



การพัฒนาความคงรูปของไฮโดรเจลจากเส้นใยปาล์มด้วยยางธรรมชาติ

ณัฐธิดา ศรีราชยา*

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6548 5990 อีเมล: Nuttida.sri@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.03.006

รับเมื่อ 2 มิถุนายน 2563 แก้ไขเมื่อ 15 กรกฎาคม 2563 ตอรับเมื่อ 20 กรกฎาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 9 มีนาคม 2564

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ปาล์มเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงสามารถนำไปใช้ทำเป็นไฮโดรเจลได้ แต่ยังมีสมบัติการคงรูปที่ไม่ดี งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติความคงรูปของไฮโดรเจลจากเส้นใยปาล์มด้วยยางธรรมชาติ โดยการเตรียมไฮโดรเจลผสม สามารถเตรียมได้ที่อัตราส่วนระหว่างสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์ม 90–95% โดยปริมาตรต่อสารละลายยางธรรมชาติ 5–10% โดยปริมาตร ด้วยการกวนสารละลายผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำสารละลายผสมไปทำให้เจลคงรูปด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟสแบบเปียก ซึ่งไฮโดรเจลผสมนี้มีความคงรูป และความแข็งแรงที่ดีกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากเส้นใยปาล์มเพียงอย่างเดียว สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะเห็นการเชื่อมต่อของโครงร่างตาข่ายในไฮโดรเจล โดยอนุภาคของยางธรรมชาติเข้าไปเติมเต็มที่ช่องว่างระหว่างโครงร่างตาข่ายทำให้เกิดการเชื่อมผสานของช่องว่าง ซึ่งยางธรรมชาติจะทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรง นอกจากนี้การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไฮโดรเจลผสมที่เตรียมได้พบว่า ยังมีอัตราการดูดซับน้ำที่สูง ถึงแม้ว่าจะน้อยกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากเส้นใยปาล์มเพียงอย่างเดียว แต่ก็ยังสามารถนำไปใช้งานเป็นวัสดุดูดซับน้ำที่ดีได้

คำสำคัญ: ไฮโดรเจล เส้นใยปาล์ม ยางธรรมชาติ ความคงรูป วัสดุเสริมแรง



Shape Stability Enhancement of Palm Fiber Hydrogels with Natural Rubber

Nuttida Srirachya*

Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Surattthani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 6548 5990, E-mail: Nuttida.sri@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.03.006

Received 2 June 2020; Revised 15 July 2020; Accepted 20 July 2020; Published online: 9 March 2021

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Palm is natural source of cellulose which can be used for hydrogels preparation, but its property on shape stability is poor. Therefore, this research aims to enhance the shape property of hydrogels from palm fiber with Natural Rubber (NR). The composite hydrogels could be prepared at the ratio of 90–95% cellulose solution volume to NR solution 10–5% volume by stirring the mixture until reaching the homogeneous solution. After that, the solution was mixed to the gel by wet - phase inversion method to increase shape stability. The composite hydrogels showed better in shape formation and strength than the hydrogels prepared from only cellulose palm fibers. The results from the Scanning Electron Microscope (SEM) showed the connecting network of the hydrogels structure. The NR particles filled in the gaps between the networks creating an interconnected layer. That means NR acted as a reinforcement in composite hydrogels. In addition, the water absorption test of the hydrogels showed that the composite hydrogels had high-water absorption rate although it was less than the hydrogels prepared only from palm fibers. However, it can be used as good water-absorbing materials.

Keywords: Hydrogels, Palm Fibers, Natural Rubber, Shape Stability, Reinforcement Materials

1. บทนำ

ไฮโดรเจลเป็นผลิตภัณฑ์อีกหนึ่งชนิดที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณที่สูงโดยไม่เกิดการละลายน้ำ เนื่องจากเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีขั้วเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างตาข่าย มีการเชื่อมขวางทั้งแบบทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งสารตั้งต้นที่จะใช้เตรียมไฮโดรเจลนั้นจะต้องเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูง เพื่อที่จะดูดซับน้ำได้ในปริมาณมาก โดยทั่วไปแล้วไฮโดรเจลมีการใช้งานได้อย่างกว้างขวางทั้งทางการแพทย์ [1]–[4] การใช้เป็นวัสดุบำบัดน้ำเสีย [5], [6] และใช้เป็นวัสดุในทางการเกษตร [7], [8] ถึงแม้ว่าไฮโดรเจลจะสามารถเตรียมได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ และพอลิเมอร์จากธรรมชาติ แต่ไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากวัสดุพอลิเมอร์จากธรรมชาติกำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน เนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้ววัสดุไฮโดรเจลจากธรรมชาติสามารถเตรียมได้จากพอลิเมอร์หลากหลายชนิด เช่น แป้ง [9] ไคโตซาน [5], [10] และเซลลูโลส [11]–[13]

