นเส้นใยทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 335-568 (สามารถดูดซึมน้ำได้ 3.35-5.68 เท่า) สอดคล้องกับการดูดซึมน้ำของแผ่นเส้นใยที่สูงมาก แผ่นเส้นใยมีความชอบน้ำมาก (Hydrophilic) เนื่องจากตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังสามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ตัวประสานที่เคลือบและยึดเส้นใยหลุดออกมาขณะทดสอบการดูดซึมน้ำ ทำให้แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสานปรากฏลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสได้ตามชนิดและปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย โดยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเป็นจำนวนมากจึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดี (Kongtud et al., 2016) แผ่นเส้นใยชานอ้อย BG100 มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าแผ่นเส้นใยกาบกล้วย BN100 ประมาณร้อยละ 120 (ประมาณ 1.2 เท่า) บ่งบอกถึงเส้นใยชานอ้อยสามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่าเส้นใยกาบกล้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Guimarães et al. (2009) ที่ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นใยกาบกล้วยและเส้นใยชานอ้อยพบว่า เส้นใยชานอ้อยมีความชื้นในเส้นใยมากกว่าเส้นใยกาบกล้วย ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยชานอ้อยมากกว่าเส้นใยกาบกล้วย แผ่นเส้นใยที่มีการใส่ตัวประสานมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าแผ่นเส้นใยชนิดเดียวกันที่ไม่ใส่ตัวประสาน โดยแผ่นเส้นใย BN60 และ BG60 มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงร้อยละ 8.39 และ 25.73 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยชนิดเดียวกันที่ไม่ใส่ตัวประสาน เนื่องจากตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังสามารถละลายน้ำได้ ทำให้แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสานปรากฏลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสได้ตามชนิดและปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย ปริมาณเส้นใยที่ใช้ในการขึ้นรูปน้อยกว่าแผ่นเส้นใยที่ไม่ใส่ตัวประสาน จึงมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง เส้นใยชานอ้อยเมื่อใส่ตัวประสานมีการลดลงของค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าเส้นใยกาบกล้วย เนื่องจากตัวประสานบางส่วนบริเวณผิวหน้าได้ละลายน้ำไป แต่ตัวประสานบางส่วนภายในแผ่นเส้นใยช่วยในการจัดเรียงตัวของเส้นใยให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยลง เมื่อเส้นใยมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยลงทำให้เซลลูโลสแสดงความชอบน้ำของหมู่ไฮดรอกซิลได้น้อยลง ในขณะที่เส้นใยกาบกล้วยเส้นใยมีขนาดเล็กและอ่อนนุ่ม สามารถจัดเรียงตัวชิดกันได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสานช่วย การใส่ตัวประสานจึงมีผลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยน้อย แผ่นเส้นใยผสม BN30BG30 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 335 (ประมาณ 3.4 เท่า) เนื่องจากการใช้เส้นใย 2 ชนิดผสมกัน เส้นใยแต่ละชนิดใช้ปริมาณลดลง ร่วมกับการใส่ตัวประสาน ทำให้ภายในแผ่นเส้นใยเกิดการจัดเรียงตัวของเส้นใยชิดกันได้มากขึ้น จึงมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยชนิดเดียว สอดคล้องกับความหนาของแผ่นเส้นใยที่มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4. การดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใย

แผ่นเส้นใย	การดูดซึมน้ำ (%)	การดูดซึมน้ำมัน (%)
BN100	448.05±4.08	290.16±8.58
BG100	568.23±7.65	368.24±9.89
BN60	410.45±8.27	219.52±8.50
BN30BG30	334.93±9.78	164.33±1.53
BG60	422.05±8.64	255.09±9.82

แผ่นเส้นใยทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำมันน้อยกว่าค่าการดูดซึมน้ำ โดยมีค่าการดูดซึมน้ำมันประมาณร้อยละ 164-368 (สามารถดูดซึมน้ำมันได้ 1.6-3.7 เท่า) ซึ่งจัดเป็นค่าการดูดซึมน้ำมันที่มีค่าสูง แผ่นเส้นใยทุกสูตรสามารถดูดซึมน้ำมันได้ เนื่องจากการสกัดเส้นใยเซลลูโลสด้วยตัวทำละลายทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีรูพรุน และการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบของเส้นใยทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้น้ำมันสามารถถูกดูดซึมผ่านรูพรุนและช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ด้วยปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็ก (Capillary effect) (Chaliewsak, 2021; Wisetrat et al., 2012) แนวโน้มการดูดซึมน้ำมันเป็นไปในทิศทางเดียวกับการดูดซึมน้ำ โดยมีค่าการดูดซึมน้ำมันน้อยกว่าค่าการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 35.20-50.94 เทียบกับค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นเส้นใยสูตรเดียวกัน

