



**การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากเปลือกกล้วยร่วมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)
 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศและความแข็งแรงของเฝือกแข็ง**
**Development of a Banana Peel–Polyvinyl Alcohol (PVA) Composite for
 Enhanced Ventilation and Mechanical Strength of Orthopedic Casts**

ณภัทร พลจันทร์ ธนพชร ระโหฐาน วสวัตต์ วรรณไทย*

ปิยะนุช เขียวอร่าม ลิขิต ทบประดิษฐ์

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย เพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

*E-mail : 67wasawat.wra@pccphet.ac.th

บทคัดย่อ

เฝือกคืออุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้ตรึงกระดูกหรือส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อป้องกันการเคลื่อนไหวระหว่างการรักษา แต่เฝือกแบบดั้งเดิมมีปัญหาการระบายอากาศไม่ดี ทำให้เกิดความอับชื้นและความร้อน นวัตกรรมเฝือกในปัจจุบันแม้จะเพิ่มความแข็งแรงหรือความเบา แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาความไม่สบายจากการอับชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงพัฒนาวัสดุเฝือกต้นแบบจากผงเปลือกกล้วยร่วมกับสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพื่อยกระดับความแข็งแรงและการระบายอากาศ ผ่านการเตรียมผงเปลือกกล้วย การผสมสูตร การขึ้นรูป การทดสอบแรงกด และการประเมินการระบายอากาศ พร้อมประยุกต์เทคนิค Salt Leaching เพื่อเพิ่มความพรุน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมผงเปลือกกล้วย ร้อยละ 2 ค่าแรงกดเฉลี่ยอยู่ที่ 175.40 นิวตัน สูงกว่าสัดส่วนอื่นและให้โครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อเติมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10 จะได้ค่าแรงกดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 281.25 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดในกลุ่มการทดลองทั้งหมด สำหรับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกพบว่าเทคนิคนี้ช่วยให้อนุภาคภายในวัสดุกระจายตัวและยึดเกาะกันได้ดีขึ้น แม้ค่าแรงกดจะลดลงเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งาน นอกจากนี้เทคนิค Salt Leaching ยังช่วยเพิ่มการระบายอากาศอย่างเด่นชัดโดยไม่ลดทอนความแข็งแรงของวัสดุ สรุปได้ว่าวัสดุที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้เป็นเฝือกที่แข็งแรงและระบายอากาศดี ลดความอับชื้นและความไม่สบายของผู้ป่วย อีกทั้งยังสามารถต่อยอดผลิตเป็นเฝือกแบบ Bandage ที่มีความยืดหยุ่นและปรับรูปทรงได้ง่าย ทำให้ทางการแพทย์มีตัวเลือกในการรักษาที่หลากหลายยิ่งขึ้นและเหมาะสมกับสภาพผู้ป่วยในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ : เปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ วัสดุคอมโพสิต ความแข็งแรง การระบายอากาศ

1. บทนำ

เฝือกแข็งเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษากระดูกหักและการบาดเจ็บที่ต้องการการจำกัดการเคลื่อนไหว

เพื่อให้เกิดการฟื้นฟูที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ แม้เฝือกแบบดั้งเดิม เช่น เฝือกปูนปลาสเตอร์ หรือ เฝือกไฟเบอร์กลาสจะถูกใช้อย่างแพร่หลาย แต่ยังคงเผชิญปัญหาที่สำคัญ ได้แก่ การระบาย



อากาศที่ไม่เพียงพอ รวมถึงความเสี่ยงต่อการระคายเคือง ปัญหาเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาเนื้อเยื่อที่สามารถตอบสนองทั้งด้านสมบัติเชิงกล และด้านการใช้งานจริง ที่ผ่านมามีความพยายามในการปรับปรุงเนื้อเยื่อด้วยการใช้วัสดุพอลิเมอร์หรือการสร้างโครงสร้างพรุนเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทอากาศ อย่างไรก็ตาม จึงเกิดช่องว่างทางองค์ความรู้ว่า วัสดุชีวภาพใดหรือวิธีการใดสามารถสร้างเนื้อเยื่อที่ทั้งแข็งแรง ระบายอากาศได้ดี และปลอดภัยต่อผู้ป่วยได้อย่างแท้จริง หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความนิยมคือการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีโครงสร้างเซลลูโลสและเส้นใยธรรมชาติ เช่น เปลือกกล้วย ซึ่งมีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกติน ที่สามารถเสริมสร้างโครงสร้างพรุนตามธรรมชาติได้ เมื่อผสมกับ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol: PVA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลดี ย่อยสลายได้ และเข้ากันได้ทางชีวภาพ อาจก่อให้เกิดวัสดุคอมโพสิตที่ตอบโจทย์ทั้งด้านความแข็งแรงและการระบายอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุ เทคนิค Salt Leaching ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างโครงสร้างพรุนที่ช่วยระบายอากาศและลดการสะสมความชื้น ขณะเดียวกัน การประยุกต์ใช้ คลื่นอัลตราโซนิก ในกระบวนการเตรียมวัสดุสามารถช่วยกระจายเส้นใยชีวภาพให้สม่ำเสมอ ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงเชิงกลมากขึ้น ดังนั้น คำถามวิจัยสำคัญคือ จะสามารถพัฒนาเนื้อเยื่อแข็งแรงจากวัสดุคอมโพสิตเปลือกกล้วย-PVA ที่มีโครงสร้างพรุน ระบายอากาศได้ดี และมีความแข็งแรงเชิงกลเพียงพอสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ได้หรือไม่ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อสร้างวัสดุคอมโพสิตโดยใช้เปลือกกล้วย และ PVA ร่วมกับเทคนิค Salt Leaching และคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของเนื้อเยื่อแบบดั้งเดิม