ซึ่งเซลลูโลสที่ได้จากพืชถือเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญในการเตรียมไฮโดรเจลเพราะเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ มีความทนทานต่อความร้อนและสารเคมีได้สูง โดยทั่วไปแล้วเซลลูโลสไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้จากพืชหลายชนิด เช่น ผ้าย [14] ฝ้าย [15] และชานอ้อย [16]–[18] โดยเซลลูโลสไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้จากสารละลายเซลลูโลส ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมขวางทางกายภาพด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟสแบบเปียก (Wet - Phase Inversion Method) ซึ่งเป็นวิธีการเปลี่ยนสภาพของสารละลายที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นเจลโดยไม่ต้องใช้สารเชื่อมขวางสามารถทำให้เกิดเจลเป็นโครงสร้างตาข่ายด้วยวิธีทางกายภาพ โดยใช้ไอของเอทานอลเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนเฟส [16]

โดยทั่วไปแล้วเซลลูโลสไม่สามารถละลายได้ในน้ำ หรือตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ทั่วไป เพราะเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เป็นผลึก และมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงมาก [16]–[19] จากการศึกษาพบว่า เซลลูโลสสามารถละลายได้ในตัวทำละลายจำพวกอัลคาไลน์/ยูเรีย [19] สารละลายผสมระหว่างลิเทียมคลอไรด์และไดเมทิลอะเซตาไมด์ (LiCl/DMAc) [16]–[18]

สืบเนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้าของผู้วิจัย [17], [18] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้สารละลายผสมระหว่างลิเทียมคลอไรด์และไดเมทิลอะเซตาไมด์เป็นตัวทำละลายเซลลูโลส

ปาล์มน้ำมันถือได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก เมื่อนำผลปาล์มน้ำมันออกไปจำหน่ายแล้ว ในสวนปาล์มน้ำมันยังมีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือเส้นใยปาล์ม ซึ่งการนำไปใช้ประโยชน์ยังมีน้อย จากการศึกษาข้อมูลพบว่า เส้นใยปาล์มมีส่วนของเซลลูโลสในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ยังมีส่วนของลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสที่ห่อหุ้มเซลลูโลสไว้ ก่อนนำเส้นใยปาล์มไปใช้ประโยชน์จึงต้องมีการปรับสภาพของเส้นใยเพื่อกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกไปก่อน จากการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้พบว่า สามารถปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นฟอกขาวด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ [20] ซึ่งวิธีการนี้เป็นการปรับสภาพของเส้นใยโดยลดการใช้สารเคมีทำให้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

ในส่วนโครงสร้างของเซลลูโลสนั้นจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมากทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำได้ในปริมาณที่มาก และเซลลูโลสยังใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียมวัสดุไฮโดรเจล แต่เนื่องจากเซลลูโลสที่ได้จากเส้นใยปาล์มนั้นมีความแข็งแรงสูง จึงละลายในตัวทำละลายได้ยากต้องมีการเพิ่มปริมาณของลิเทียมคลอไรด์ที่ผสมอยู่ในไดเมทิลอะเซตาไมด์ เพื่อให้เซลลูโลสจากเส้นใยปาล์มเกิดการละลายได้ดีขึ้น และเมื่อลองนำสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์มไปทำให้เจลคงรูปก็ไม่สามารถทำให้เกิดการคงรูปได้

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจนำเอายางธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงให้แก่เซลลูโลสจากเส้นใยปาล์ม สืบเนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ผู้วิจัยได้นำยางธรรมชาติไปผสมกับเซลลูโลสที่สกัดได้จากชานอ้อย [17], [18] พบว่า ยางธรรมชาติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ไฮโดรเจลจากชานอ้อยได้ นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีสมบัติที่ดีในเรื่องของความแข็งแรงเชิงกลและความยืดหยุ่นที่สูง งานวิจัยนี้จึงได้นำเอายางธรรมชาติมาช่วยเพิ่มสมบัติความคงรูปให้กับไฮโดรเจล



จากเส้นใยปาล์ม และงานวิจัยนี้ยังเป็นการเตรียมผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากธรรมชาติ ลดการใช้สารเคมี เป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ดีด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

เส้นใยปาล์มน้ำมันจากสวนปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พันธุ์สุราษฎร์ธานี 8 ยางธรรมชาติแห้งซึ่งมาจากการนำน้ำยางสดจากสวนยางพาราในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาทดลอง กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ($NaOCl$) ลิเทียมคลอไรด์ ($LiCl$) เอทานอล และโทลูอีน จากบริษัทแกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด เอ็น,เอ็น-โดเมทิลอะซีตาไมด์ (N,N -dimethylacetamide) ($DMAC$) จากบริษัท บริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 วิธีการสกัดเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์ม [20]

