

สมบัติการทนน้ำและทนความร้อนของวัสดุคอมโพสิตจากแป้งที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสจากพืช

WATER- AND THERMAL-RESISTANT PROPERTIES OF STARCH-BASED COMPOSITES REINFORCED WITH PLANT CELLULOSE

มลฤดี โอปมาวุฒิกุล^{1*} และ ณัฐธิดา ศรีราชยา²

Monluedee Opamawutthikul^{1*} and Nuttida Srirachya²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

¹Faculty of Education, Kanchanaburi Rajabhat University

²Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

* corresponding author e-mail: mopama@kru.ac.th

(Received: 15 January 2023; Revised: 30 March 2023; Accepted: 2 April 2023)

บทคัดย่อ

แป้งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตวัสดุชีวภาพ แต่ด้วยข้อจำกัดด้านความแข็งแรงและคงรูป ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดและปริมาณเซลลูโลสที่เพิ่มสมบัติการคงรูปการทนน้ำ และการทนความร้อนของวัสดุคอมโพสิตที่มีแป้งเป็นสารเนื้อหลัก ทั้งนี้เซลลูโลสที่นำมาใช้ คือ เซลลูโลสจากใยตาล (ขนาดเส้นใยสั้น) และเซลลูโลสจากป่านรามิ (ขนาดเส้นใยยาว) ได้ถูกนำมาปรับสภาพผิวด้วยวิธีทางเคมี (10% NaOH, 4% H₂SO₄ และ 10% NaOCl) เพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส จากนั้นหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างแป้งและเซลลูโลส ขึ้นรูปภายใต้ความร้อนที่ 40 °C นำไปทดสอบการทนน้ำโดยการแช่ชิ้นตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที และทดสอบการทนความร้อนโดยการวางชิ้นตัวอย่างที่ 100 °C นาน 60 นาที แล้วตรวจสอบความคงรูปของตัวอย่าง โดยพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุตัวอย่าง คือ แป้ง 1 : น้ำ 3 และ 1% wt. เซลลูโลส หลังขึ้นรูป วัสดุตัวอย่างมีรูปร่างและขนาดตามแม่พิมพ์ ไม่พบรอยแตก รอยหัก แต่ผิวด้านบนมีความขรุขระจากการกระจายตัวของเซลลูโลส ทั้งนี้เซลลูโลสจากใยตาลมีส่วนที่ถูกล้อมรอบด้วยสารเนื้อหลักได้มากกว่า สามารถยึดเกาะกับเซลลูโลสได้มากกว่าป่านรามิ ซึ่งความแตกต่างนี้มีผลต่อการคงรูปของวัสดุตัวอย่างภายใต้สภาวะทดสอบการทนน้ำและการทนความร้อนเดียวกัน ดังนั้นการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสใยตาลทำให้วัสดุมีความเสถียรในการคงรูปดีกว่า ซึ่งอาจนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สีเขียวที่ทนน้ำและทนความร้อน

คำสำคัญ: ทนน้ำ ทนความร้อน วัสดุคอมโพสิต เซลลูโลสใยตาล เซลลูโลสป่านรามิ

Abstract

Starch is a polymer material widely used in biomaterial area. Due to its limitations in strength and stability, this study investigated appropriate type and amount of cellulose for strengthening stability, water-resistant, and thermal-resistant properties of starch-based composites. Selected cellulose fibers in this study were tala palm ones for the short and rami ones for the long. Initially, chemical pretreatment (10% NaOH, 4% H₂SO₄ and 10% NaOCl) was carried out to remove the lignins and hemicelluloses. Then the proper proportions between starch (matrix) and cellulose (reinforcement) were determined. The mixtures were molded using heat-moisture drying technique at 40°C. Water-resistant tests were carried out by immersing the samples in water at room temperature for 60 minutes. Meanwhile, thermal-resistant tests were executed at 100°C for 60 minutes. The samples were finally assessed the stability. It was found that the proper proportion was the suspension of starch 1: water 3 and 1% wt. pretreated cellulose. When molded, all the samples remained shapes as molded, no cracking and no breaking. Apparently, the top surfaces of samples became rough according to the spreading of the fibers. It was obvious that tala palm fibers were generally embedded in the surrounding matrix, hence appeared better adhesion to the matrix phase than that of rami ones. At this unsimilar point, it caused different stable appearances under similar hydrated and heated conditions. Therefore, the composites reinforced with tala palm cellulose provided the better stability. This is useful for applying for water- and thermal-resistant green packaging.