2. วิธีดำเนินการ

2.1 ทำผงเปลือกกล้วยและตรวจสอบเส้นใย

เตรียมเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบจากกล้วยอายุ 70-90 วัน โดยล้างยางกล้วยก่อนปอกเปลือก จากนั้นหั่นเปลือกกล้วยตามแนวเส้นใยเพื่อลดระยะเวลาในการอบ นำเปลือกกล้วยเข้าอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกว่าเปลือกกล้วยจะแห้งสนิท เมื่อแห้งแล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด กรองด้วยตะแกรงร่อน และเก็บผงเปลือกกล้วยที่ได้ในโหลแก้วเพื่อป้องกันความชื้น ก่อนนำผงเปลือกกล้วยไปตรวจสอบโครงสร้างเส้นใยด้วยเครื่อง FTIR

2.2 ทดสอบอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ที่เหมาะสม

เตรียมปูนปลาสเตอร์ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 50:50, 60:40 และ 65:35 จากนั้นนำอัตราส่วนทั้ง 3 มาขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นปูนจะแห้งสนิทอย่างสมบูรณ์ เมื่อแผ่นปูนแห้งแล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยใช้การทดสอบแรงกด ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ต่อน้ำ 65:35 ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด จึงเลือกอัตราส่วนดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาและทดลองในขั้นตอนถัดไป

2.3 ทดสอบอัตราส่วนผงเปลือกกล้วยที่เหมาะสม

เตรียมปูนปลาสเตอร์โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2.2 จากนั้นผสมผงเปลือกกล้วยในสัดส่วนร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยจัดเตรียมชิ้นงานทั้งหมด 3 ตัวอย่าง แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นปูนจะแห้งสนิทอย่างสมบูรณ์ เมื่อแผ่นปูนแห้งแล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยใช้การทดสอบแรงกด และนำอัตราส่วนที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด ไปใช้ในการศึกษาและทดลองในขั้นตอนถัดไป

2.4 เตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และทดสอบอัตราส่วนที่เหมาะสม

เตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 ด้วยการต้มร่วมกับน้ำกลั่นจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเตรียมปูนปลาสเตอร์โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2.3 และนำมาผสมกับสารละลาย PVA ทั้ง 3 ความเข้มข้น เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน รวมทั้งหมด 4 ตัวอย่าง แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นปูนจะแห้งสนิทอย่างสมบูรณ์ เมื่อแผ่นปูนแห้งแล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยใช้การทดสอบแรงกด และนำอัตราส่วนที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด ไปใช้ในการศึกษาและทดลองในขั้นตอนถัดไป

2.5 ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิค Salt Leaching และ คลื่นอัลตราโซนิก

ใช้เทคนิค Salt Leaching เตรียมส่วนผสมปูนตามสูตรที่กำหนดและผสมเกลือป่นในสัดส่วนร้อยละ 10 หรือปริมาณ 3.3 กรัม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6



ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นปูนจะแห้งสนิท เมื่อแห้งแล้วนำแผ่นปูนไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อชะล้างเกลือออก ก่อนนำเข้าอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบในขั้นตอนถัดไป ส่วนเทคนิคการใช้คลื่นอัลตราโซนิกจากเครื่อง Ultrasound Bath เตรียมส่วนผสมปูนตามสูตรที่กำหนด แล้วนำปูนไปขึ้นรูปในเครื่อง Ultrasound Bath ที่ความถี่ 40 KHz เป็นเวลา 8 นาที เพื่อช่วยสร้างโครงสร้างพรุนภายในวัสดุ จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบในขั้นตอนถัดไป