นำเส้นใยปาล์มมาล้างในน้ำเปล่าเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก หลังจากนั้นนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อเส้นใยแห้งดีแล้วนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 5 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักประมาณ 5 กรัม แล้วนำไปปั่นกวนในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ามาฟอกขาวโดยการปั่นกวนในสารละลาย 10% โดยปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (10%vol. $NaOCl$) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทสารละลายออก ล้างเส้นใยด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง เพื่อกำจัดสารเคมีที่หลงเหลืออยู่ออกไป นำเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

2.2.2 วิธีการเตรียมสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์ม

นำเซลลูโลสที่สกัดได้จากกระบวนการที่ 2.2.1 มาปั่นแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นปั่นเส้นใยให้แห้งหมาดๆ

แล้วนำไปปั่นแช่ในเอทานอลเป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้น ปั่นให้แห้งหมาดๆ แล้วนำเส้นใยมาปั่นแช่ในเอ็น,เอ็น-โดเมทิลอะซีตาไมด์ เป็นเวลา 1 วัน ขั้นตอนสุดท้ายนำเส้นใยเซลลูโลส มาละลายในสารละลายผสมระหว่าง 12% โดยน้ำหนักของ ลิเทียมคลอไรด์ และโดเมทิลอะซีตาไมด์ (12 wt.% $LiCl/DMAC$) โดยการปั่นกวนจนกว่าสารละลายจะเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2.3 วิธีการเตรียมสารละลายยางธรรมชาติ

นำยางธรรมชาติแห้งมาชั่งน้ำหนักจำนวน 1 กรัม หลังจากนั้นตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปละลายโดยการปั่นกวนในโทลูอีนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2.4 วิธีการเตรียมไฮโดรเจลผสมระหว่างเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์มและยางธรรมชาติ

นำสารละลายเซลลูโลสที่เตรียมได้จากกระบวนการที่ 2.2.2 และสารละลายยางธรรมชาติจากกระบวนการที่ 2.2.3 มาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนของสารละลายเซลลูโลสต่อสารละลายยางธรรมชาติ (Cellulose:NR) ที่ต่างๆ กัน (100:0, 95:5, 90:10 และ 85:15) ปั่นจนได้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้น นำสารละลายผสมมาเทลงในจานเพาะเชื้อที่วางไว้ในกล่องที่มีไอของเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการเปลี่ยนเฟสแบบเปียก (Wet - Phase Inversion Method) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ไอระเหยของเอทานอลเป็นตัวช่วย ทำให้สารละลายเกิดการรวมตัวเป็นไฮโดรเจล โดยจะเกิดการเชื่อมขวางของไฮโดรเจลแบบกายภาพ หลังจากเจลเกิดการจับตัวแล้วนำไฮโดรเจลที่เตรียมได้มาล้างในน้ำกลั่นจำนวน 5 ครั้ง เพื่อกำจัดสารละลายที่ยังหลงเหลืออยู่ แล้วแช่ทิ้งไว้ในน้ำ เพื่อนำไฮโดรเจลไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของสารที่เตรียมได้

2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติการดูดซับน้ำของไฮโดรเจล

นำไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสถานะต่างๆ มาแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับน้ำ [ตั้งสมการที่ (1)] ของไฮโดรเจลได้จากสูตรข้างล่าง โดยที่ $W0$ และ $W1$ คือ น้ำหนักก่อนแช่น้ำของไฮโดรเจล และน้ำหนักหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 7 วันของไฮโดรเจล

$$\text{การดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{(W1 - W0)}{W0} \times 100 \quad (1)$$

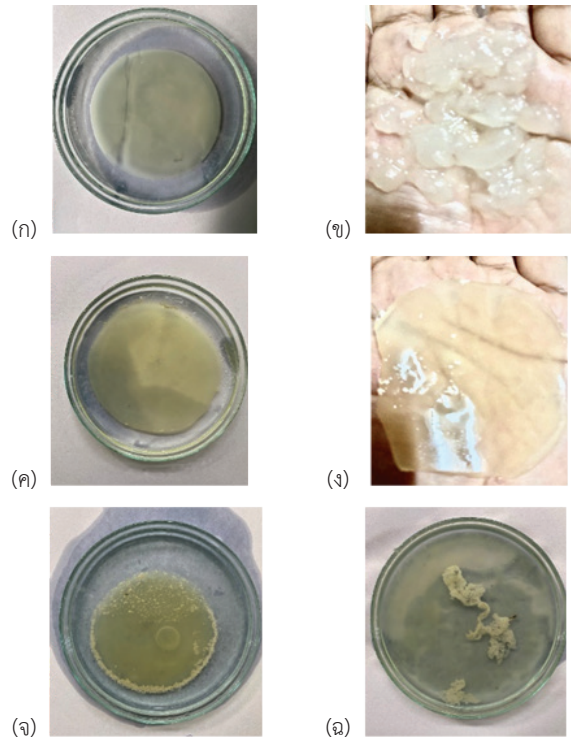
2.3.2 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform-Infrared Spectroscopy (FT-IR)) ยี่ห้อ Nicolet iS50 FT-IR โหมด ATR-FTIR ใช้ช่วงการสแกนจาก 4600 ถึง 670 cm^{-1} เรโซลูชัน 8 cm^{-1} การสแกน 16 ครั้งต่อตัวอย่าง