Keywords: Water-resistant, Thermal-resistant, Composites, Tala palm cellulose, Rami cellulose

บทนำ

แป้ง เป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตวัสดุชีวภาพเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก หาง่าย ผลิตได้จากพืชหลายชนิดที่สามารถปลูกทดแทนได้ โดยทั่วไป สมบัติเชิงกลของแป้ง คือ แข็งแต่มีแรงดึงยึดต่ำจึงเปราะ มักพองตัวเมื่อได้รับความชื้นจึงเสียความแข็งแรงของโครงสร้างหนืด เมื่อได้รับความร้อนจึงขึ้นรูปยาก (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2562) ด้วยเหตุนี้จึงมีหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ศึกษาเกี่ยวกับการคงรูป การทนน้ำ การทนความร้อนของแป้ง (ชนพล และวรานุช, 2558; วิจิตรา และวชิรญา, 2563; ศศิกานต์, อุดุลย์ และสมพงษ์, 2562) การปรับปรุงสมบัติเชิงกลวัสดุคอมโพสิตที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตัดแปรโครงสร้างของแป้ง การเติมสารเสริมแรงหรือการเติมสารพลาสติกไซเซอร์ เป็นต้น แล้วจึงขึ้นรูปภายใต้ความร้อนและความดันที่เหมาะสม สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเติมสารเสริมแรง

โดยใช้เซลลูโลส นำไปสู่กรรมวิธีในการผลิตวัสดุชีวภาพจากแป้งที่สามารถคงสภาพเมื่อสัมผัสกับน้ำและความร้อน ซึ่งอาจนำไปใช้ในการผลิตวัสดุเพาะปลูกเพื่อทดแทนวัสดุที่ผลิตจากพลาสติก รวมถึงบรรจุภัณฑ์ทนน้ำและทนความร้อนที่สามารถย่อยสลายได้เอง

เซลลูโลสเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบมากในพืช และวัสดุแปรรูปจากพืช รวมถึงสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตร ในเชิงโครงสร้างจะพบเซลลูโลสร่วมกับองค์ประกอบอื่นอีก 2 ชนิด คือ ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส รวมเรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากปริมาณที่พบในโครงสร้างนี้ เซลลูโลสจัดเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมา คือ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามลำดับ สำหรับลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกทำหน้าที่ป้องกันการย่อยสลายของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ส่วนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสนั้นเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว (Zoghalmi & Paës, 2019) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เนื้หลายอุตสาหกรรม เช่น กระดาษ สิ่งทอ การแพทย์ อาหารและเครื่องดื่ม พลังงาน เชื้อเพลิง และวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ณัฐฐา, 2562) เป็นต้น จากการศึกษาที่ผ่านมาในงานทางวัสดุ พบว่า เซลลูโลสที่ผ่านการสกัดเอาลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกแล้วจะมีพื้นผิวเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความหยาบเพิ่มขึ้นทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและสารเนื้อหลักดีขึ้นด้วย (พิมภิญญา, มินตรา และอรชิธา, 2562) อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความทนน้ำ และความคงรูปของวัสดุคอมโพสิตอีกด้วย (Faruk & Ain, 2013) เนื่องจากการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกไปทำให้เกิดพื้นที่ของเซลลูโลสมากขึ้น ส่งผลต่อการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและสารเนื้อหลักได้ดีขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงทำการผลิตและศึกษาสมบัติการทนน้ำและทนต่อความร้อนของวัสดุคอมโพสิตจากแป้งที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสจากพืช สำหรับเซลลูโลสที่นำมาใช้มี 2 ประเภท คือ เซลลูโลสที่มีขนาดเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว โดยทำการเปรียบเทียบเซลลูโลสจากสิ่งเหลือทิ้ง คือ เปลือกตาลสำหรับเส้นใยขนาดสั้น และป่านรามีสําหรับเส้นใยขนาดยาว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสชนิดเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว การเพิ่มความทนน้ำ และการเพิ่มความทนความร้อนของวัสดุคอมโพสิตที่ผลิตขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย การปรับสภาพผิวเซลลูโลสจากใยตาลและป่านรามี การตรวจสอบเซลลูโลสจากใยตาลและป่านรามีหลังการปรับสภาพผิว และการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารองค์ประกอบในการขึ้นรูปตัวอย่าง และการทดสอบสมบัติของวัสดุตัวอย่าง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. การปรับปรุงสภาพผิวเซลลูโลสจากใยตาลและป่านรามี่

วัสดุตัวอย่างในการศึกษานี้เป็นวัสดุผสมระหว่างสารเนื้อหลักและสารเสริมแรง โดยสารเนื้อหลักนั้นเตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch) ส่วนสารเสริมแรง คือ เซลลูโลสจากพืช ซึ่งมี 2 ชนิด คือ เซลลูโลสใยตาลซึ่งเป็นเส้นใยสั้น และเซลลูโลสป่านรามี่ซึ่งเป็นเส้นใยยาว

