



การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพผสมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเซลลูโลสที่สกัดจากก้านใบบัวหลวง

Preparation of Eco-friendly Blended Bioplastic Film between Blend of Polyvinyl Alcohol and Cellulose Extracted from *Nelumbo nucifera* Gaertn Stalk

พชรวรรณ รัตนทรงธรรม*

Pacharawan Ratanasongtham*

หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage, Khlong Luang, Pathum Thani 13180, THAILAND

*Corresponding author e-mail: pacharawan@vru.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: June 21, 2022

Revised: August 29, 2022

Accepted: September 8, 2022

Available online: September 23, 2022

DOI: 10.14456/jarst.2022.15

Keywords: bioplastic, *Nelumbo nucifera* Gaertn stalk, cellulose, polyvinyl alcohol

This research aims to prepare the eco-friendly blended biofilm between polyvinyl alcohol (PVA) and cellulose (CL) isolated from the *Nelumbo nucifera* Gaertn stalk using sodium hydroxide. Then, the stalk fiber was bleached treatment with hydrogen peroxide. The highest cellulose content was archived at 21.47±1.53 % w/w of dry lotus stalk. The blended biofilms at different weight ratios i.e., 90:10 (PVA-CL10) 80:20 (PVA-CL20) 70:30 (PVA-CL30) 60:40 (PVA-CL40) and 50:50 (PVA-CL50) were prepared by solution-casting method. The result of structural analysis by the FT-IR technique indicated that the CL extraction process mentioned above efficiently eliminated hemicellulose and lignin components from lotus fiber. The result of a film morphology study using a Scanning Electron Microscope (SEM) indicated that the surface characteristic of films became rougher when the amount of CL increased. The water absorption and water vapor

permeability testing showed that the water absorption of PVA-CL films at all ratios decreased compared to the PVA control film. The percent water absorption of PVA-CL films increased with the enhancement of CL content, while the water vapor transmission (WVTR) rate decreased. The highest percent water absorption (97.49 ± 0.29) and WVTR (358 g/hr. m^2) were achieved from PVA-CL50 and PVA-CL10 films, respectively. In addition, the result of the biodegradability analysis indicated that PVA-CL films with a high content of CL possess good biodegradability corresponding to the water absorption property of the film.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมฟิล์มชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเซลลูโลส (CL) ที่สกัดจากก้านใบบัวหลวงโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นพอกขบวนการด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณของเซลลูโลสที่สกัดได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 21.47 ± 1.53 ต่อน้ำหนักแห้งของก้านใบบัวหลวง เตรียมฟิล์มชีวภาพผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยน้ำหนัก คือ 90:10 (PVA-CL10) 80:20 (PVA-CL20) 70:30 (PVA-CL30) 60:40 (PVA-CL40) และ 50:50 (PVA-CL50) ด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูปด้วยสารละลาย จากการวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าการสกัดเซลลูโลสด้วยกระบวนการข้างต้นสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากเส้นใยก้านใบบัวหลวงได้ดี ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยเครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจะมีความขรุขระมากขึ้นเมื่อปริมาณของ CL เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มแสดงให้เห็นว่า ฟิล์ม PVA-CL ในทุกอัตราส่วน จะมีค่าการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์ม PVA และเมื่อเพิ่มปริมาณ CL จะส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของฟิล์มมีค่าสูงขึ้น แต่ความสามารถใน

การแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจะลดลง โดยฟิล์มที่มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำและความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำสูงที่สุด คือฟิล์ม PVA-CL50 (97.49 ± 0.29) และ PVA-CL10 (358 g/hr. m^2) ตามลำดับ โดยฟิล์มที่มีปริมาณ CL มากจะสามารถย่อยสลายในธรรมชาติได้ดี

คำสำคัญ: พลาสติกชีวภาพ ก้านใบบัวหลวง เซลลูโลส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

บทนำ

ผลิตภัณฑ์พลาสติก เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการสังเคราะห์สารเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ถึงแม้ว่าวัสดุดังกล่าวจะมีจุดเด่นและมีสมบัติที่มนุษย์พึงพอใจก็ตาม แต่วัสดุสังเคราะห์ประเภทนี้เมื่อผ่านการใช้งานแล้วจะกลายเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้หรืออาจจะย่อยสลายได้แต่ต้องใช้เวลายาวนาน นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขยะซึ่งเป็นสาเหตุในการก่อมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาสมบัติของพลาสติกให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และยังมี การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มพลาสติกให้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในแต่ละด้านต่อไป [1] พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปริมาณขยะจากพลาสติกได้ เนื่องจากเป็นพลาสติกที่เตรียมขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ

โดยส่วนใหญ่จะได้มาจากส่วนประกอบของพืช หรือสัตว์ เช่น แป้ง เส้นใยจากพืช โปรตีนจากสัตว์ เป็นต้น พลาสติกชีวภาพจึงเป็นวัสดุทางเลือกที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน เช่น วัสดุทางการแพทย์ วัสดุทางการแพทย์ อุตสาหกรรมยา หรืออุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น โดยการเตรียมพลาสติกชีวภาพจะคำนึงถึงความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ด้านต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ และสมบัติเชิงโครงสร้าง เป็นต้น [2] เซลลูโลส เป็นสารชีวโมเลกุลประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง จัดเป็นเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ และไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เซลลูโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ กลูโคส ชนิด β -D-glucose ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1, 4- β ไกลโคซิดิก เกิดเป็นสายโซ่ของเซลลูโลสที่มีหมู่ -OH จำนวนมากและมีความแข็งแรง แต่ละสายโซ่จะเรียงขนานกันโดยเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ ทำให้เกิดโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นเส้นใย [3] เซลลูโลส เป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้มาจากพืชพบได้มากในบริเวณผนังเซลล์ของพืช เนื่องจากเซลลูโลสมีคุณสมบัติเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายในน้ำและมีความเป็นผลึกสูง ปัจจุบันจึงนิยมนำเซลลูโลสมาใช้ในอุตสาหกรรมทดแทนการใช้พลาสติกสังเคราะห์ เช่น เป็นส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์อาหาร บรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ หรือวัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น [4] พืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงโดยส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่มเส้นใย อาทิเช่น อ้อย ผักตบชวา ฟางข้าว กาบกล้วย หรือใบสับปะรด เป็นต้น [5, 6]

จังหวัดปทุมธานี มีดอกไม้ประจำจังหวัด คือ บัวหลวง ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Nelumbo nucifera* ชื่อวงศ์: NYMPHACACEAE ชื่อสามัญทั่วไปคือ Sacred lotus คุณประโยชน์หลักของบัวหลวง ได้แก่ ส่วนดอกนิยมนำมาใช้บูชาพระหรือใช้ในพิธีกรรมทางศาสนา บัวหลวงมีสรรพคุณทางยา เกสรบัวหลวงเป็นองค์ประกอบใน

เกสรทั้งห้า ใช้เป็นยาบำรุงหัวใจ บำรุงกำลัง แก้อาการหน้ามืด วิงเวียนศีรษะ [7] บริเวณลำต้นและก้านใบเป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยสูง [8] จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการทำกระดาษ และเส้นใยสิ่งทอ เป็นต้น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic Polymer) ที่ละลายน้ำได้ง่าย เป็นพอลิเมอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในทางอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร อุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ เนื่องจากมีคุณสมบัติโดดเด่น คือ สมบัติด้านการยึดติดทางชีวภาพ ง่ายต่อการขึ้นรูป และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี นอกเหนือจากนี้ PVA ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรม เนื่องจากความไม่เป็นพิษ และไม่เปื้อนสารก่อมะเร็งอีกด้วย [9] จากงานวิจัยที่ผ่านพบว่ามีการเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสที่สกัดจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เยื่อกระดาษ [10] ลำไย [11] และเศษฟางจากพืช [12] เป็นต้น เพื่อศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติแผ่นฟิล์มให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ

จากประโยชน์ ของเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดังที่ได้กล่าวมา ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาวิธีการสกัดแยกเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวงให้อยู่ในรูปของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น โดยศึกษากระบวนการสกัดเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมากในจังหวัดปทุมธานี เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสที่สกัดจากก้านใบบัวหลวง ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมระหว่าง PVA และเซลลูโลสที่สกัดจากก้านใบบัวหลวงมาก่อน จากนั้นศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมได้ ได้แก่ คุณสมบัติเชิงโครงสร้าง สัณฐานวิทยาของฟิล์ม ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำ และความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์ม เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทดแทน

พลาสติกสังเคราะห์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเหลือทิ้งทางการเกษตรอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างก้านใบบัวหลวง

เก็บตัวอย่างก้านใบบัวหลวงปทุมธานีพันธุ์สีชมพู จากบริเวณสระน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ มาล้างด้วยน้ำสะอาดและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3 เซนติเมตร นำไปตากให้แห้งเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปปั่นให้ละเอียดและเก็บผงตัวอย่างในโถดูดความชื้นก่อนนำไปใช้ในการสกัดเซลลูโลสต่อไป

การสกัดเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง [13]

ซึ่งผงก้านใบบัวหลวงน้ำหนัก 50.00 กรัม ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ในอัตราส่วนผงก้านใบบัวหลวงต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ต่อ 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้สารแขวนลอยสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมากรองแยกเยื่อออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างมีสภาพเป็นกลาง ทดสอบความเป็นกลางของน้ำล้างด้วย pH meter นำเยื่อที่กรองแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นเส้นใยที่ได้ด้วยเครื่องปั่นก่อนนำมาฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองเยื่อที่ได้อีกครั้งด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำกลั่นและทดสอบความเป็นกลางของน้ำล้างด้วย pH meter นำเส้นใยที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นเส้นใยที่ได้ให้ละเอียดอีกครั้ง ก่อนนำไปคัดแยกขนาดอนุภาค

ของผงเซลลูโลสที่สกัดได้ให้มีขนาด 150 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องแยกขนาดสาร คำนวณร้อยละผลผลิตของเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากสมการที่ (1)

$$\% \text{ Yield} = \frac{W_c}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักของก้านใบบัวหลวงก่อนการสกัด (กรัม)
 W_c คือ น้ำหนักของเซลลูโลสที่สกัดได้ (กรัม)

การเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง

1. การเตรียมสารละลายเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง

เตรียมสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งผงเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวงน้ำหนัก 0.50 กรัม ละลายในสารละลายผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์น้ำหนัก 6.00 กรัมผสมกับยูเรีย 4.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร) คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปรับ pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6 โมลาร์ คนสารละลายอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2. การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เตรียมสารละลาย PVA ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตร โดยซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มา 2.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนสารละลายอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนกระทั่งได้สารละลายใส

