

การพัฒนาวัสดุปิดแผลจากแผ่นโพลิเมอร์โครงสร้างลอนเคลือบซิลเวอร์นาโน
ที่มีคุณสมบัติในการลดแรงกระแทกและยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

Development of a Corrugated Alginate Foam Wound Dressing Coated with Silver Nanoparticles
for Mechanical Energy Absorption and Antibacterial Activity

มนต์ภา บุญวิสุทธิานนท์, ภัณฑิรา เรือนคำ
ปิยะมาศ เจริญชัย

¹ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย พิชญโลก ตำบลชะแมงสูง อำเภอเมือง จังหวัดพิจญญโลก 65000

*อีเมล : pantirueankam@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแผ่นแปะแผลแบบลอนจากอัลจินตเคลือบซิลเวอร์นาโน ซึ่งทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และการดูดซับแรงกระแทก โดยศึกษาจากค่า tensile stress ค่า elongation ความสามารถในการดูดซับของเหลว อัตราส่วนในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และค่าแรงดล โดยจากการทดลองใช้ปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณ sodium alginate และ HPMC ที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 และ 4.5 กรัม ตามลำดับ โดยมีคุณสมบัติดูดซับสารคัดหลั่ง 1.979 ± 0.003 กรัม/กรัม คงความชุ่มชื้นเหมาะสม มีความหนา 2.681 มิลลิเมตร ค่า elongation สูงถึง 48.89 มิลลิเมตร ทำให้ยืดหยุ่นได้ดี ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disc diffusion พบว่าซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 15 ppm สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด และศึกษาคุณสมบัติของแผ่นโพลิเมอร์ลอนแปะแผลโดยอัตราส่วนความยาวต่อความสูงที่ดูดซับแรงกระแทกได้ดีที่สุดจากโปรแกรม Autodesk Fusion 360 จากการกราฟแสดงค่าโมดูลัสของยังและค่าการเสียรูป พบว่าโครงสร้างลอนอัตราส่วน 2:1 ช่วยกระจายแรงกระแทกและสร้างช่องอากาศระหว่างแผ่นโพลิเมอร์ทำให้ดูดซับแรงกระแทกได้ดี และทดสอบโดยใช้เครื่อง Dual Range Force Sensor พบว่าแผ่นโพลิเมอร์อัลจินตแบบลอนสามารถลดแรงดลเท่ากับ 0.391 นิวตัน ซึ่งดีกว่าแผ่นโพลิเมอร์อัลจินต ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการลดแรงกระแทก หากมีการใช้งานร่วมกับผ้าก๊อชโดยวางแผ่นโพลิเมอร์บนแผลและพันด้วยผ้าก๊อช ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยป้องกัน ลดแรงกระแทกและยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แผ่นแปะแผลโพลิเมอร์อัลจินต, อนุภาคซิลเวอร์นาโน, การดูดซับแรงกระแทก

บทนำ

บาดแผลถลอก แผลพุพอง และแผลไฟไหม้ระดับต้น เป็นบาดแผลที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน บาดแผลเหล่านี้มีความไวต่อแรงกระแทกและการเสียดสี ซึ่งหากไม่ได้รับการปกป้องอย่างเหมาะสมจะเพิ่มความเสี่ยงในการติดเชื้อแบคทีเรียสูงถึงร้อยละ 60-80 โดยเฉพาะจากเชื้อ *Staphylococcus aureus* ปัจจุบันวัสดุปิดแผลพื้นฐาน เช่น ผ้าก๊อช แม้จะช่วยดูดซับของเหลวได้ แต่ยังมีโครงสร้างแบบแบนราบทำให้ขาดคุณสมบัติในการกระจายแรงกดหรือลดแรงกระแทก

นอกจากนี้ แผ่นแปะแผลประเภทซิลิโคนโพลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมักมีราคาสูงและไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ในตัวเอง คณะผู้จัดทำจึงพัฒนาแผ่นโพลิเมอร์ลอนแปะแผล โดยใช้โพลิเมอร์อัลจินต ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนเป็นเจลเมื่อสัมผัสสารคัดหลั่ง ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและไม่ติดแผล โดยนำมาเคลือบด้วยซิลเวอร์นาโนเพื่อเพิ่มฤทธิ์ต้านจุลชีพ และนวัตกรรมการขึ้นรูปเป็นโครงสร้างลอนเลียนแบบกระดาดลูกฟูก เพื่อสร้างช่องว่างอากาศและ