การสกัดเซลลูโลสนั้น เริ่มจากคัดเลือกพืชวัตถุดิบ สำหรับเส้นใยตาล นำลูกตาลสุกที่เหลือทิ้งจากการยี่เนื้อมาล้างทำความสะอาดเพื่อนำเนื้อจาวตาลที่ติดมาออก จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง แล้วนำเส้นใยออกจากเมล็ดตาล ตากแดดเส้นใยให้แห้งอีกครั้ง โดยเส้นใยตาลที่ผ่านการยี่จะมีความยาวประมาณ 2 cm ส่วนป่านรามี่นั้นคัดเลือกจากลำต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ตัดลำต้นแล้วริดก้านและใบออก นำมาล้างทำความสะอาด ตากแดดให้แห้ง ทูบลำต้นแล้วตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดยาวประมาณ 5-6 cm เพื่อลดการพันกันเป็นก้อนในขณะปรับปรุงสภาพ จากนั้นทำการปรับปรุงสภาพผิวเซลลูโลสจากพืชทั้งสองด้วยวิธีการทางเคมี โดยเริ่มจากกวนเส้นใยในสารละลาย 10% wt. NaOH ที่ 80°C เป็นเวลา 120 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา นำเส้นใยไปล้างด้วยน้ำกลั่น จำนวน 3 ครั้ง แล้วจึงนำไปกวนในสารละลาย 4% vol. H₂SO₄ ที่ 80°C เป็นเวลา 120 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา นำเส้นใยไปล้างด้วยน้ำ จำนวน 3 ครั้ง แล้วจึงฟอกขาวเส้นใยด้วยสารละลาย 10% vol. NaOCl หลังจากการฟอกขาว ชะล้างเส้นใยด้วยน้ำจำนวน 3 ครั้ง ก่อนนำไปอบแห้งที่ 35°C เป็นเวลา 120 นาที

2. การตรวจสอบเซลลูโลสจากใยตาลและป่านรามี่หลังการปรับปรุงสภาพผิว

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพเซลลูโลสที่ได้หลังการปรับปรุงสภาพ ได้แก่ สี ความแข็ง และความยาวของเส้นใย จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณที่ได้จากสมการร้อยละผลผลิต (%yield) ดังสมการที่ 1

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

เมื่อ W_0 หมายถึง น้ำหนักแห้งเซลลูโลสก่อนการปรับปรุงสภาพผิว

W_1 หมายถึง น้ำหนักแห้งเซลลูโลสหลังการปรับปรุงสภาพผิว

ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานของเซลลูโลสหลังการปรับปรุงสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-IT700HR InTouchScope™; JEOL) และตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR) โดยนำเส้นใยตัวอย่างไปทดสอบในช่วงความยาวคลื่น 4000 ถึง 500 cm⁻¹ (Nicolet™ iS50 FTIR Spectrometer, ThermoFischer Scientific) ที่ความละเอียด 8 cm⁻¹

3. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารองค์ประกอบในการขึ้นรูปตัวอย่าง

เตรียมสารละลายแป้งที่อัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 2 และ 1 : 3 นำมาผสมกับเซลลูโลสที่เตรียมไว้ในปริมาณต่างๆ คือ 1% 2% และ 3% wt. เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ แล้วนำมาขึ้นรูปโดย

เทใส่แม่พิมพ์ขนาด 2.5x5x1 cm จนได้วัสดุคงรูปภายใต้ความร้อนที่ 40°C นาน 180 นาที จากนั้นลอกชิ้นตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ สังเกตลักษณะของตัวอย่าง ได้แก่ ความเรียบ ความเข้ากันของแป้งและเซลลูโลส ความเสียหายที่เกิดขึ้น และลักษณะความเสียหาย สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมสารละลายแป้งและเซลลูโลสที่พิจารณาจากการเข้ากันของส่วนผสมของสารทั้งสอง และการกระจายตัวของเซลลูโลสในสารละลายแป้ง

4. การทดสอบสมบัติของวัสดุตัวอย่าง

4.1 การทดสอบความสามารถในการทนน้ำ

นำชิ้นตัวอย่างวางแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที โดยตัดแปลงจากวิธีทดสอบจาก T441 om-13 (2013) แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อครบเวลาทดสอบ โดยสังเกตความเสียหายและลักษณะความเสียหายของตัวอย่าง

4.2 การทดสอบความสามารถในการทนความร้อน

นำชิ้นตัวอย่างไปวางที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 60 นาที โดยตัดแปลงจากวิธีทดสอบจาก T 453 sp-13 (2013) แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อครบเวลาทดสอบ โดยสังเกตความเสียหายและลักษณะความเสียหายของตัวอย่าง

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาลักษณะเซลลูโลสจากใยตาลและจากป่านรามิหลังการปรับสภาพผิว

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและปริมาณของเซลลูโลสจากใยตาลและจากป่านรามิหลังจากการปรับสภาพและฟอกขาวเซลลูโลสแล้ว เมื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพ พบว่าเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนไปจากก่อนการปรับสภาพ ดังภาพที่ 1



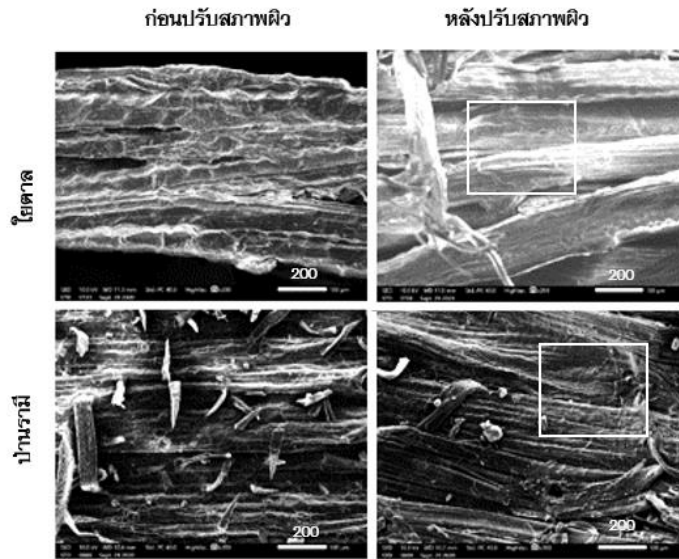
ภาพที่ 1 ลักษณะของเส้นใย ก) ใยตาลก่อนการปรับสภาพผิว ข) ใยตาลหลังการปรับสภาพผิว
ค) ป่านรามิก่อนการปรับสภาพผิว และ ง) ป่านรามิหลังการปรับสภาพผิว