2.3.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยใช้เครื่องยี่ห้อ Jeol SEM สารตัวอย่างนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง ยี่ห้อ Christ รุ่น Beta 2-8 Lscbasic เป็นเวลา 1 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาหักเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างภาคตัดขวาง แล้วนำไปเคลือบด้วยทองคำขาวก่อนการทดสอบ

3. ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะทางกายภาพและความแข็งแรงของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

รูปที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ในจากสารละลายเซลลูโลสและสารละลายยางธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นต่างกันพบว่า ไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายเซลลูโลสเพียงอย่างเดียวมีลักษณะสีขาวขุ่น เมื่อแช่ทิ้งไว้ในน้ำจะมีความใสขึ้น เกิดการคงรูปของเจลได้น้อย เมื่อสัมผัสที่ผิวของไฮโดรเจลจะไม่มี ความแข็งแรง ฉีกขาดได้ง่าย เพียงแค่สัมผัสโดนผิวของไฮโดรเจลก็เกิดการฉีกขาด จึงไม่สามารถนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลได้ ส่วนไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายเซลลูโลสต่อสารละลายยางธรรมชาติในอัตราส่วน 95 : 5 พบว่า มีการคงรูปของเจลได้ดีขึ้น เมื่อค่อยๆ เติมสารละลายยางธรรมชาติลงไป ในสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์มที่มีการกวนอยู่ตลอดเวลาพบว่า จะมีบางส่วนของยางที่เกิดการจับตัวเป็นก้อนเล็กน้อย แต่สามารถนำไปทำให้เจลเกิดการคงรูปได้ เมื่อลองสัมผัสที่ผิวของไฮโดรเจลพบว่า ความแข็งแรงของไฮโดรเจลมีเพิ่มมากขึ้นกว่าไฮโดรเจลที่ไม่มีการผสมยางธรรมชาติ สามารถหยิบไฮโดรเจลผสมขึ้น



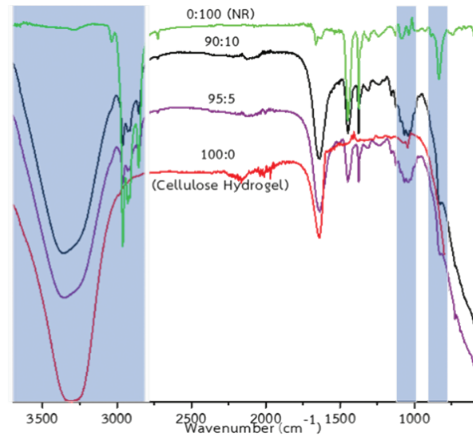
รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ (ก) ไฮโดรเจลจากเส้นใยปาล์ม (ข) ไฮโดรเจลจากเส้นใยปาล์มเมื่อใช้มือสัมผัส (ค) ไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 95 : 5 (ง) ไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 95 : 5 เมื่อใช้มือสัมผัส (จ) ไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 90 : 10 (ฉ) ไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 85 : 10

มาได้โดยไม่เกิดการฉีกขาด ในอัตราส่วน 90 : 10 เมื่อค่อยๆ เติมสารละลายยางธรรมชาติลงไป ในสารละลายเซลลูโลสพบว่า มีส่วนของยางที่เกิดการจับตัวเป็นก้อนเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังสามารถขึ้นรูปเป็นไฮโดรเจลได้ เมื่อลองสัมผัสที่ผิวของไฮโดรเจลก็สามารถหยิบขึ้นมาได้โดยไม่เกิดการฉีกขาด เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเติมสารละลายยางในปริมาณที่พอเหมาะ อนุภาคของยางจะเข้าไปเป็นตัวเชื่อมประสานให้น้ำเซลลูโลส

เกิดการคงรูปเจลได้ดีขึ้น และมีการคงรูปได้ดีกว่าอัตราส่วน 95 : 5 ส่วนการเตรียมไฮโดรเจลที่อัตราส่วน 85 : 15 พบว่าเมื่อค่อยๆ หยดสารละลายยางธรรมชาติลงในสารละลายเซลลูโลสที่มีการกวนอยู่ตลอดเวลา สารละลายจะเกิดการแยกส่วนอย่างชัดเจน โดยสารละลายยางธรรมชาติจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน นอกจากนี้ยังทำให้เซลลูโลสที่ละลายอยู่ในสารละลายเกิดการจับตัวเป็นก้อนด้วย จึงทำให้ไม่สามารถทำให้เจลคงรูปได้ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเซลลูโลสมีความเป็นขั้วสูง ในขณะที่ยางธรรมชาติไม่มีความเป็นขั้ว เมื่อผสมสารละลายทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ทั้งสองส่วนเกิดความไม่เข้ากันและแยกเฟสกันมากที่สุด