3. การเตรียมฟิล์มชีวภาพผสมระหว่าง PVA และเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง (PVA-CL)

ผสมสารละลาย PVA และ CL ที่เตรียมไว้ใน

อัตราส่วนต่าง ๆ โดยน้ำหนัก คือ 90:10 (PVA-CL10) 80:20 (PVA-CL20) 70:30 (PVA-CL30) 60:40 (PVA-CL40) และ 50:50 (PVA-CL50) ดังแสดงในตารางที่ 1 ปรับปริมาตรรวมสารละลายเป็น 40 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น (น้ำหนักเนื้อสารรวมเท่ากับ 0.20 กรัม) เพื่อควบคุมความหนาของฟิล์ม คนสารละลายให้เป็นเนื้อ

เดียวกันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วเทลงในแม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อนสุญญากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลอกเก็บฟิล์มที่เตรียมได้ในโถดูดความชื้นก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มต่อไป

ตารางที่ 1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกชีวภาพผสม (PVA-CL) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

สูตรพอลิเมอร์ผสม	2% w/v PVA		0.5% w/v CL		น้ำกลั่น ปริมาตร (mL)
	น้ำหนักสาร (g)	ปริมาตร (mL)	น้ำหนักสาร (g)	ปริมาตร (mL)	
PVA	0.20	10.00	-	-	30.00
CL	-	-	0.20	40.00	-
PVA-CL10	0.18	9.00	0.02	4.00	27.00
PVA-C 20	0.16	8.00	0.04	8.00	24.00
PVA-C 30	0.14	7.00	0.06	12.00	21.00
PVA-CL40	0.12	6.00	0.08	16.00	18.00
PVA-CL50	0.10	5.00	0.10	20.00	15.00

การทดสอบคุณสมบัติฟิล์ม PVA-CL

1. การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารที่เป็นองค์ประกอบในฟิล์มชีวภาพผสม PVA-CL ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในรูปแบบ Attenuated Total Reflectance (ATR) โดยช่วงสเปกตรัมที่บันทึกอยู่ในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm^{-1}

2. การศึกษาสัณฐานวิทยา

ศึกษาลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-CL ที่เตรียมได้ในแต่ละอัตราส่วน โดยใช้เครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope, FESEM) รุ่น JEOL/JSM-7610F ที่กำลังขยาย 5000 เท่า กำลังไฟฟ้า 1 kV ตัดฟิล์มตัวอย่างขนาดประมาณ 1 x 1 cm และนำไปทำการฉาบผิวด้วยทองคำด้วยเครื่อง sputter-coater ก่อนนำไปทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

3. การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ [14]

การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์ม ทำได้โดยวิธีการวิเคราะห์ที่โดยน้ำหนักโดยตัดฟิล์มตัวอย่าง ขนาด 4x4 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 ชิ้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้นก่อนนำไปทดสอบ ชั่งน้ำหนักของฟิล์มก่อนการดูดซับน้ำ (W_0) จากนั้นแช่ฟิล์มตัวอย่างในกล่องพลาสติกที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา วางฟิล์มที่ดูดซับน้ำแล้วบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำฟิล์มและกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณน้ำหนักฟิล์มที่หักลบกับน้ำหนักกระดาษกรองแล้วบันทึกเป็นค่า W_1 คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มได้จากสมการที่ (2)

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักฟิล์มทดสอบก่อนการดูดซับน้ำ (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักฟิล์มทดสอบหลังการดูดซับน้ำ (กรัม)

4. ศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำ [15]

ศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจากอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์ม (Water Vapor Transmission rate; WVTR) โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric Method) ทำการตัดฟิล์มตัวอย่าง PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ตัวอย่างละ 3 ชิ้น แล้วนำไปใช้เป็นฟิล์มสำหรับปิดปากกล่องพลาสติกที่มีเม็ดซิลิกาเจลบรรจุอยู่ 1.00 กรัม ปิดขอบซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างฟิล์มกับภาชนะให้สนิทด้วยพาราฟิล์ม ชั่งน้ำหนักกล่องที่ปิดสนิทด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกที่แน่นอนเป็นน้ำหนักเริ่มต้น นำไปวางในโถดูดความชื้นที่บรรจุโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว จากนั้นนำกล่องพลาสติกออกมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน คำนวณค่าอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจากสมการที่ (3)

$$WVTR = \frac{G}{tA} \quad (3)$$

เมื่อ WVTR คือ อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำ (กรัมต่อชั่วโมง ตารางเมตร; $g/hr.m^2$)

G คือ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของกล่องพลาสติก(กรัม)

t คือ เวลา (ชั่วโมง)

A คือ พื้นที่ของการแพร่ผ่านหรือพื้นที่ของปากกล่องพลาสติก (ตารางเมตร)

5. การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์ม [16]

ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยกระบวนการฝังดินของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยตัดฟิล์มขนาด 4x4 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 ชิ้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที นำฟิล์มตัวอย่างใส่ในถุงตาข่าย บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของแผ่นฟิล์มและถุงตาข่าย (A_0) จากนั้นชั่งดินน้ำหนัก 500 กรัม ใส่ในถุงเพาะชำ นำฟิล์มตัวอย่างที่อยู่ในถุงตาข่ายฝังลงในดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน

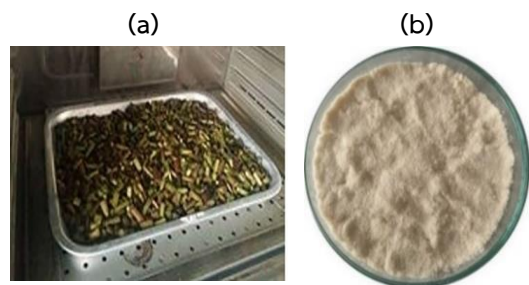
ประมาณ 10 เซนติเมตร กลบด้วยดินและตั้งทิ้งไว้ในสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร ไม่มีการให้น้ำ จนครบระยะเวลาที่กำหนด คือ 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำฟิล์มตัวอย่างและถุงตาข่ายที่กำจัดเศษวัสดุอื่น ๆ ที่ปนมากับฟิล์มตัวอย่างออก นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำฟิล์มไปชั่งและบันทึกน้ำหนักหลังการฝังดินของฟิล์มตัวอย่าง (A_1) คำนวณการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มโดยใช้สมการดังนี้

$$\% \text{ Biodegradability} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (4)$$

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การสกัดเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง

การสกัดเซลลูโลสจากก้านใบของดอกบัวหลวงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และ ฟอกขาวเส้นใยด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร เมื่อคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสที่ได้ มีค่าเท่ากับ 21.47 ± 1.53 ต่อน้ำหนักแห้งของก้านใบบัวหลวง เซลลูโลสที่สกัดได้มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อนละเอียดขนาดอนุภาคเท่ากับ 150 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 1

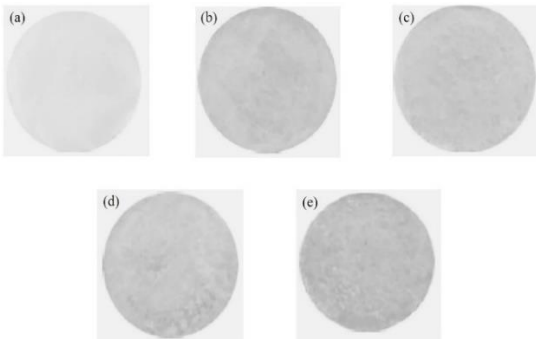


รูปที่ 1 รูปแสดงลักษณะของ (a) ก้านใบบัวหลวงปทุมธานีพันธุ์สีชมพู (b) ผงเซลลูโลสที่สกัดจากก้านใบบัวหลวง

การเตรียมฟิล์มชีวภาพผสม PVA-CL

การเตรียมฟิล์มชีวภาพ PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทำได้โดยใช้วิธีการหล่อขึ้นรูปด้วยสารละลาย ผล

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มชีวภาพ PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ แสดงดัง รูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (a) PVA-CL10 (b) PVA-CL20 (c) PVA-CL30 (d) PVA-CL40 และ (e) PVA-CL50

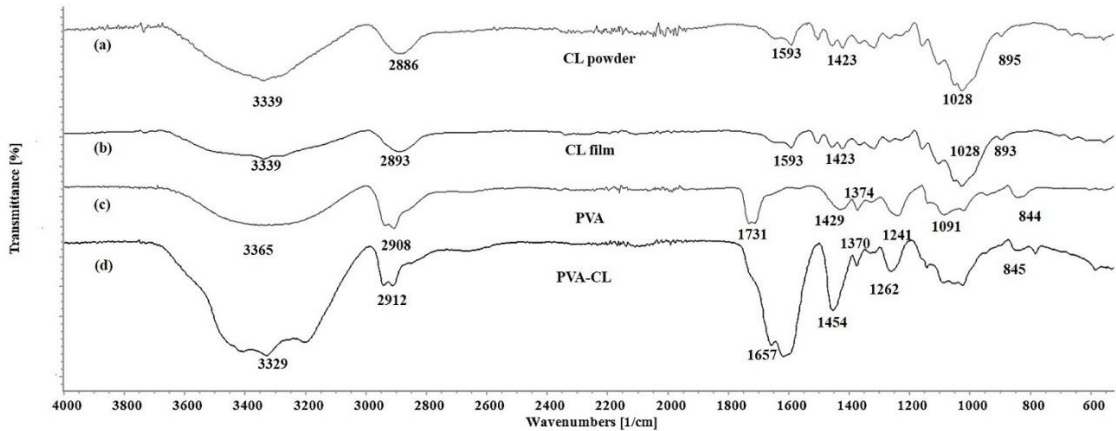
จากภาพแสดงให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพผสม PVA-CL สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ในทุกอัตราส่วนสามารถลอกฟิล์มออกจากแม่พิมพ์ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก โดยพื้นผิวของฟิล์มจะมีความขรุขระและความเปราะแตกมากขึ้นเมื่อปริมาณเซลลูโลสในฟิล์มเพิ่มขึ้น