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่า การปรับสภาพผิวทำให้เซลลูโลสมีลักษณะทางกายภาพ คือ สี ความแข็ง และความยาว เปลี่ยนไปจากลักษณะที่เป็นก่อนการปรับสภาพผิว เนื่องจากลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออก จึงทำให้เส้นใยมีความอ่อนตัวและสั้นลง ส่วนสีที่ขาวขึ้นเกิดจากการฟอกขาวด้วย NaOCl โดยมีร้อยละของผลผลิตเซลลูโลสจากใยตาลและจากป่านรามิ เท่ากับ 63.96 และ 72.79 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสหลังการปรับสภาพผิวและฟอกขาว

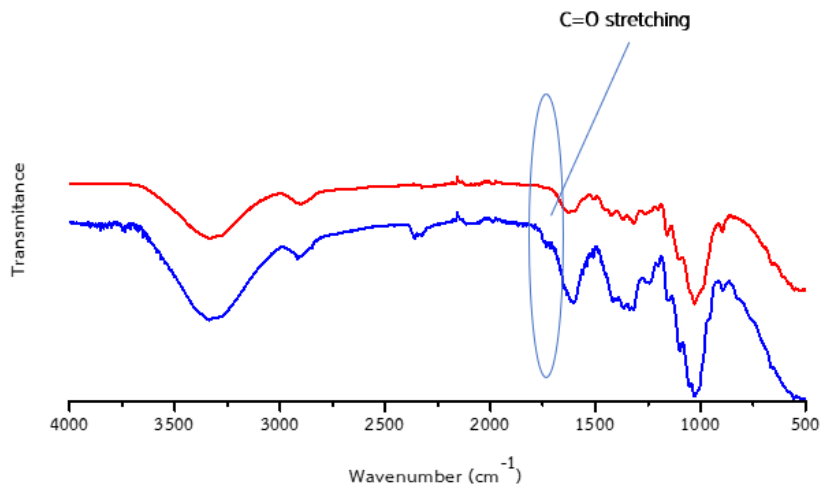
	ลักษณะ	ก่อนการปรับสภาพผิว	หลังการปรับสภาพผิว	ร้อยละผลผลิต
ใยตาล	สี	น้ำตาลเข้ม	ขาวอมเหลือง	63.96
	ความแข็ง	แข็ง	อ่อนตัวลง	
	ความยาว	ยาว	สั้นลง	
ป่านรามิ	สี	น้ำตาลอ่อน	ขาวอมเหลือง	72.79
	ความแข็ง	แข็ง	อ่อนตัวลง	
	ความยาว	ยาว	สั้นลง	

จากการตรวจสอบลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสจากใยตาลและจากป่านรามิด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ก่อนการปรับสภาพจะปรากฏลักษณะของเส้นใยที่มีความเรียบของผิวมากกว่าหลังการปรับสภาพ เนื่องจากยังมีส่วนของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอกของโครงสร้าง ดังภาพที่ 2 (ก่อนปรับสภาพผิว) หลังการปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยสารเคมี พบว่า โครงสร้างเชิงเคมีของลิกนินเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสารเคมีเข้าไปทำลายการยึดเกาะของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่บริเวณผิวนอกของเส้นใยและถูกกำจัดออกไปจนเส้นใยเหลือเพียงเซลลูโลส (Lamaming et al., 2015) ทำให้พบร่องในหลายพื้นที่ ดังที่เห็นได้จากบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมของภาพที่ 2 (หลังปรับสภาพผิว)



ภาพที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานของเซลลูโลสจากใยตาลและจากปลานรามี่ ก่อนปรับสภาพผิว (ที่กำลังขยาย 200 เท่า) และหลังปรับสภาพผิว (ที่กำลังขยาย 200 เท่า)

จากการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสหลังการปรับสภาพผิวด้วยเทคนิค FT-IR พบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดหลังการปรับสภาพ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของเซลลูโลสจากใยตาลก่อนการปรับสภาพ (เส้นบน) และสเปกตรัมหลังการปรับสภาพ (เส้นล่าง)