3.2 โครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

โครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ สามารถทดสอบได้จากเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ดังแสดงในรูปที่ 2 ไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์มเพียงอย่างเดียว พบสเปกตรัมที่บริเวณความยาวคลื่น 900–1200 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของพันธะ C-O-C และ C-O ที่เป็นโครงสร้างสำคัญของเซลลูโลส นอกจากนี้ยังเห็นสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1640 cm^{-1} และสเปกตรัมกว้างที่ความยาวคลื่น 3000–3800 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงพันธะ OH ที่เกิดจากการดูดซับน้ำ [15]–[18] ส่วนการทดสอบโครงสร้างของยางธรรมชาติพบเลขคลื่นที่สำคัญคือ 835 cm^{-1} บ่งชี้ถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H ที่ต่อกับพันธะคู่ในโครงสร้างแบบซิส (cis) ของยางธรรมชาติ และสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 2800–3000 cm^{-1} ที่แสดงถึงพีคของ CH, CH₂ และ CH₃ ของยางธรรมชาติ [17], [18] ส่วนไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสและสารละลายยางธรรมชาติ พบสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ เช่นเดียวกับไฮโดรเจลที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว และสเปกตรัมเช่นเดียวกับยางธรรมชาติบริสุทธิ์จึงสามารถยืนยันได้ว่าในไฮโดรเจลผสมนั้นมีส่วนของเซลลูโลส และยางธรรมชาติผสมอยู่ด้วยกัน



รูปที่ 2 อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

3.3 การดูดซับน้ำของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

ตารางที่ 1 ค่าการดูดซับน้ำ (%) ของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

ตัวอย่าง	สารละลายเซลลูโลส (%)	สารละลายยางพารา (%)	การดูดซับน้ำ (%)	
			\bar{x}	S.D.
100 : 0	100	0	382	24
95 : 5	95	5	348	13
90 : 10	90	10	316	30
85 : 15	85	15	-	-
0 : 100	0	100	0	0

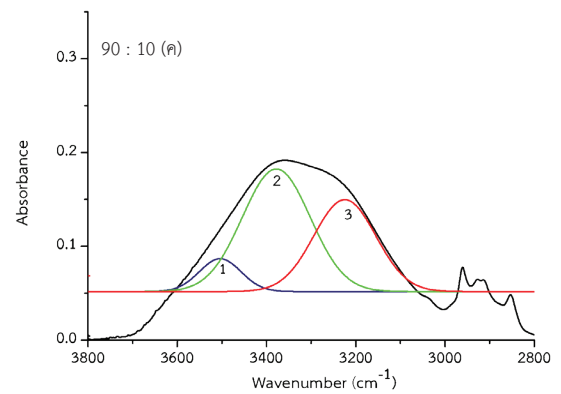
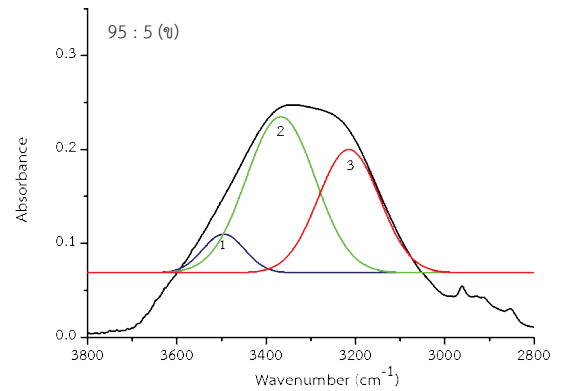
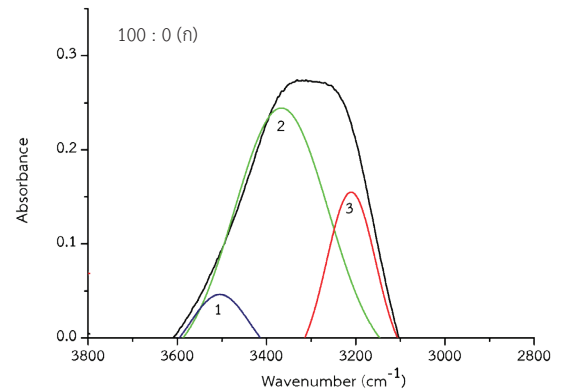
จากตารางที่ 1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ โดยการหาค่าจากน้ำหนักก่อน และหลังแช่ไฮโดรเจลตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยปาล์มเพียงอย่างเดียวมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายผสมระหว่างเซลลูโลสและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 95 : 5 และไฮโดรเจลผสมที่อัตราส่วน 90 : 10 มีค่าน้อยที่สุด ส่วนที่อัตราส่วน 85 : 15 ไม่สามารถคำนวณค่าได้เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้ไม่สามารถทำให้ไฮโดรเจลคงรูปได้ จากการที่เซลลูโลส และยางธรรมชาติเกิดการแยกส่วนกันอย่างชัดเจน และเมื่อทดสอบค่าการดูดซับน้ำของยางธรรมชาติบริสุทธิ์