การศึกษาคุณสมบัติฟิล์มชีวภาพ PVA-CL

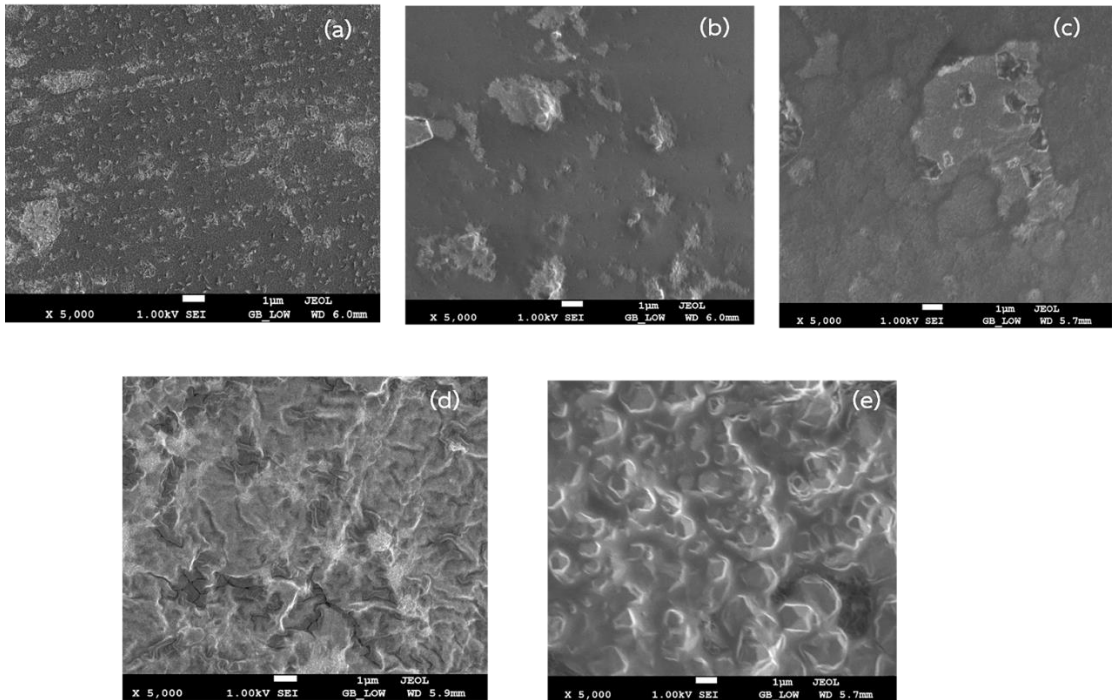
1. การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันหลักของฟิล์ม

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของเซลลูโลสที่สกัดจากก้านใบบัวหลวง ฟิล์ม CL ฟิล์ม PVA และฟิล์ม PVA-CL ด้วยเทคนิค FTIR ในช่วงเลขคลื่น 4000-600 cm^{-1} ผล FT-IR สเปกตรัม แสดงดังรูปที่ 3 โดย FTIR สเปกตรัมของผงเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวงและฟิล์ม CL (รูปที่ 3a, b) ปรากฏพิกสำคัญที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ ได้แก่ 3339 cm^{-1} (-OH stretching), 2886 และ 2893 cm^{-1} (C-H stretching), 1423 cm^{-1} (C-H bending) 1028 cm^{-1} (C-O-C stretching) และที่ตำแหน่ง 895 และ 893 cm^{-1} (β -glycosidic linkage) [17] ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันสำคัญของเซลลูโลสทางการค้า [18] นอกจากนี้สเปกตรัมของเซลลูโลสที่สกัด

จากก้านใบบัวหลวง ยังไม่พบพิกที่ตำแหน่ง $\sim 1700 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพิกที่แสดงถึงการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิล (-C=O) ในเอมิเซลลูโลสหรือลิกนิน และที่เลขคลื่น $\sim 1200 \text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงถึงกลุ่ม COO ในเอมิเซลลูโลส แสดงว่าการฟอกเส้นใยด้วยกระบวนการข้างต้นสามารถกำจัดเอมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากเส้นใยก้านใบบัวหลวงได้ดี (19) ฟิล์ม PVA (รูปที่ 3c) ปรากฏพิกสำคัญที่ตำแหน่ง 3365 cm^{-1} (-OH stretching), 2908 cm^{-1} (C-H stretching), 1731 cm^{-1} (C=O stretching), 1429, 1374 และ 1241 cm^{-1} (C-H₂ bending), 1091 cm^{-1} (C-OH stretching) และ 844 cm^{-1} (C-C stretching) (20) จากผลการศึกษา FTIR สเปกตรัมของฟิล์มผสม PVA-CL (รูปที่ 3d) พบพิกที่แสดงถึงการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH stretching) ที่ตำแหน่ง 3329 cm^{-1} และพิกมีความกว้างมากขึ้นเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นจากหมู่ไฮดรอกซิลของ PVA และเซลลูโลส ซึ่งการเกิดพันธะไฮโดรเจนดังกล่าวทำให้การสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ในแผ่นฟิล์ม PVA-CL ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม CL และ PVA พิจารณาได้จากความสูงของพิกที่ตำแหน่ง ~ 2900 ลดลงและเกิดการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่สูงขึ้น (2912 cm^{-1}) แสดงถึงการเกิดแรงกระทำระหว่าง PVA และ C-H₂ ในเซลลูโลส [21, 22] นอกจากนี้ยังปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 1657 cm^{-1} ที่แสดงถึงการสั่นแบบยืดของพันธะ H-O-H ของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างรวมทั้งแผ่นฟิล์ม PVA-CL ยังปรากฏพิกที่แสดงถึงลักษณะสำคัญของโมเลกุล PVA ได้แก่ พิกที่ตำแหน่ง 1454, 1370 และ 1262 cm^{-1} (C-H₂ bending) และ 1088 cm^{-1} (C-OH stretching) จากผล FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม PVA-CL แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเซลลูโลสเกิดการรวมตัวและสร้างพันธะระหว่างสายโซ่ทำให้เกิดการขึ้นรูปเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมได้ [12]