เนื่องจากเซลลูโลสของพืชทั้งสองมีลักษณะสเปกตรัมที่คล้ายกัน ในที่นี้จึงนำเสนอเพียงสเปกตรัมของเซลลูโลสไยตาล ดังภาพที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงฯ ที่ความยาวคลื่นช่วง 3100–3700 cm^{-1} พบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และที่ช่วงคลื่น 2900–2928 cm^{-1} ยังพบว่า มีการยืดของหมู่เมทิลีน (-CH₂) (Srirachya et al., 2018) ซึ่งเป็นการยืนยันถึงโครงสร้างของเซลลูโลส นอกจากนี้พีคที่ช่วงคลื่น 1725 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิล (C=O) ของเฮมิเซลลูโลสในแถบสเปกตรัมหลังการปรับสภาพ (เส้นบน) นั้นหายไป แสดงว่า เฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกกำจัดออกไป (Srirachya & Nido, 2020; Lamaming et al., 2015) ทำให้เส้นใยเหลือเพียงโครงสร้างของเซลลูโลส

2. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายประกอบในการขึ้นรูปตัวอย่าง

สำหรับสารเนื้อหลัก อัตราส่วนของแป้งและน้ำถูกทดสอบที่อัตราส่วน 1 : 1 : 2 และ 1 : 3 ทั้งนี้อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายแป้งนั้นพิจารณาจากความเข้ากันของแป้งและเซลลูโลส หลังการขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 3 ชั่วโมง แล้วสังเกตความเข้ากันของส่วนผสมทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การกระจายตัวของเซลลูโลสจากไยตาลและจากปานรามิ (1% wt.) ในสารละลายแป้งที่อัตราส่วนต่างๆ

เมื่อพิจารณาความเข้ากันของสารละลายแป้งกับเซลลูโลสที่ปริมาณทดสอบ (1% wt.) พบว่า ที่ทุกอัตราส่วนของสารละลายแป้งนั้นสามารถเข้ากับปริมาณของเส้นใยพืชได้ ดังเห็นได้จากการกระจายตัวที่ดีของเส้นใย ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้อัตราส่วนของสารละลายแป้งที่ 1 : 3 เนื่องจากสารละลายแป้งมีการเข้ากันได้กับเส้นใยมากที่สุด และหากผสมน้ำน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการจับตัวกันของแป้ง ทำให้การกระจายตัวของเส้นใยเกิดได้ไม่ดี จึงเห็นการรวมตัวของเส้นใย ดังภาพที่ 4 ในอัตราส่วน 1 : 1 และ 1 : 2

ใยตาล



ป่านรามิ



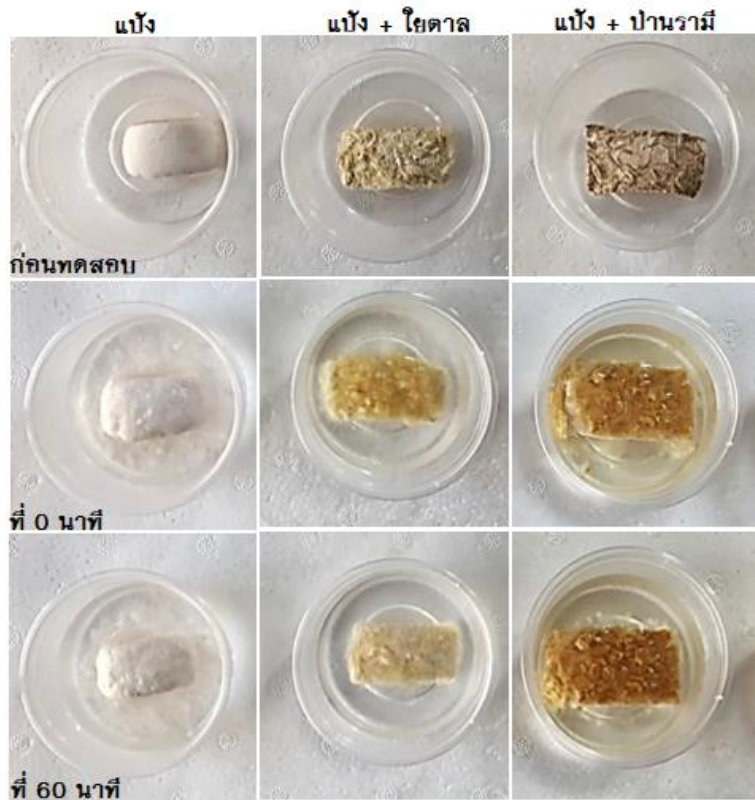
ภาพที่ 5 การกระจายตัวของเซลลูโลสจาก ก) ใยตาล และจาก ข) ป่านรามิ ที่ 1% 2% และ 3% wt. ในสารละลายแบ่งที่อัตราส่วนแบ่ง 1 : น้ำ 3

หลังจากนั้นเปรียบเทียบการเติมเซลลูโลสที่ปริมาณ 1% 2% และ 3% wt. พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเส้นใยเซลลูโลส คือ ที่ 1% wt. ของเซลลูโลสทั้งสองชนิด มีการกระจายตัวทั่วสารเนื้อหลัก ในขณะที่ปริมาณเซลลูโลส 2%–3% wt. นั้น พบการรวมตัวของเส้นใย ดังภาพที่ 5 ทั้งนี้การรวมตัวของเส้นใยตาลจะเห็นได้ชัดเจนกว่าป่านรามิโดยเฉพาะที่ปริมาณเส้นใยที่ 3% wt. เนื่องจากเซลลูโลสมีโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลลูโลสด้วยกัน จึงทำให้เซลลูโลสเกิดการเกาะกลุ่มกัน โดยยิ่งมีปริมาณเซลลูโลสมากจะทำให้การกระจายตัวในสารเนื้อหลักลดลง

3. ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุตัวอย่าง

3.1 ผลการศึกษาการทนต่อน้ำ

จากการตรวจสอบลักษณะเปลี่ยนแปลงของวัสดุตัวอย่างเมื่อสัมผัสกับน้ำตั้งแต่เริ่มต้นจนครบ 60 นาที โดยเปรียบเทียบกับวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยแบ่งเพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลทดสอบการทนต่อน้ำของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเซลลูโลสจากใยตาลและจากปานรามิ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะของวัสดุก่อนการทดสอบ พบว่า วัสดุที่มีเพียงแป้ง มีความโค้งงอเล็กน้อย ในขณะที่วัสดุตัวอย่างที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสทั้งสองชนิดยังคงรูปทรงตามแม่พิมพ์ เมื่อเริ่มการทดสอบ (0 นาที) พบการละลายน้ำของแป้งในวัสดุที่มีเพียงแป้ง เนื่องจากแป้งเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 กลูโคซิดิก (α -1,4 glucosidic linkage) ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้ ส่วนวัสดุตัวอย่างที่ผสมเส้นใยจากเซลลูโลสทั้งสองชนิดยังสามารถคงสภาพ โดยไม่พบการละลายของแป้ง เนื่องจากแป้งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่มีหมู่โครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และเซลลูโลสก็มีโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้วัสดุทั้งสองสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแรงทางกายภาพที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสสามารถทนต่อการละลายน้ำได้ดีกว่าวัสดุที่มีเพียงแป้งเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามพบความเสียหายบริเวณขอบของวัสดุตัวอย่างจากปานรามิ เมื่อครบเวลาทดสอบ

(60 นาที) เนื่องจากเส้นใยตาลเป็นเส้นใยที่มีขนาดสั้นจึงสามารถกระจายตัวในสารเนื้อหลักได้ดีกว่าเส้นใยป่านรามิที่มีขนาดยาว โดยเส้นใยป่านรามินั้นจะเกิดการยึดเกาะระหว่างเส้นใยด้วยตัวเองมากกว่าเส้นใยตาล เพราะการที่เส้นใยมีความยาวจะเกิดการพันกันระหว่างเส้นใยและมีแรงยึดเกาะของพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยด้วยตัวเอง เส้นใยป่านรามิจึงกระจุกตัวอยู่เฉพาะในส่วนกลางทำให้บริเวณขอบเกิดการแยกตัวของแป้งออกมาจากเส้นใยจึงทำให้บริเวณนี้เกิดการละลายน้ำได้แต่อย่างไรก็ตามวัสดุตัวอย่างที่เสริมแรงจากเซลลูโลสทั้งสองสามารถทนต่อน้ำได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุที่มีเพียงแป้ง โดยวัสดุตัวอย่างจากใยตาลสามารถคงรูปได้ดีกว่าวัสดุตัวอย่างจากป่านรามิ จึงเห็นได้ว่าการเติมเส้นใยเซลลูโลสเสริมแรงสามารถเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุที่เตรียมจากแป้งเพียงอย่างเดียว

3.2 ผลการศึกษาการทนความร้อน

จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวัสดุตัวอย่างภายใต้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ตั้งแต่เริ่มต้นจนครบ 60 นาที โดยเปรียบเทียบกับวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยแป้งเพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 7 ก่อนการทดสอบ วัสดุที่มีเพียงแป้งมีรูปทรงตามแม่พิมพ์แต่มีขนาดเล็กกลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดของแม่พิมพ์ โดยพบรอยแตกและรอยโค้งงอตรงกลางเนื่องจากน้ำที่เคยยึดเกาะเนื้อแป้งให้เกิดการคงรูปได้ระเหยออกไปทำให้เกิดช่องว่างและเกิดการแตกหัก ในขณะที่วัสดุคอมโพสิตเซลลูโลสจากใยตาลและจากป่านรามิ มีรูปทรงตามแม่พิมพ์ เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับแป้งจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตยังสามารถคงรูปอยู่ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก โดยเมื่อเทียบจากขนาดวัสดุ คอมโพสิตเซลลูโลสจากป่านรามิ มีขนาดใกล้เคียงกับแม่พิมพ์มากกว่าวัสดุคอมโพสิตเซลลูโลสจากใยตาล เนื่องจากเกิดการโค้งงอของวัสดุบ้างเล็กน้อย หลังการทดสอบพบว่า วัสดุคอมโพสิตเซลลูโลสจากใยตาลมีขนาดหดตัวลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับขนาดก่อนทดสอบ (ทุกชิ้น) ในขณะที่วัสดุคอมโพสิตเซลลูโลสป่านจากรามิ มีขนาดหดตัวลงเพียงเล็กน้อย แต่มีการแตกหักอย่างชัดเจน ส่วนวัสดุที่มีเพียงแป้งมีการเปลี่ยนแปลง คือ การหดตัว และมีรอยแตกกว้าง