กระจายแรงกระทำในบริเวณที่มีการเคลื่อนไหวสูง เช่น ข้อศอกหรือเข่า

วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการวิจัยถูกออกแบบอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การศึกษาปริมาณของส่วนผสมที่มีผลต่อคุณสมบัติของ โฟมอัลจิเนต (2) การศึกษาความสามารถในการยับยั้ง เชื้อแบคทีเรียของโฟมอัลจิเนตที่เคลือบซิลเวอร์นาโน และ (3) การทดสอบความสามารถในการรองรับแรง กระแทกของแผ่นโฟมอัลจิเนตแบบลอนเคลือบซิลเวอร์ นาโน

การพัฒนาโฟมอัลจิเนตแต่ละสูตร

เตรียมโฟมอัลจิเนตที่แต่ละสูตร โดยศึกษา ปริมาณของ sodium alginate ที่แตกต่างกัน (3, 6, 9, 12, 15 และ 18 กรัม) และศึกษาปริมาณของ HPMC ที่ แตกต่าง (1.5, 3, 4.5, 6, 7.5 และ 9 กรัม) นำไป ผสมกับส่วนผสมอื่น ได้แก่ Glycerol 7.65, Calcium carbonate, Sorbitol 21, Calcium carbonate 0.315, GDL 1.125, HPMC 4.5, Phosphate buffer (pH 5) 74.45, น้ำ 176.85 กรัม) ต่อมาเทลงเพลตวาง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และนำเพลตเข้าตู้อบลม ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง จากนั้น ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของโฟมอัลจิเนตแต่ละ สูตร ได้แก่ ลักษณะภายนอก, ความหนา, แรงเค้น (Tensile Strength), ค่าการยืดตัว (Elongation) และ ความสามารถในการดูดซับน้ำ เพื่อคัดเลือกสูตรที่มี คุณสมบัติเหมาะสมที่สุด

การเตรียมและวิเคราะห์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

เตรียมอนุภาคซิลเวอร์นาโน 3 ความเข้มข้น คือ 5 10 15 ppm และนำไปเคลือบแผ่นโฟมอัลจิเนต นำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 16 ชั่วโมง จากนั้นตัดแผ่นโฟมที่เคลือบแล้ว ให้มีเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบ ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus* โดย ประเมินจากการเปรียบเทียบขนาดของวง clear zone และคำนวณเป็นอัตราส่วนในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การออกแบบโครงสร้างลอน

ออกแบบแผ่นโฟมที่มีโครงสร้างลอนด้วย โปรแกรม Autodesk Fusion 360 โดยกำหนด อัตราส่วนความยาวต่อความสูงที่แตกต่างกัน (กำหนดให้แต่ละลอนมีอัตราส่วนแตกต่างกัน โดยความ สูงต่อความยาวเป็นเซนติเมตร แบบที่ 1 เป็น 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 แบบที่ 2 เป็น 1:3 0.5:1, 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1 และ 3:1) กำหนดแรงใส่ไปที่โมเดล 5 นิวตัน บันทึกค่าโมดูลัสของยังและการเสียรูป วิเคราะห์อัตราส่วนที่สามารถลดแรงกระทำได้ดีที่สุด จากนั้นนำอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดไปสร้างแม่พิมพ์ ด้วยเครื่อง 3D Printer

การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นโฟมลอนแปะแผล

นำปริมาณ sodium alginate และ HPMC ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆจนได้เป็น แผ่นโฟมอัลจิเนตเคลือบด้วยซิลเวอร์นาโน และนำมา ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ลักษณะลอน จะได้แผ่นโฟมลอน เคลือบซิลเวอร์นาโนและนำไปทดสอบความสามารถใน การดูดซับแรงกระทำจากค่าแรงกดด้วยเครื่อง dual range sensor ที่ ความสูง 5, 10, 15 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับค่าของผ้าก๊อตและแผ่นโฟมแบบเรียบ และวิเคราะห์ผล

ผลและการอภิปรายผล

คุณสมบัติของโฟมอัลจิเนต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณส่วนผสมที่มีผลต่อ คุณสมบัติของโฟมอัลจิเนต พบว่าปริมาณ sodium alginate และ HPMC มีคุณสมบัติทางกายภาพ โดยมี คุณสมบัติดังกล่าว ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของโฟมอัลจิเนตสูตร ที่ดีที่สุด

ค่าที่ได้	ปริมาณ sodium alginate	ปริมาณ HPMC
	3 กรัม	4.5 กรัม
ความหนา (มิลลิเมตร)	2.681±0.027	1.132±0.011

Elongation (มิลลิเมตร)	48.890±0.250	20.312±0.203
Tensile strength (MPa)	0.00290	0.0695
ค่าการดูดซับ ของเหลว	1.979±0.003	1.782±0.003
ลักษณะหลัง การทดสอบ	ยังสามารถคง รูปเป็นแผ่นได้ดี	ยังสามารถคง รูปเป็นแผ่นได้ดี