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของการขึ้นรูปทั้ง 2

แบบ

หลังจากการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคนิค Salt Leaching และการใช้คลื่นอัลตราโซนิกแล้ว จะทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละเทคนิค โดยชิ้นงานที่ได้จากเทคนิค Salt Leaching จะทดสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยการวัดการผ่านของไอน้ำ โดยใช้อุปกรณ์เป็นกล่องอะคริลิกใสที่ติดตั้งเซนเซอร์ DHT11 ภายในกล่อง จากนั้นปล่อยไอน้ำที่เกิดจากน้ำร้อนให้ซึมผ่านแผ่นปูน และอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นที่แสดงผลบนจอ LCD เพื่อนำมาประเมินความสามารถในการระบายอากาศของวัสดุ ส่วนชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคคลื่นอัลตราโซนิกจะนำไปทดสอบความแข็งแรงเชิงกล โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ด้วยการทดสอบแรงกด เพื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนผงเปลือกกล้วยที่เหมาะสม

ดังตารางที่ 1 ผลการศึกษาอัตราส่วนผงเปลือกกล้วยที่เหมาะสม คือการผสมผงเปลือกกล้วยในสัดส่วน ร้อยละ 2 เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดจากการทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนร้อยละ 4, 6 และ 8 จึงถูกเลือกนำไปใช้ในการศึกษาและทดลองในขั้นตอนถัดไป

Banana peel powder (%)	The Strength values (N)					
	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Ex 5	Average
0	206.8	116.7	304.6	220.0	152.9	200.2
2	107.2	198.6	128.7	238.1	204.5	175.4
4	124.9	122.4	121.1	131.5	124.3	124.8
6	91.3	138.2	168.4	149.3	152.5	139.4
8	169.4	84.6	173.1	148.5	143.9	143.9

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าความแข็งแรงจากแรงกดจากการศึกษาอัตราส่วนของผงเปลือกกล้วย

3.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาอัตราส่วนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม คือการใช้สารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ความเข้มข้น ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดจากการทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 15 จึงเลือกเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาและทดลองในขั้นตอนถัดไป

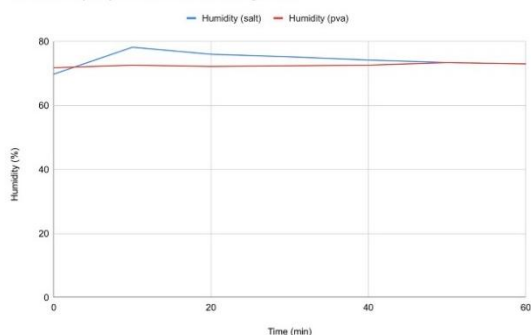
PVA Solution (%)	The Strength values (N)				
	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Average
5	150.8	214.8	195.3	179.1	185
10	273.7	317.3	243.8	290.2	281.25
15	315.5	279.1	275.7	161.8	258.03

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าความแข็งแรงจากแรงกดจากการศึกษาอัตราส่วนของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

3.3 ผลการศึกษาการขึ้นรูปวัสดุด้วยเทคนิค Salt Leaching

จากกราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตรปกติและสูตรที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิค Salt Leaching พบว่าสูตรที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิค Salt Leaching มีค่าที่แสดงบนกราฟสูงกว่าสูตรปกติอย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าวัสดุที่ผ่านกระบวนการ Salt Leaching มีความสามารถในการระบายอากาศหรือการผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าสูตรปกติ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสูตรที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิค Salt

Leaching จะแสดงค่าการระบายอากาศที่สูงกว่า แต่โครงสร้างพูนดังกล่าวยังส่งผลให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลงเมื่อเทียบกับสูตรปกติ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตรปกติและสูตรที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิค Salt Leaching

3.4 ผลการศึกษาการขึ้นรูปวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาการขึ้นรูปวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิกพบว่า วัสดุที่ได้มีค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส่งผลต่อโครงสร้างภายในของวัสดุ ทำให้เนื้อวัสดุมีความหนาแน่นลดลงและไม่สามารถรับแรงกดได้ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine มีค่าลดลง จึงสะท้อนให้เห็นว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการขึ้นรูปมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปด้วยวิธีปกติ

The Strength values (N)					
Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Ex 5	Average
254	209.1	276.6	279.8	248.7	253.7

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าความแข็งแรงจากแรงกดจากการศึกษาการขึ้นรูปวัสดุด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถอภิปรายได้ว่า การเลือกอัตราส่วนผงเปลือกกล้วยและ PVA ที่เหมาะสมมีผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยผงเปลือกกล้วยร้อยละ 2 ทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างปูนปลาสเตอร์ ขณะที่สารละลาย PVA ร้อยละ 10 ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค

ทำให้วัสดุมีความหนาแน่นและสามารถรับแรงกดได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การขึ้นรูปด้วยเทคนิค Salt Leaching ช่วยสร้างโครงสร้างพูนภายในวัสดุ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกราฟผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ผสมเกลือมีค่าการผ่านของไอน้ำสูงกว่าสูตรปกติ ความพูนดังกล่าวช่วยลดการสะสมของความชื้นและความร้อน อันเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความไม่สบายและปัญหาทางผิวหนังในผู้ใช้งานผิอกเป็นเวลานาน