ภาพที่ 7 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเซลลูโลสจากใยตาลและจากป่านรามิ หลังผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 60 นาที

อภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการเพิ่มสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกายภาพของแป้ง เพื่อนำไปผลิตเป็นวัสดุซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้เอง รวมถึงบรรจุภัณฑ์ทนต่อน้ำและความร้อน

ผลการทดสอบสมบัติการคงรูปหลังการขึ้นรูปที่มีการเสริมแรงวัสดุคอมโพสิตจากแป้งด้วยเซลลูโลสนี้ พบว่า สมบัติดังกล่าวของวัสดุดีขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่มีแป้งเพียงอย่างเดียว การเสริมแรงด้วยเซลลูโลสทั้งชนิดเส้นใยสั้นและเส้นใยยาวทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างเซลลูโลสและสารเนื้อหลัก ส่งผลต่อการคงรูปที่ดีขึ้นโดยพบความเสียหายหลังการขึ้นรูปเพียงเล็กน้อย โดยที่ไม่พบการหดตัวขณะขึ้นรูปของแป้ง

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อน้ำที่มีการเสริมแรงด้วยเซลลูโลส พบว่า สามารถเพิ่มสมบัติการทนต่อน้ำของวัสดุคอมโพสิตจากแป้ง โดยวัสดุที่ได้รับการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสยังสามารถคงรูปเมื่อได้รับการสัมผัสกับน้ำ ซึ่งการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสขนาดเส้นใยสั้นนั้นสามารถเพิ่มความเสถียรของวัสดุในการทนต่อน้ำได้ดีกว่า เมื่อทำการทดสอบที่ช่วงเวลาเดียวกัน

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อความร้อนที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย พบว่า สามารถเพิ่มสมบัติการทนความร้อนวัสดุคอมโพสิตจากแป้ง โดยวัสดุที่ได้รับการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสยังสามารถคงรูปภายใต้อุณหภูมิ 100°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล โดยเซลลูโลสขนาดเส้นใยสั้นนั้นสามารถเพิ่มความเสถียรของวัสดุในการทนต่อความร้อนได้ดีกว่า ณ ช่วงเวลาทดสอบเดียวกัน

ทั้งนี้กระบวนการผลิตได้เน้นกรรมวิธีที่ง่ายและมีต้นทุนการผลิตต่ำ หลังการละลายแป้งด้วยน้ำและผ่านการให้ความร้อนเพื่อขึ้นรูป การให้ความร้อนเป็นการตัดแปรงแป้งด้วยการลดความชื้นให้อยู่ในระดับต่ำ (เขมจิราณัฐ, 2560) ที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาคิโนเซนชันของสตาร์ช (65°C) ภายในระยะเวลาการตัดแปรงที่แน่นอน ความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำระเหยออกจากวัสดุ วัสดุจึงมีความชื้นลดลง ด้วยองค์ประกอบในเชิงโครงสร้าง เมื่อให้ความร้อนกับแป้งไปเรื่อยๆ จะเกิดการแตกตัวของโครงสร้างผลึกและส่วนกิ่งก้านของโมเลกุลอะไมโลเพคตินที่แตกออกมาจะถูกโมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปจนเกิดการพองตัวไปเนวรอบๆ เม็ดแป้ง ประกอบกับสมบัติในการคืนตัวที่ต่ำหลังเกิดการพองตัว เมื่อสิ้นสุดการขึ้นรูปวัสดุจึงอยู่ในสถานะของแข็งภายใต้การให้ความร้อนหรือการสัมผัสกับน้ำ โมเลกุลของเม็ดแป้งจะขยายตัว ส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ง่าย แต่เมื่อทำการเสริมแรงด้วยเซลลูโลส ด้วยลักษณะสัณฐานของเซลลูโลสที่ผ่านการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสแล้ว จึงมีรูพรุนที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้เซลลูโลสยังมีโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแป้งที่เป็นสารเนื้อหลัก ซึ่งมีโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เช่นเดียวกัน จึงเกิดแรงระหว่างโมเลกุลเกิดการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับสารเนื้อหลัก และระหว่างเส้นใยกับเส้นใยด้วยกัน ส่งผลให้สามารถทนน้ำ (Arifin et al., 2022)

และความร้อนได้ดีขึ้น (บุญรักษ์, 2004) นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสใยตาล มีสมบัติดีกว่า เนื่องจากเป็นเซลลูโลสที่มีขนาดสั้น จึงมีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยด้วยกันเองเกิดได้น้อยกว่าเส้นใยที่มีขนาดยาว จึงสามารถกระจายตัวในสารเนื้อหลักได้ดีกว่า และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารเนื้อหลักและสารเสริมแรงได้มากกว่า