รูปที่ 3 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ผงเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวง (b) फिल्म CL (c) फिल्म PVA และ (d) फिल्म PVA-CL



รูปที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวด้านบนของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (a) PVA-CL10, (b) PVA-CL20, (c) PVA-CL30, (d) PVA-CL40 และ (e) PVA-CL50

2. สัณฐานวิทยาของฟิล์ม

การศึกษาสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันที่กำลังขยาย 5000 เท่า แสดงดังรูปที่ 4 จากภาพ SEM แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม PVA-CL จะมีความขรุขระเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม PVA-CL ที่

อัตราส่วนต่าง ๆ (รูปที่ 2) โดยฟิล์ม PVA-CL10 จะมีพื้นผิวเรียบเนียน เนื่องจากสารละลาย PVA และ CL ยังสามารถละลายเข้ากันได้ดี แต่เมื่อปริมาณของ CL ในฟิล์มผสมเพิ่มขึ้น ฟิล์มจะเริ่มมีพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสทำให้ความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของเซลลูโลสในสารละลายต่ำลง และในกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูปด้วยสารละลายจะมีการกำจัดน้ำออกจากฟิล์ม ฟิล์มจึงมีส่วนที่

มีความเป็นผลึกมากขึ้น ความขรุขระบริเวณพื้นผิวของฟิล์ม อาจเป็นผลเนื่องมาจากการแยกเฟสบางส่วนระหว่างเฟสของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสในฟิล์ม [23]

3. ความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์ม

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (% Water Absorption) ของฟิล์มทดสอบ PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละการดูดซับน้ำของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

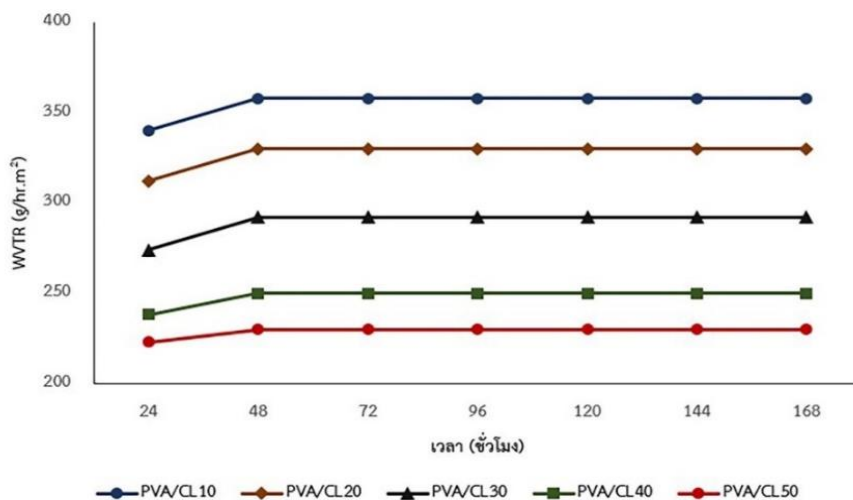
ฟิล์ม	% Water adsorption
PVA	151.29 ± 0.78
CL	90.18 ± 0.67
PVA-CL10	92.16 ± 0.37
PVA-CL20	93.15 ± 0.20
PVA-CL30	94.31 ± 0.21
PVA-CL40	96.61 ± 0.30
PVA-CL50	97.49 ± 0.29

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์ม PVA จะมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด (151.29 ± 0.78%) เนื่องจากโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ และฟิล์ม

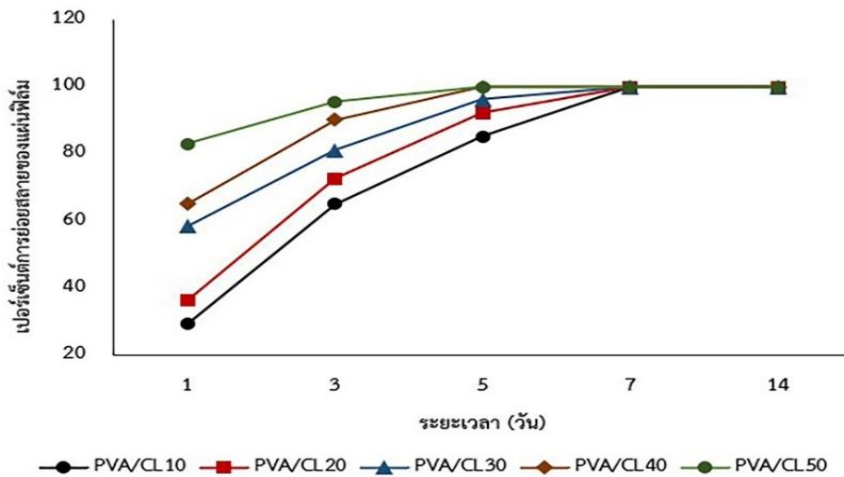
CL จะมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากโมเลกุลของ CL มีความเป็นผลึกสูง ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปในฟิล์มได้ยาก เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มชีวภาพผสม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อปริมาณ CL เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากฟิล์มผสมที่มีปริมาณ CL มาก ความสามารถในการกระจายตัวของเซลลูโลสในสารละลายจะต่ำลง เมื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มจะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้น (รูปที่ 2) และเมื่อนำฟิล์มแช่น้ำไว้เป็นเวลานานจะทำให้เซลลูโลสที่ไม่ละลายในฟิล์มบางส่วนเกิดการดูดซับน้ำบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลที่เหลืออยู่และเกิดการพองตัวแต่ยังคงมีความคงรูป หรือมีลักษณะคล้ายไฮโดรเจล ส่งผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์ม PVA-CL มีค่าสูงขึ้น (11) โดยฟิล์ม PVA-CL50 จะมีค่า ร้อยละการดูดซับน้ำสูงที่สุด (97.49 ± 0.29)

4. ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์ม

ผลการวิเคราะห์อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate; WVTR) ของฟิล์มทดสอบ PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric method) เป็นเวลา 168 ชั่วโมง (7 วัน) แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน



รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน

ผลการวิเคราะห์อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ PVA-CL มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง (2 วัน) อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจะเริ่มคงที่ในทุกอัตราส่วน และที่เวลา 72 ชั่วโมง ฟิล์ม PVA/CL10 จะมีอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำสูงสุด เท่ากับ 358 g/hr.m^2 และฟิล์ม PVA-CL50 จะมีอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำต่ำสุด เท่ากับ 230 g/hr.m^2 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสในฟิล์มมีผลต่อค่าอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ กล่าวคือ เมื่อปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น การแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจะมีค่าลดลง เนื่องจากเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่มีการจัดเรียงโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง (Crystallinity) รวมทั้งปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีปริมาณลดลง ทำให้ฟิล์มพลาสติกชีวภาพมีสมบัติในการกีดกันการแพร่ผ่านไอน้ำมากขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มต่ำลง [15]

5. ความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์ม

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์มทดสอบ PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนักเป็นเวลา 14 วัน ค่าร้อยละ

การย่อยสลายของฟิล์ม แสดงดังรูปที่ 6 จากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของฟิล์ม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน ฟิล์ม PVA-CL50 จะมีการย่อยสลายได้ทางชีวภาพสูงที่สุด (82.97%) และฟิล์ม PVA-CL10 จะมีการย่อยสลายได้ทางชีวภาพต่ำที่สุด (29.31%) โดยฟิล์ม PVA/CL40 และ PVA/CL50 สามารถย่อยสลายได้หมดภายในเวลา 5 วัน ในขณะที่ฟิล์ม PVA-CL10 PVA-CL20 และ PVA-CL30 สามารถย่อยสลายได้หมดภายในเวลา 7 วัน จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าฟิล์มผสม PVA-CL จัดเป็นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติโดยความชื้นและแบคทีเรียในดิน และปริมาณเซลลูโลสในฟิล์มที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ฟิล์มมีความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ดีขึ้นด้วย เนื่องด้วยฟิล์มที่มีปริมาณเซลลูโลสมากจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง (ดังตารางที่ 2) ทำให้ฟิล์มสามารถดูดความชื้นในดินได้ดี นอกจากนี้เซลลูโลสยังมีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้ฟิล์มมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดี [24]

สรุปผล

การสกัดเซลลูโลสจากก้านใบบัวหลวงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาวด้วย

สารละลายไตรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากเส้นใยได้ดี ค่าร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสที่ได้ มีค่าเท่ากับ 21.47 ± 1.53 พิล์มชีวภาพผสม PVA-CL ที่อัตราส่วนต่าง ๆ สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูปด้วยสารละลาย โดยเกิดการสร้างพันธะระหว่างสายโซ่ PVA และ CL ยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR เมื่อเพิ่มปริมาณ CL ในฟิล์มจะทำให้พื้นผิวของฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น ร้อยละการดูดซับน้ำของฟิล์มมีค่าสูงขึ้น แต่ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจะลดลง โดยฟิล์มที่มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำและความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำสูงที่สุด คือฟิล์ม PVA-CL50 (97.49 ± 0.29) และ PVA-CL10 (358 g/hr. m^2) ตามลำดับ ผลการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพในดินของฟิล์มแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มที่มีปริมาณ CL สูงจะย่อยสลายได้ดี ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์ม กล่าวได้ว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพผสมระหว่างพอลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์และเซลลูโลสที่สกัดจากกากมันไบบัวหลวง ถือเป็นวัสดุทางเลือกที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ได้ นอกจากนี้หากมีการศึกษาและพัฒนาสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกลของฟิล์มให้มีความเหมาะสม ก็สามารถนำฟิล์มพลาสติกผสม PVA-CL ไปประยุกต์ใช้งานในด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร หรือวัสดุทางการแพทย์ในลำดับต่อไปได้ ถือเป็นกรเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเหลือใช้ทางการเกษตร และลดปัญหาขยะในสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ สารเคมี และ เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ทำงานวิจัยขึ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Zhao G, Lyu X, Lee J, Cui X, Chen WN. Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application. Food Packag Shelf Life. 2019;21:1-6.
2. Ratanasongtham P, Nikhammo A, Phlachat N. The Study of Water Absorbability and Water Permeability of Bioplastic Blend Film Between Cassava Starch Glycerol and Cellulose Extracted from Monthong Durian Bark. The 8th Academic Science and Technology Conference; 26 March 2021; Valaya Alongkorn Rajabhat University, Pathumthani; 2021. p. 529-36. Thai.
3. Kabir SMF, Sikdar PP, Haque B, Bhuiyan MAR, Ali A, Islam MN. Cellulose-based hydrogel materials: chemistry, properties and their prospective applications. Prog Biomater. 2018; 7(3):153-74.
4. Klemm D, Heublein B, Fink HP, Bohn A. Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. Angew Chemie - Int Ed. 2005;44(22):3358-93.
5. Sun D, Onyianta AJ, O'Rourke D, Perrin G, Popescu CM, Saw LH. A process for deriving high quality cellulose nanofibrils from water hyacinth invasive species. Cellulose. 2020; 27(7):3727-40.
6. Tongswang A, Suwannawatnamatee K. [The improvement of paper properties from banana pulp with carboxymethyl cellulose]. J Appl Res Sci Tech. 2022;21(1):11-21. Thai.