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของโพลิเมอร์อัลจินตแต่ละสูตร พบว่า โพลิเมอร์อัลจินตที่มีปริมาณ sodium alginate 3 กรัม และ HPMC 4.5 กรัม มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีความหนาเฉลี่ย 2.68 ± 0.027 มิลลิเมตร และมีค่าการยืดตัว (Elongation) สูงสุดที่ 48.89 ± 0.250 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นในด้านประสิทธิภาพการดูดซับสารคัดหลั่ง Hegge และคณะ (2010) พบว่าสามารถดูดซับได้ถึง 1.979 ± 0.003 กรัมต่อกรัม และสามารถคงรูปได้หลังการดูดซับไม่ละลายกลายเป็นเจล Gaserod และคณะ (2005)

ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของ โพลิเมอร์อัลจินตที่เคลือบซิลเวอร์นาโน

ตารางที่ 2 ค่าอัตราส่วนในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของโพลิเมอร์อัลจินตที่เคลือบซิลเวอร์นาโน

ความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโน (ppm)	inhibition ratio
15	1.5 ± 0.1

จากตารางที่ 2 พบว่าเกิด อัตราส่วนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหรือ inhibition ratio เมื่อมีความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนที่มากขึ้นจะมีค่า inhibition ratio ที่เพิ่มมากขึ้น Rai และคณะ (2009) เช่นกันสำหรับ *S. aureus* อยู่ที่ 1.5

ความสามารถรองรับแรงกระแทกของโครงสร้างลอน
ตารางที่ 3 ค่าโมดูลัสของยังและค่าการเสียรูปของวัสดุที่มีอัตราส่วนของความยาวต่อความสูงแตกต่างกัน

อัตราส่วนความ ยาวต่อความสูง (เซนติเมตร)	ค่าโมดูลัส ของยัง (Mpa)	ค่าการเสียรูป (มิลลิเมตร)
2 ต่อ 1	1.64	3.5

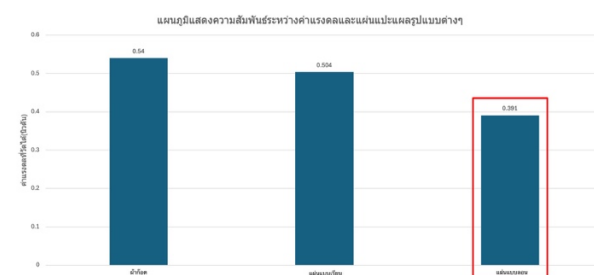
จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนความยาวต่อความสูงที่ 2:1 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าโมดูลัสที่ต่ำที่สุดในระดับที่สร้างความสมดุลระหว่างความแข็งแรงเชิงโครงสร้างและความยืดหยุ่นของวัสดุ โครงสร้างลอนในอัตราส่วนนี้ช่วยให้วัสดุสามารถกระจายแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เกิดการเสียรูปที่ถาวรหรือมากเกินไป

ความสามารถรองรับแรงกระแทกของแผ่นลอนแปะ แผ่นเคลือบซิลเวอร์นาโน

ตารางที่ 4 ค่าแรงดลที่ได้จากการทดสอบแผ่นโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ

ความสูง (เซนติเมตร)	ค่าแรงดล(นิวตัน/วินาที)		
	ผ้ากอซ	แผ่นโพลิ เมอร์เรียบ	แผ่นโพลิ เมอร์ลอน
5	0.085 ±0.015	0.496 ±0.015	0.540 ±0.015
10	0.352 ±0.015	0.423 ±0.015	0.504 ±0.015
15	0.213 ±0.015	0.356 ±0.015	0.391 ±0.015

แผนภูมิที่ 1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงดลและแผ่นแปะแผ่นรูปแบบต่างๆ (นิวตัน)



จาก ตาราง และ แผนภูมิ ทั้ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดลและแผ่นแปะแผ่นรูปแบบต่าง ๆ พบว่า แผ่นโพลิเมอร์อัลจินตแบบลอนมี

ประสิทธิภาพในการลดแรงดลได้ดีที่สุด โดยมีค่าแรงดลต่ำที่สุดเพียง 0.391 นิวตันวินาที ซึ่งลดลงจากแผ่นโพลีเอทิลีน ที่มีค่าแรงดล 0.504 นิวตันวินาที และลดลงจากผ้าก๊อชมาตรฐาน ที่มีค่าแรงดลสูงถึง 0.540 นิวตันวินาที