พบว่า ไม่สามารถดูดซับน้ำได้เลย เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ยางธรรมชาติมีเฉพาะส่วนของคาร์บอนและไฮโดรเจนใน โครงสร้างเพียงเท่านั้น จึงถือได้ว่าเป็นสารที่ไม่มีขั้วไม่สามารถ ดูดซับน้ำซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีขั้วได้ ในขณะที่ไฮโดรเจลที่ เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสเพียงอย่างเดียวกลับมีค่าการ ดูดซับน้ำสูงที่สุดเนื่องจากในโครงสร้างของเซลลูโลสมีส่วน ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดการดูดซับน้ำได้ดี

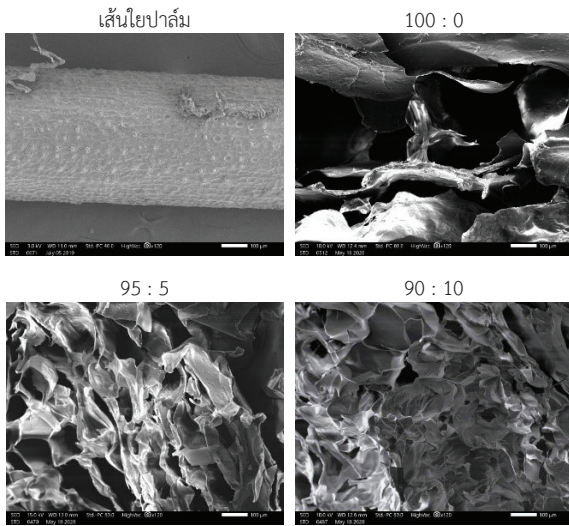
จากผลของการดูดซับน้ำนี้สามารถยืนยันได้อีกครั้งด้วย การแยกพีก FT-IR สเปกตรัม ในช่วงกว้าง $3800-2800\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกของหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดพันธะที่โครงสร้างต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยพีกตำแหน่งที่ 1 แสดงถึงพีกของโมเลกุล ของน้ำที่เป็นอิสระ พีกตำแหน่งที่ 2 แสดงถึงพีกของโมเลกุล ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ และพีกตำแหน่งที่ 3 แสดงถึงแสดง ถึงพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำและสายโซ่พอลิเมอร์ [17], [21]-[23] ซึ่งพบว่า ไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายผสม ที่อัตราส่วน 95 : 5 มีพีกของพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับ สายโซ่พอลิเมอร์สูงกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากเส้นใยปาล์ม เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเกิดจากความหนาของไฮโดรเจลใน ชั้นทดสอบที่ไม่เท่ากันจึงทำให้เห็นพันธะระหว่างน้ำกับสาย โซ่พอลิเมอร์ที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม การทดสอบนี้สามารถ ยืนยันได้ว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้สามารถดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับเซลลูโลสในไฮโดรเจล

3.4 สันฐานวิทยาของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

รูปที่ 4 แสดงพื้นผิวของเส้นใยปาล์ม และภาคตัดขวาง ของไฮโดรเจลที่ทดสอบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด โดยรูปเส้นใยปาล์มจะเห็นลักษณะขรุขระที่ผิวของ เส้นใยเนื่องจากเส้นใยปาล์มเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงมาก ข้างนอก ของเส้นใยมีส่วนของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสห่อหุ้มส่วนของ เซลลูโลสอยู่ ดังนั้นก่อนที่จะนำเอาเส้นใยมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ไฮโดรเจลจึงต้องมีการปรับสภาพของเส้นใยเพื่อกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกไปก่อน ในส่วนของไฮโดรเจลจะเห็นว่า มีส่วนของโครงสร้างตาข่ายเชื่อมขวางระหว่างเส้นใยเซลลูโลส ที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนเฟสแบบเปือก ซึ่งเป็นกระบวนการ



รูปที่ 3 การแยกพีก FT-IR สเปกตรัม ในช่วงกว้าง $3800-2800\text{ cm}^{-1}$ ของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ (ก) ไฮโดรเจล จากเส้นใยปาล์ม (ข) ไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลาย เซลลูโลสและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 95 : 5 (ค) ไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสและยาง ธรรมชาติที่อัตราส่วน 90 : 10