สำหรับการขึ้นรูปด้วยคลื่นอัลตราโซนิก แม้ว่าจะช่วยให้โครงสร้างวัสดุมีความสม่ำเสมอมากขึ้น แต่ผลการทดสอบพบว่าค่าความแข็งแรงเชิงกลลดลงเล็กน้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าพลังงานจากคลื่นอัลตราโซนิกอาจส่งผลให้โครงสร้างภายในของวัสดุเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะคล้าย glassy structure ทำให้วัสดุมีลักษณะเปราะมากขึ้น เมื่อรับแรงกดจึงเกิดการแตกหรือเสียรูปได้ง่าย ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปด้วยวิธีปกติ

โดยสรุป วัสดุผิอกจากผงเปลือกกล้วยร่วมกับ PVA ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการใช้งานเป็นผิอกโปร่งที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และระบายอากาศได้ดี สามารถช่วยลดความไม่สบายของผู้ใช้งาน และมีแนวโน้ม

4.2 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาวัสดุผิอกต้นแบบจากผงเปลือกกล้วยร่วมกับสารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีสมบัติด้านความแข็งแรงเชิงกลและการระบายอากาศที่เหมาะสม โดยผลการทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine พบว่า การเติมผงเปลือกกล้วยในสัดส่วนร้อยละ 2 ให้ค่าแรงกดสูงสุดเท่ากับ 175.40 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าผงเปลือกกล้วยสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงในโครงสร้างคอมโพสิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การเติมสารละลาย PVA ความเข้มข้นร้อยละ 10 ทำให้ค่าแรงกดเพิ่มขึ้นเป็น 281.25 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในกลุ่มทดลองทั้งหมด สะท้อนถึงบทบาทของ PVA ในการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวภายในโครงสร้างวัสดุอย่างชัดเจน

ในส่วนของกระบวนการขึ้นรูป พบว่าการใช้เทคนิค Salt Leaching สามารถเพิ่มความพูนของวัสดุ ส่งผลให้การระบาย



อากาศและการผ่านของไอน้ำดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ขณะที่ยังคงรักษาความแข็งแรงของโครงสร้างไว้ในระดับที่เหมาะสม ส่วนการใช้เทคนิค Ultrasonic Bath ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาการปรับเงื่อนไขการขึ้นรูปด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เช่น ระยะเวลาและความถี่ของคลื่น เพื่อควบคุมโครงสร้างวัสดุและลดความเปราะที่อาจเกิดจากลักษณะคล้าย glassy structure และ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนจากเทคนิค Salt Leaching กับความแข็งแรงเชิงกล เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และการตรวจแก้ไขงานด้วยความเอาใจใส่ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน ขอขอบคุณบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง รวมถึงให้คำปรึกษาทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษานี้ นอกจากนี้ ผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนประสบความสำเร็จ ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสามารถนำไปใช้ต่อยอดในอนาคตได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Mouiya, M., Bouazizi, A., Abourriche, A., El Khessaimi, Y., Benhammou, A., El Hafiane, Y., Taha, Y., Oumamb, M., Abouliatim, Y., Smith, A., & Hannache, H. (2019). **Effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical behavior of porous ceramics made from clay and banana peel powder.** Results in Materials, 4, 100028.
2. Georgievska, M., Nigusse, A. B., Malengier, B., Tahir, H. R., Harding, C., Derbew Tiku, S., & Van Langenhove, L. (2024). **Evaluation of tactile and thermophysiological comfort**

in reusable surgical gowns compared to disposable gowns. Textiles, 4(2), 237–255.

3. Benouis, A., & Grini, A. (2011). **Estimation of concrete's porosity by ultrasounds.** Physics Procedia, 21, 53–58.
4. Grewal, G., Singh, P., & Kaur, J. (2016). **Comparative study of traditional and modern orthopedic casting materials.** International Journal of Orthopedics and Rehabilitation, 22(3), 45–52.
5. Khan, M. A., Ali, R., & Hussain, M. (2018). **Ultrasound-assisted fabrication of porous composite materials for biomedical applications.** Journal of Applied Physics, 117(5), 145–158.
6. Patel, R., & Shah, P. (2022). **Banana peel waste: A novel approach for sustainable composite materials.** Sustainable Materials and Technologies, 18, 204–219.
7. Rodrigues, F., Silva, C., & Gomes, J. (2019). **Cellulose-based biopolymers from agricultural waste for biomedical applications.** Journal of Biopolymers, 89(2), 113–126.
8. Salazar, J., Gomez, L., & Perez, F. (2020). **Hygienic concerns in orthopedic casts and their impact on patient comfort.** Clinical Orthopedic Research, 48(1), 67–79.