3.5 ผลของชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และตัวประสานต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นเส้นใย

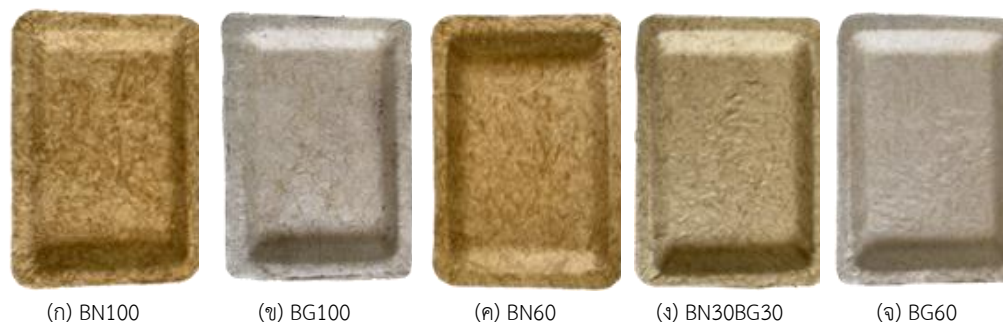
สมบัติเชิงกลด้านความทนแรงดึงของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ จากตารางที่ 5 พบว่า แผ่นเส้นใยผสมระหว่างเส้นใยกาบกล้วยและเส้นใยชานอ้อยร่วมกับตัวประสาน BN30BG30 มีความทนแรงดึงที่จุดขาด 10.11 ± 7.09 เมกะปาสคาล ร้อยละการยืดที่จุดขาด (Elongation at break) ร้อยละ 3.89 ± 3.28 และยังมีมอดูลัส 277.98 ± 62.52 เมกะปาสคาล เป็นแผ่นเส้นใยที่มีความแข็งแรงมากที่สุด มีความทนแรงดึงมากที่สุด และมีความแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากการใช้เส้นใย 2 ชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกันทำให้มีการเสริมกันของเส้นใยแต่ละชนิดทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าการใช้เส้นใยเพียงชนิดเดียว และมีการใช้ตัวประสานช่วยยึดเส้นใยเข้าด้วยกัน แผ่นเส้นใยจึงมีความแข็งแรงและแข็งแรงมาก ซึ่งแผ่นเส้นใย BN30BG30 มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับพลาสติกชีวภาพที่ทำจากแป้ง (Starch bioplastic) สำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร มีความทนแรงดึงประมาณ 15-20 เมกะปาสคาล (Semple et al., 2022) แผ่นเส้นใยชนิดเดียวร่วมกับตัวประสาน BN60 และ BG60 มีความทนแรงดึงที่จุดขาด 5.57 ± 4.35 เมกะปาสคาล และ 4.93 ± 2.45 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และยังมีมอดูลัส 115.38 ± 74.18 เมกะปาสคาล และ 225.78 ± 91.17 เมกะปาสคาล ซึ่งมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับเยื่อกระดาษ (Paper-pulp) สำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร มีความทนแรงดึง 4.42 เมกะปาสคาล (Gurav et al., 2003) ส่วนแผ่นเส้นใยชนิดเดียวที่ไม่ได้ใส่ตัวประสาน BN100 และ BG100 มีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าแผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสาน และมีความแข็งแรงต่ำกว่าวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเยื่อกระดาษและพลาสติกชีวภาพที่ทำจากแป้ง แผ่นเส้นใยกาบกล้วย BN100 มีร้อยละการยืดสูงกว่าแผ่นเส้นใยชานอ้อย และมีค่ามอดูลัสต่ำกว่าชี้ให้เห็นถึงความยืดหยุ่นที่มากกว่าของแผ่นเส้นใยกาบกล้วยซึ่งเป็นผลจากลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกาบกล้วยที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงมากกว่าเส้นใยชานอ้อย สอดคล้องกับงานของ Guimarães et al. (2009) ที่ได้ศึกษาความแข็งแรงของเส้นใยกาบกล้วยและเส้นใยชานอ้อยพบว่า เส้นใยกาบกล้วยมีความทนต่อแรงดึง 700-800 เมกะปาสคาล และร้อยละการยืด 2.5-3.7 ซึ่งมีค่ามากกว่าเส้นใยชานอ้อยที่มีความทนต่อแรงดึง 222 เมกะปาสคาล และร้อยละการยืด 1.1