7. Singchai B, Trakulpukdee N, Thonglim S. Essential oil from *nelumbo nucifera* stamen. J Sci Tech. 2017;25(1):27-34.
8. Chen Y, Wu Q, Huang B, Huang M, Ai X. Isolation and characteristics of cellulose and nanocellulose from lotus leaf stalk agro-wastes. Bioresources. 2015;10(1):684-96.
9. Tanwar R, Gupta V, Kumar P, Kumar A, Singh S, Gaikwad KK. Development and characterization of PVA-starch incorporated with coconut shell extract and sepiolite clay as an antioxidant film for active food packaging applications. Int J Biol Macromol. 2021;185:451-61.
10. Liu D, Sun X, Tian H, Maiti S, Ma Z. Effects of cellulose nanofibrils on the structure and properties on PVA nanocomposites. Cellulose. 2013;20(6):2981-9.
11. Abdulkhali A, Hojati Marvast E, Ashori A, Hamzeh Y, Karimi AN. Preparation of cellulose/polyvinyl alcohol biocomposite films using 1-n-butyl-3-methyl imidazoliumchloride. Int J Biol Macromol. 2013;62:379-86.
12. Xu S, Jiang M, Lu Q, Gao S, Feng J, Wang X, et al. Properties of polyvinyl alcohol films composited with hemicellulose and nanocellulose extracted from artemisia selengensis straw. Front Bioeng Biotechnol. 2020;8:1-11.
13. Rachtanapun P, Luangkamin S, Tanprasert K, Suriyatem R. Carboxymethyl cellulose film from durian rind. LWT - Food Sci Technol. 2012;48(1):52-8.
14. Chungsiriporn J, Pongyeela P, Chairerk N. [Production of molded pulp packaging from rice straw and bagasse coating by chitosan]. Burapha Sci J. 2022;27:20-30. Thai.
15. Karkhanis SS, Stark NM, Sabo RC, Matuana LM. Water vapor and oxygen barrier properties of extrusion-blown poly (lactic acid)/cellulose nanocrystals nanocomposite films. Compos Part A Appl Sci Manuf. 2018;114:204-11.
16. Kunthadong P, Peekoh M, Sindanjark O. [Bio-composite films based on cassava starch reinforced with durian rind cellulose fibers]. RMUTP Res J. 2019;13(1):39-50. Thai.
17. Reddy KO, Maheswari CU, Dhilmini MS, Mothudi BM, Zhang J, Zhang J, et al. Preparation and characterization of regenerated cellulose films using borassus fruit fibers and an ionic liquid. Carbohydr Polym. 2017;160:203-11.
18. Abderrahim B, Abderrahman E, Mohamed A, Fatima T, Abdesselam T, Krim O. Kinetic thermal degradation of cellulose, polybutylene succinate and a green composite: comparative study. World J Environ Eng. 2015;3(4):95-110.
19. Uma Maheswari C, Obi Reddy K, Muzenda E, Guduri BR, Varada Rajulu A. Extraction and characterization of cellulose microfibrils from agricultural residue - Cocos nucifera L. Biomass and Bioenergy. 2012;46:555-63.
20. Kharazmi A, Faraji N, Hussin RM, Saion E, Yunus WMM, Behzad K. Structural, optical, opto-thermal and thermal properties of

- ZnS-PVA nanofluids synthesized through a radiolytic approach. *Beilstein J Nanotechnol.* 2015;6(1):529-36.
21. Fatima T, Jolly R, Rafiq M, Shadab GGHA, Shakir M. Exploring the bone regeneration potential of bio-fabricated nano-titania reinforced polyvinyl alcohol/ nano-cellulose based composite film. *Results Mater.* 2021; 12:1-12.
 22. Cazón P, Vázquez M, Velazquez G. Composite films of regenerate cellulose with chitosan and polyvinyl alcohol: Evaluation of water adsorption, mechanical and optical properties. *Inter J of Biol Macromol.* 2018;117:235-46.
 23. Laxmeshwar SS, Madhu Kumar DJ, Viveka S, Nagaraja GK. Preparation and properties of biodegradable film composites using modified cellulose fibre-reinforced with PVA. *ISRN Polym Sci.* 2012;12:1-8.
 24. Gulati K, Lal S, Arora S. Synthesis and characterization of PVA/Starch/CMC composite films reinforced with walnut (*Juglans regia* L.) shell flour. *SN Appl Sci.* 2019;1(11):1-12.