สรุปผลการวิจัย

วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสชนิดเส้นใยสั้น (ใยตาล) และเซลลูโลสชนิดเส้นใยยาว (ปานรามิ) ที่เตรียมได้ทำให้วัสดุคอมโพสิตจากแป้งมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่ได้รับการเสริมแรง โดยพบว่า วัสดุคอมโพสิตมีความเสถียรของรูปร่างหลังการทดสอบ โดยการเสริมแรงวัสดุคอมโพสิตจากแป้งด้วยเซลลูโลสทำให้สมบัติการคงรูป การทนน้ำ และการทนความร้อนดีขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่มีแป้งเพียงอย่างเดียว โดยการเสริมแรงด้วยเซลลูโลสชนิดเส้นใยสั้น (ใยตาล) ด้วยปริมาณเส้นใยเซลลูโลสที่ 1% wt. สามารถเพิ่มสมบัติการคงรูป การทนน้ำ และการทนความร้อนที่ดีกว่าวัสดุที่เสริมแรงด้วยเซลลูโลสชนิดเส้นใยยาว (ปานรามิ) ในปริมาณเดียวกัน ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ในการพัฒนาเป็นวัสดุเพาะปลูกเพื่อทดแทนวัสดุที่ผลิตจากพลาสติก รวมถึงบรรจุภัณฑ์ทนน้ำและทนความร้อนที่สามารถย่อยสลายได้เอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีสำหรับทุนอุดหนุนงานวิจัย ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ดำเนินการวิจัย นางสาวพนิดา ทองแท้ และป้าพี่ ชุมชนบ้านหนองบัว ในความอนุเคราะห์ใยตาลและปานรามิ

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2562). **ไบโอพลาสติก**. สืบค้นเมื่อ 2 ธันวาคม 2564, จาก http://innovation.dip.go.th/innovation/?page_id=1094.
- เชมจิราณัฐ ชัชวาลย์. (2560). **การดัดแปรสตรัคเจอร์ไขมันสำปะหลังด้วยวิธีการคั่วในภาชนะแบบเปิด**. (ปริญญา นิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร.
- ณัฐธรา กล้านรงค์. (2562). **การเตรียมแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ด้วยกระบวนการพลาสมาวิภาคของเหลวสำหรับใช้งานด้านฟิล์มห่อหุ้มอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ**. (ปริญญา นิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี.
- ธนพล รัตนจรัสโรจน์, และวรรณุช ศรีเจษฎารักษ์. (2558). ผลของสภาวะการแปรสภาพแป้งมันสำปะหลังต่อปริมาณแป้งทนการย่อย. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2558** (น. 394–401) กรุงเทพฯ ฯ: มหาวิทยาลัยรังสิต.

- บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2004). **โพลีเมอร์คอมโพสิต**. สืบค้นเมื่อ 6 พฤษภาคม 2564, จาก http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=1608&Itemid=9.
- พิมพ์นิจภา กันหาตง, มินตรา พิเกาะ, และอรธีรา สิ้นด้านจาก. (2562). **ฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสเปลือกทุเรียน**. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, 13(1), 39–50.
- วิจิตรา เหลียวตระกูล, และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2563). **ผลของวิธีการตัดแปรงด้วยกรดและพรีเจลาตินในเซชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจับ**. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 15(2), 82–95.
- ศศิกานต์ สุวรรณประทีป, อตุลย์ หาญวังม่วง, และสมพงษ์ พิริยานนต์. (2562). **การผลิตโฟมบรรจุภัณฑ์จากแป้งข้าวเจ้าผสมด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากผักตบชวา** (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
- Arifin, H.R., Djali, M., Nurhadi, B., Hasim, S.A., Hilmi, A., & Puspitasari, A.V. (2022) Improved properties of corn starch-based bio-nanocomposite film with different types of plasticizers reinforced by nanocrystalline cellulose, *International Journal of Food Properties*, 25(1), 509–521.
- Faruk, O., & Ain, M.S. (2013). **Biofiber reinforced polymer composites for structural applications**. In Uddin, N. (Ed). *Developments in fiber-reinforced polymer (FRP) composites for civil engineering* (pp. 18–53). Woodhead Publishing.
- Lamaming, J., Hashim, R., Sulaiman, O., Leh, C.P., Sugimoto, T., & Nordin, N.A. (2015). Cellulose nanocrystals isolated from oil palm trunk. *Carbohydrate Polymers*, 127, 202–208.
- Srirachya, N., Boonkerd, K., Nakajima, L., & Kobayashi, T. (2018). Bio-composite hydrogels of cellulose and vulcanized natural rubber with nanointerconnected layers for reinforced water-retaining materials. *Polymer Bulletin*, 75(12), 5493–5512.
- Srirachya, N., & Nido, A. (2020). The Green Preparation of Cellulose Fibrils from Oil Palm Leaf Stalk Fibers for Hydrogel Applications. *Key Engineering Materials*, 841, 103–107.
- T441 om-13. (2013). **Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fiberboard (Cobb test)**. Retrieved November, 7, 2021, from <https://www.tappi.org/content/tag/sarg/t441.pdf>.
- T453 sp-13. (2013). **Effect of dry heat on properties of paper and board**. Retrieved November, 7, 2021, from <https://www.tappi.org/content/tag/sarg/t453.pdf>.
- Zoghalmi, A., & Paës, G. (2019). Lignocellulosic biomass: understanding recalcitrance and predicting hydrolysis. *Frontiers in Chemistry*, 7, <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00874>.