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณส่วนผสมที่มีผลต่อคุณสมบัติของโพลีเอทิลีน พบว่าปริมาณ Sodium Alginate และ HPMC ส่งผลต่อความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของวัสดุ สูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ Sodium Alginate 3 กรัม และ HPMC 4.5 กรัม ซึ่งให้ค่าการยืดตัว (Elongation) สูงถึง 48.89 มิลลิเมตร ส่งผลให้แผ่นโพลีเอทิลีนมีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับตัวตามการเคลื่อนไหวของอวัยวะบริเวณข้อพับได้ดี นอกจากนี้ วัสดุมีความหนาเฉลี่ย 2.681 มิลลิเมตร และมีความสามารถในการดูดซับสารคัดหลั่งได้ถึง 1.979 ± 0.003 กรัมต่อกรัม ซึ่งคุณสมบัตินี้เมื่อสัมผัสกับสารคัดหลั่งเปลี่ยนสภาพเป็นเจล ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและป้องกันแผ่นแปะติดแผล

จากการทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลชีพด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน พบว่าความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนแปรผันตรงกับค่า Inhibition ratio โดยการเคลือบด้วยซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 15 ppm ให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุดที่สุด และมีค่า Inhibition ratio อยู่ที่ 1.5

จากการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างลอนด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 พบว่าโครงสร้างลอนอัตราส่วนความยาวต่อความสูง 2:1 มีความสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความยืดหยุ่นดีที่สุด โดยมีค่าโมดูลัสของยังต่ำสุดที่ 1.64 MPa และค่าการเสียรูปอยู่ที่ 3.5 มิลลิเมตร ซึ่งค่าโมดูลัสที่ต่ำนี้ช่วยลดความแข็งแรงเกร็ง ทำให้โครงสร้างยืดหยุ่นและยุบตัวรับแรงได้ดี Antypas และ Partko (2016) สอดคล้องกับเนื้อโพลีเอทิลีนสูตรผสมที่เหมาะสมซึ่งมีค่าการยืดตัว (Elongation) สูงถึง 48.89 มิลลิเมตร เมื่อทดสอบแรงกระทำที่ความสูง 15 เซนติเมตร พบว่าแผ่นโพลีเอทิลีน

สามารถลดแรงดลลงเป็น 0.391 นิวตันวินาที ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นโพลีเอทิลีนแบบเรียบที่มีค่าแรงดลเป็น 0.504 นิวตันวินาที และลดลงจากผ้าก๊อชมาตรฐานที่มีค่าแรงดลเป็น 0.540 นิวตันวินาที ถึงร้อยละ 27.6 เนื่องจากโครงสร้างลอนทำหน้าที่เสมือนสปริงเชิงกลที่ช่วยยุบตัวเพื่อลดแรงกระแทกและกระจายแรงกดทับออกไปตามส่วนโค้ง Gefen และคณะ (2023) จึงสรุปได้ว่าแผ่นโพลีเอทิลีนแปะแผลมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการดูดซับพลังงานเชิงกลและยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ปิยะมาศ เจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ให้ทั้งความรู้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์

ขอขอบคุณ โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย พิชญ์โลก และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำการศึกษาค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้

เอกสารอ้างอิง

จรัสศรี พียาพรรณ. 2569.

วัสดุปิดแผลประเภทต่างๆ สำหรับโรคผิวหนัง. สมาคมแพทย์ผิวหนังแห่งประเทศไทย.

บาร์มี ชนบดีเฉลิมรุ่ง และคณะ. 2565.

การพัฒนาไฮโดรเจลที่มีเซลลูโลสแบคทีเรียและเพกตินหรืออัลจินตเป็นองค์ประกอบเพื่อการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุแปะแผล. วารสารวิทยาศาสตร์, 51(2), 245–256.

ปราณีต โอปะณะโสภิต. 2557.

ระบบนำส่งยา (พิมพ์ครั้งที่ 3). คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เพ็ญญา การะเวก และคณะ. 2567.

การปลดปล่อยซิลเวอร์นาโนและประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นไฮโดรเจลสำหรับใช้เป็นวัสดุปิดแผล.



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 30(1),
89–98.

Ahmad, A., et al. 2017.

**Antimicrobial and mechanical
properties of silver nanoparticle-
loaded poly(vinyl alcohol) foams.**

Journal of Applied Polymer Science.

Hegge, A. B., Andersen, T., Melvik, J. E.,

Kristensen, S., & Tønnesen, H. H. (2010).

**Evaluation of novel alginate foams
as drug delivery systems in
antimicrobial photodynamic
therapy (aPDT) of infected
wounds—An in vitro study: Studies
on curcumin and curcuminoides XL.**

Journal of Pharmaceutical Sciences,
99(8), 3492–3513.

Lu Zheng, C. (2020).

**Latest advances on bacterial
cellulose-based antibacterial
materials as wound dressing.** South
China University of Technology

Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009).

**Silver nanoparticles as a new
generation of antimicrobials.**

Biotechnology Advances, 27(1), 76–83.

Wilkinson, H. N., & Hardman, M. J. (2020).

**Wound healing: Cellular
mechanisms and pathological
outcomes.** Open Biology, 10(9),
200223.