รูปที่ 4 เส้นใยพอลิแอลกอฮอล์ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพและโครงสร้างภาคตัดขวางของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน

การที่เปลี่ยนแปลงสภาพสารละลายจากของเหลวมาเป็นของแข็งโดยมีไอของเอทานอลเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนแปลง [16] จึงทำให้ของแข็งที่ได้จะมีส่วนของโครงสร้างตาข่ายที่ช่วยให้เกิดการคงรูปของเส้นใย ซึ่งสังเกตได้ว่าไฮโดรเจลที่เตรียมจากเซลลูโลสจากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียวมีส่วนโพร่งที่เกิดจากโครงสร้างตาข่ายขนาดใหญ่มาก ส่วนของโพร่งนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการดูดซับน้ำให้เพิ่มมากขึ้น แต่ก็ทำให้ความแข็งแรงและการคงรูปของไฮโดรเจลลดต่ำลง เมื่อเติมสารละลายยางลงไปผสม อนุภาคของยางที่มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กจะเข้าไปอุดที่โพร่งของไฮโดรเจลทำให้โพร่งมีขนาดเล็กลง [17], [18] สังเกตได้ว่าไฮโดรเจลที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสต่อสารละลายยางอัตราส่วน 90 : 10 จะมีการเชื่อมต่อของพื้นผิวมากกว่าที่อัตราส่วน 95 : 5 เนื่องจากใส่น้ำอย่างที่มีปริมาณมากกว่าจึงทำให้อนุภาคของยางเข้าไปเติมเต็มที่โพร่งได้จำนวนมากกว่า ยางจึงทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงในไฮโดรเจลผสมที่มีส่วนของเซลลูโลสเป็นเนื้อพื้น จึงทำให้ไฮโดรเจลผสมสามารถคงรูปและมีความแข็งแรงมากกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียว

4. สรุป

การเตรียมไฮโดรเจลผสมระหว่างสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์และสารละลายยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มความคงรูปให้แก่ไฮโดรเจลจากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์สามารถเตรียมได้ที่อัตราส่วนระหว่างสารละลายเซลลูโลสจากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์ต่อสารละลายยางธรรมชาติ 5-10% โดยปริมาตร ซึ่งไฮโดรเจลผสมที่เตรียมได้จะมีการคงรูปและความแข็งแรงที่ดีกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากเซลลูโลสจากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากอนุภาคของยางจะเข้าไปเติมเต็มในโพร่งที่เกิดจากการเชื่อมโยงตาข่ายของเส้นใยเซลลูโลสเกิดการผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ยางจึงทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงในไฮโดรเจลผสมที่มีส่วนของเซลลูโลสเป็นเนื้อพื้น ทำให้ไฮโดรเจลผสมมีการคงรูปที่ดีและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไฮโดรเจลผสมยังมีอัตราการดูดซับน้ำที่สูง ถึงแม้ว่าจะน้อยกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากเส้นใยพอลิแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียว แต่ก็ยังสามารถนำไปใช้งานเป็นวัสดุดูดซับน้ำที่ดีได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ดร.มลฤดี โอบมาวุฒิกุล ที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Ivanov, M. Popa, M. Ivanov, and A. A. Popa, "Synthesis of poly (vinyl alcohol) – methyl cellulose hydrogel as possible scaffolds in tissue engineering," *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, vol. 9, no. 11, pp. 3440–3444, 2007.
- [2] D. Pasqui, P. Torricelli, M. De Cagna, M. Fini, and R. Barbucci, "Carboxymethyl cellulose-hydroxyapatite hybrid hydrogel as a composite material for bone tissue engineering applications," *Journal of Biomedical Materials Research Part A*,