ตารางที่ 5. ความทนแรงดึงของแผ่นเส้นใย

แผ่นเส้นใย	ความทนแรงดึงที่จุดขาด (เมกะปาสคาล)	ร้อยละการยืดที่จุดขาด (ร้อยละ)	ยังมอดูลัส (เมกะปาสคาล)
BN100	2.23±1.69	5.18±2.01	39.19±22.66
BG100	2.79±1.68	3.24±1.25	85.06±33.85
BN60	5.57±4.35	4.48±0.78	115.38±74.18
BN30BG30	10.11±7.09	3.89±3.28	277.98±62.52
BG60	4.93±2.45	2.24±0.90	225.78±91.17

3.6 ผลของชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และตัวประสานต่อลักษณะทางกายภาพของภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใย

ลักษณะทางกายภาพของภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใย ดังรูปที่ 7(ก) – 7(จ) พบว่า แผ่นเส้นใยทุกสูตรสามารถใช้เป็นวัสดุในการขึ้นรูปภาชนะได้ แต่ภาชนะที่ได้มีลักษณะคงรูปและมีความแข็งแรงแตกต่างกันตามชนิดของแผ่นเส้นใย โดยภาชนะจากแผ่นเส้นใยที่ไม่ใส่ตัวประสาน คือ BN100 และ BG100 มีลักษณะคงรูป แข็งแรงปานกลาง มีสีตามสีของแผ่นเส้นใย มีความหนามาก ผิวสัมผัสไม่เรียบ มีขุยเส้นใยหลุดออกมา เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวประสานเป็นตัวยึดเส้นใยให้ยึดติดกัน และมีการใช้ปริมาณเส้นใยมากในการเตรียมแผ่นเส้นใยจึงมีความคงรูปบิดงอได้ยากและมีความหนามาก ส่วนภาชนะจากแผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสาน คือ BN60 BN30BG30 และ BG60 มีลักษณะคงรูป แข็งแรง มีสีตามสีของแผ่นเส้นใย ผิวสัมผัสเรียบ ไม่มีขุยเส้นใย เนื่องจากมีการใช้ตัวประสานเป็นตัวยึดเส้นใย และมีการใช้ปริมาณเส้นใยน้อยลงจึงมีความแข็งแรงและมีความหนาน้อยลง ภาชนะ BN60 จากเส้นใยกากกล้วยมีผิวสัมผัสเรียบเนียน แต่ภาชนะ BG60 จากเส้นใยขานอ้อยมีผิวสัมผัสค่อนข้างเรียบแต่เป็นลูกคลื่นบางจุด เนื่องจากเส้นใยขานอ้อยมีความหนา หยาบ และมีความยืดหยุ่นต่ำ ทำให้มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยสม่ำเสมอต่ำกว่า และมีความสามารถในการยึดตัวไปตามแม่พิมพ์ภาชนะได้ต่ำกว่าเส้นใยกากกล้วยซึ่งมีเส้นเล็ก อ่อนนุ่ม และมีความยืดหยุ่นมากกว่า เมื่อนำมาอัดขึ้นรูปภาชนะ BG60 จึงมีความสม่ำเสมอของพื้นผิวต่ำกว่า และภาชนะ BN30BG30 จากเส้นใยผสมมีผิวสัมผัสค่อนข้างเรียบ แต่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นบางจุด เนื่องจากมีการใช้เส้นใย 2 ชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกันมาใช้ในการขึ้นรูป เส้นใยทั้ง 2 ชนิดยังมีการผสมกันไม่สม่ำเสมอ จึงมีจัดเรียงตัวได้ไม่ดี จึงปรากฏลักษณะของความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยในบางส่วนของภาชนะ



(ก) BN100

(ข) BG100

(ค) BN60

(ง) BN30BG30

(จ) BG60

รูปที่ 7. ลักษณะทางกายภาพของภาชนะบรรจุอาหารจากแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้

จากการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นเส้นใยพบว่า แผ่นเส้นใยผสมร่วมกับตัวประสาน BN30BG30 มีความแข็งแรงมากที่สุด และมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับพลาสติกชีวภาพที่ทำจากแป้งสำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร และมีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อกระดาษสำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร การทดสอบการดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำมันของแผ่นเส้นใยก่อนการขึ้นรูปภาชนะพบว่า แผ่นเส้นใยทุกสูตรสามารถดูดซึมน้ำได้ดีมากและสามารถดูดซึมน้ำมันได้ดี โดยภาชนะจากเส้นใยผสมร่วมกับตัวประสาน BN30BG30 มีค่าการดูดซึมน้ำและค่าการดูดซึมน้ำมันน้อยที่สุด (การดูดซึมน้ำร้อยละ 334.93 ± 9.78 การดูดซึมน้ำมันร้อยละ 164.33 ± 1.53) แต่ยังเป็นค่าการดูดซึมน้ำและน้ำมันที่ไม่เหมาะสมในการใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารประเภทน้ำและอาหารทอด เนื่องจากสามารถดูดซึมน้ำและน้ำมันจากอาหารเข้าไปยังภาชนะได้ ทำให้ภาชนะเสียรูป เกิดการบวมตัวจากการดูดซึมน้ำและน้ำมันทำให้ความแข็งแรงของภาชนะลดลงจากการที่น้ำและน้ำมันถูกเส้นใยดูดซึมไว้ นอกจากนี้สามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนของเส้นใยจากภาชนะสู่ผู้บริโภคได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongpoo & Jewpanya (2021) ได้ศึกษาการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัวพบว่า ภาชนะจากใบบัวสามารถดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 69.27 จึงไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีน้ำ เหมาะสำหรับบรรจุอาหารแห้งทดแทนการใช้ภาชนะจากโฟม และเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของภาชนะจากแผ่นเส้นใยแต่ละสูตรพบว่า ภาชนะจากเส้นใยผสมร่วมกับตัวประสาน BN30BG30 แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นเส้นใยในด้านต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปเป็นภาชนะ เช่น แผ่นเส้นใยมีผิวหน้าที่ค่อนข้างเรียบ มีช่องว่างระหว่างเส้นใยเพียงเล็กน้อย การจัดเรียงเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอ สีของแผ่นเส้นใยเป็นสีน้ำตาลอ่อน

4. สรุปผลการวิจัย

ภาวะที่ใช้ในการสกัดเส้นใยจากกล้วยและเส้นใยชานอ้อยในงานวิจัยนี้ คือ การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ได้เส้นใยจากกล้วยปริมาณร้อยละที่ได้ 17.67 ± 1.44 มีลักษณะเป็นเส้นเล็ก เหนียวนุ่ม สีน้ำตาล และได้เส้นใยชานอ้อยปริมาณร้อยละที่ได้ 35.38 ± 3.10 มีลักษณะเป็นเส้นหนา หยาดกระด้าง สีเหลือง เมื่อนำเส้นใยทั้ง 2 ชนิดมาเตรียมแผ่นเส้นใยร่วมกับตัวประสานในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน แผ่นเส้นใยที่ได้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันตามชนิดเส้นใย ปริมาณเส้นใย และปริมาณตัวประสานที่ใช้ แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสาน คือ แผ่นเส้นใย BN60 BG60 และ BN30BG30 มีพื้นผิวเรียบแต่การจัดเรียงเส้นใยไม่สม่ำเสมอ และไม่มีขุยเส้นใย เนื่องจากมีตัวประสานช่วยยึดติดเส้นใย และมีสีต่างกันตามชนิดและปริมาณเส้นใย

แผ่นเส้นใยทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงมาก (3.4-5.7 เท่า) เนื่องจากตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังสามารถละลายน้ำได้ ทำให้แผ่นเส้นใยที่ใส่ตัวประสานถ่ายทอดลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสได้ตามชนิดและปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย และแผ่นเส้นใยทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำมันน้อยกว่าค่าการดูดซึมน้ำ แต่ยังจัดเป็นค่าการดูดซึมน้ำมันที่มีค่าสูง (1.6-3.7 เท่า) เนื่องจากการสกัดเส้นใยเซลลูโลสด้วยตัวทำละลายทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีรูพรุน และการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบของเส้นใยทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้น้ำมันสามารถถูกดูดซึมผ่านรูพรุนและช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ โดยแผ่นเส้นใยผสม BN30BG30 มีค่าการดูดซึมน้ำและค่าการดูดซึมน้ำมันน้อยที่สุด แผ่นเส้นใยผสม

BN30BG30 มีความแข็งแรงมากที่สุด และมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับพลาสติกชีวภาพที่ทำจากแป้งสำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร และมีความแข็งแรงมากกว่าเยื่อกระดาษสำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ส่วนแผ่นเส้นใย BN60 และ BG60 มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับเยื่อกระดาษสำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร

แผ่นเส้นใยที่ได้ตัวประสานสามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหารได้ และจากการประเมินสมบัติการดูดน้ำและการดูดน้ำมัน ร่วมกับลักษณะทางกายภาพของแผ่นเส้นใยพบว่า แผ่นเส้นใยสูตรที่เหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปภาชนะ เพื่อนำไปศึกษาและพัฒนาต่อยอดเป็นภาชนะใส่อาหารแห้งในอนาคต คือแผ่นเส้นใย BN30BG30 ที่มีอัตราส่วนของเส้นใยกากกล้วย : เส้นใยชานอ้อย : ตัวประสาน เท่ากับ 30:30:40 เนื่องจากมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าการดูดซึมน้ำมันน้อยที่สุด มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหาร และมีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมสำหรับใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2564) ตามเลขที่สัญญา 110/2564

เอกสารอ้างอิง (References)

- Bartos, A., Nagy, K., Anggono, J., Antoni, A., Purwaningsih, H., Móczó, J., & Pukánszky, B. (2021). Biobased PLA/sugarcane bagasse fiber composites: Effect of fiber characteristics and interfacial adhesion on properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 143, Article 106273. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106273>
- Centre for Agricultural Information, Office of Agricultural Economics & Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2022). *Thailand foreign agricultural trade statistics 2021*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Centre for Information and Communication Technology & Department of Agricultural Extension. (2017, April 28). *Namwa banana in 2016*. <http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rortor/fruit1/banana3.pdf>
- Chaliewsak, J. (2021). Fried oil absorption property of nonwoven from rice straw cellulose fiber. *RMUTP Research Journal Science and Technology*, 15(1), 77-90. (in Thai)
- Guimarães, J. L., Frollini, E., da Silva, C. G., Wypych, F., & Satyanarayana, K. G. (2009). Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. *Industrial Crops and Products*, 30, 407-415. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.013>

- Gurav, S. P., Bereznitski, A., Heidweiller, A., & Kandachar, P. V. (2003). Mechanical properties of paper-pulp packaging. *Composites Science and Technology*, 63(9), 1325-1334. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00104-0)
- Iewkittayakorn, J., Khunthongkaew, P., Wongnoipla, Y., Kaewtatip, K., Suybangdum, P., & Sopajarn, A. (2020). Biodegradable plates made of pineapple leaf pulp with biocoatings to improve water resistance. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 5056-5066. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.023>
- Kenned, J. J., Sankaranarayanamy, K., Binoj, J. S., & Chelliah, S. K. (2020). Thermo-mechanical and morphological characterization of needle punched non-woven banana fiber reinforced polymer composites. *Composites Science and Technology*, 185, Article 107890. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.107890>
- Kongtud, W., Witayakran, S., Smitthipong, W., Ngamrojrm, C., Boonyarit, J., & Chollakup, R. (2016). The potential of cellulose fibers usage as reinforcement for composite materials. *Proceedings of the 54th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 773-780). Kasetsart University. (in Thai)
- Li, Z., Zhang, X., Fa, C., Zhang, Y., Xiong, J., & Chen, H. (2020). Investigation on characteristics and properties of bagasse fibers: performances of asphalt mixtures with bagasse fibers. *Construction and Building Materials*, 248, Article 118648. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118648>
- Liwthaisong, M. (2013). *Production of biodegradable food packaging from banana sheath* [Master's thesis, Suranaree University of Technology]. Suranaree University of Technology Repository. <https://clrem-opac.sut.ac.th/opac2/BibDetail.aspx?bibno=154529> (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2022). *Agricultural statistics of Thailand 2021*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Ramdhonee, A., & Jeetah, P. (2017). Production of wrapping paper from banana fibres. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4298-4306. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.011>
- Ramlee, N. A., Jawaid, M., Zainudin, E. S., & Yamani, S. A. K. (2019). Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(4), 3466-3474. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.016>
- Semple, K. E., Zhou, C., Rojas, O. J., Nkeuwa, W. N., & Dai, C. (2022). Moulded pulp fibers for disposable food packaging: A state-of-the-art review. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, Article 100908. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100908>

- Subagyo, A., & Chafidz, A. (2018). Banana pseudo-stem fiber: Preparation, characteristics, and applications. In A. I. O. Jideani & T. A. Anyasi (Eds.), *Banana nutrition – Function and processing kinetics*. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82204>
- Vanitha, R., & Kavitha, C. (2021). Development of natural cellulose fiber and its food packaging application. *Materials Today: Proceedings*, 36(4), 903-906. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.029>
- Wisansakkul, S., & Oupathumpanont, O. (2021). Study of the suitable micro wax for coating banana rope for craft products. *RMUTSV Research Journal*, 13(3), 647-658. (in Thai)
- Wisetrat, O., Ngamsombat, R., Saueprasearsit, P., & Prasara-A, J. (2012). Adsorption of suspended oil using bagasse and modified bagasse. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 31(4), 354-362. (in Thai)
- Wongpoo, K., & Jewpanya, P. (2021). The design and development of lotus leaves forming machine. *RMUTL Engineering Journal*, 6(1), 19-27. (in Thai)
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12-13), 1781-1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>