- vol. 102, no. 5, pp. 1568–1579, 2014.
- [3] S. Park, S. H. Kim, J. H. Kim, H. Yu, H. J. Kim, Y.-H. Yang, H. Kim, Y. H. Kim, S. H. Ha, and S. H. Lee, “Application of cellulose/lignin hydrogel beads as novel supports for immobilizing lipase,” *Journal of Molecular Catalysis B-Enzymatic*, vol. 119, pp. 33–39, 2015.
- [4] D. F. Li, Y. X. Ye, D. R. Li, X. Y. Li, and C. D. Mu, “Biological properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin-PEG composite hydrogel fibers for wound dressings,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 137, pp. 508–514, 2016.
- [5] N. Mohammed, N. Grishkewich, R. Berry, and K. Tam, “Cellulose nanocrystal-alginate hydrogel beads as novel adsorbents for organic dyes in aqueous solutions,” *Cellulose*, vol. 22, pp. 3725–3738, 2015.
- [6] M. M. Ibrahim, M. Abd-Eladl, and N. H. Abou-Baker, “Lignocellulosic biomass for the preparation of cellulose-based hydrogel and its use for optimizing water resources in agriculture,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 132, no. 42, pp. 1–12, 2015.
- [7] D. W. Davidson, M. S. Verma, and F. X. Gu, “Controlled root targeted delivery of fertilizer using an ionically crosslinked carboxymethyl cellulose hydrogel matrix,” *Springerplus*, vol. 2, pp. 1–9, 2013.
- [8] A. Bortolin, F. A. Aouada, L. H. C. Mattoso, and C. Ribeiro, “Nanocomposite PAAm/methyl cellulose/montmorillonite hydrogel: Evidence of synergistic effects for the slow release of fertilizers,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 61, no. 31, pp. 7431–7439, 2013.
- [9] C. Vudjung, U. Chaisuwan, U. Pangan, N. Chaipugdee, S. Boonyod, O. Santawitee, and S. Saengsuwan, “Effect of natural rubber contents on biodegradation and water absorption of interpenetrating polymer network (IPN) hydrogel from natural rubber and cassava starch,” *Energy Procedia*, vol. 56, pp. 255–263, 2014.
- [10] C. Spagnol, F. H. A. Rodrigues, A. G. B. Pereira, A. R. Fajardo, A. F. Rubira, and E. C. Muniz, “Superabsorbent hydrogel composite made of cellulose nanofibrils and chitosan-graft-poly (acrylic acid),” *Carbohydrate Polymers*, vol. 87, no. 3, pp. 2038–2045, 2012.
- [11] A. Sannino, M. Madaghiele, M. G. Lionetto, T. Schettino, and A. Maffezzoli, “A cellulose-based hydrogel as a potential bulking agent for hypocaloric diets: An in vitro biocompatibility study on rat intestine,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 102, no. 2, pp. 1524–1530, 2006.
- [12] E. Pinho, M. Henriques, and G. Soares, “Cyclodextrin/cellulose hydrogel with gallic acid to prevent wound infection,” *Cellulose*, vol. 21, pp. 4519–4530, 2014.
- [13] H. Dong, J. F. Snyder, D. T. Tran, and J. L. Leadore, “Hydrogel, aerogel and film of cellulose nanofibrils functionalized with silver nanoparticles,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 95, no. 2, pp. 760–767, 2013.
- [14] A. Boonmahithisud, L. Nakajima, K. D. Nguyen, and T. Kobayashi, “Composite effect of silica nanoparticle on the mechanical properties of cellulose-based hydrogels derived from cottonseed hulls,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 134, no. 10, pp. 1–12, 2017.



- [15] K. L. Tovar-Carrillo, M. Tagaya, and T. Kobayashi, "Bamboo fibers elaborating cellulose hydrogel films for medical applications," *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, vol. 1, no. 7, pp. 7–12, 2013.
- [16] K. Nakasone, S. Ikematsu, and T. Kobayashi, "Biocompatibility evaluation of cellulose hydrogel film regenerated from sugar cane bagasse waste and its in vivo behavior in mice," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 55, no. 1, pp. 30–37, 2015.
- [17] N. Srirachya, K. Boonkerd, L. Nakajima, and T. Kobayashi, "Bio-composite hydrogels of cellulose and vulcanized natural rubber with nanointerconnected layers for reinforced water-retaining materials," *Polymer Bulletin*, vol. 75, pp. 5493–5512, 2018.
- [18] N. Srirachya, K. Boonkerd, and T. Kobayashi, "Effective elongation properties of cellulose-natural rubber composite hydrogels having interconnected domain," *Journal of Elastomers & Plastics*, vol. 52, no. 4, pp. 337–355, 2019.
- [19] S. Gan, S. Zakaria, C. Chia, and F. Padzil, "Effect of hydrothermal pretreatment on solubility and formation of kenaf cellulose membrane and hydrogel," *Carbohydrate Polymers*, vol. 115, pp. 62–68, 2015.
- [20] N. Srirachya and A. Nido, "The green preparation of cellulose fibrils from oil palm leaf stalk fibers for hydrogel applications," *Key Engineering Materials*, vol. 841, pp. 103–107, 2020.
- [21] K. Tovar-Carrillo, K. Nakasone, S. Sugita, M. Tagaya, and T. Kobayashi, "Effects of sodium hypochlorite on agave tequilana weber bagasse fibers used to elaborate cyto and biocompatible hydrogel films," *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, vol. 42, pp. 808–815, 2014.
- [22] H. Jiang, K. Tovar-Carrillo, and T. Kobayashi, "Ultrasound stimulated release of mimosa medicine from cellulose hydrogel matrix," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 32, pp. 398–406, 2016.
- [23] K. Li, S. Noguchi, and T. Kobayashi, "Ultrasound-responsive behavior of gelatinous ionic liquid/poly (vinyl alcohol) composites," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 55, pp. 9915–9924, 2016.