

การสกัดไคโตซานด้วยเทคนิคการสกัดของแข็ง – ของเหลวเพื่อผลิตแผ่นแปะแผลต้าน แบคทีเรีย

Solid-Liquid Extraction Technique for Chitosan Extraction to Produce Antibacterial Wound-Dressing Sheets

อุษณีย์ อ้นจอร์¹ สิตติศักดิ์ แซ่ไคว่² ฐิตินันท์ พรพมา³ จักรินทร์ ปาสนธิ⁴ วีระชาติ เปลี่ยมน่วม⁵ และจิรพัฒน์ กิจสุวรรณ⁶

Usnee Onjorn¹ Sittisak Saekow² Titinan phomma³ Jakarin Pason⁴ Weerachat Pleannuum⁵ and jiraprat kitsuwan⁶

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1) ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสกัดไคโตซานด้วยเทคนิคการสกัดของแข็ง – ของเหลว 2) ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสและสารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลต่อการยับยั้งแบคทีเรียโดยสารเคมีที่ใช้คือ เปปไทด์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ 1) การสกัดสารละลายไคโตซานด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 90 และ 35 องศาเซลเซียสตามลำดับ 2) สภาวะในการขึ้นรูปโดยใช้ไคโตซาน 10 มิลลิลิตร แบคทีเรียเซลลูโลส 10 มิลลิลิตร และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 2 และ 3 กรัมตามลำดับ ผลการวิจัยมีดังนี้คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 และ 2 โมลาร์เมื่อใช้ร่วมกับอุณหภูมิ 80 และ 35 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสัดส่วนไคโตซาน 10 มิลลิลิตร โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 3 กรัม และแบคทีเรียเซลลูโลส 10 มิลลิลิตรมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการขึ้นรูปและยับยั้งแบคทีเรีย

คำสำคัญ : ไคโตซาน สารเชื่อมขวาง ไบโอดี

¹⁻⁶ แผนกปิโตรเคมี วิทยาลัยเทคนิคระยอง

*Corresponding Author, E-mail : jiraprat.k@technicrayong.ac.th

Abstract

This research aims to 1) study the suitable concentration for extracting chitosan using solid-liquid extraction techniques, and 2) investigate the appropriate proportions between bacterial cellulose and polyvinyl alcohol in synthesizing hydrogels for inhibiting bacteria, with the chemical used being crab shell, Polyvinyl alcohol and sodium hydroxide solution were used in the experiments. The experimental conditions were as follows: 1) extraction of chitosan solution with sodium hydroxide at 1.5 and 2 molars and temperatures at 90 and 35 degrees Celsius, respectively and 2) reformation conditions using 10 milliliters of chitosan, 10 milliliters of bacterial cellulose, and 2 and 3 grams of polyvinyl alcohol, respectively. The results of experimental was as followed: the concentration of sodium hydroxide solution at 1.5 and 2 molars, when used at temperatures of 80 and 35 degrees Celsius, respectively, showed no significant difference. Moreover, the proportion of 10 milliliters of chitosan, 3 grams of polyvinyl alcohol, and 10 milliliters of bacterial cellulose demonstrated suitable efficiency in reforming and inhibiting bacteria.

Keywords : chitosan, crosslink agent and biogel

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนและมลพิษทางน้ำในปัจจุบัน ปัญหาดังกล่าวล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม รวมถึงยังเป็นการใช้แหล่งปิโตรเลียมซึ่งมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต รวมถึงราคาต่อการผลิตที่สูงมากขึ้น ก่อให้เกิดราคาและค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูงมากขึ้น

ไบโอพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งหาง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติรวมทั้งกระบวนการขึ้นรูปสามารถปฏิบัติการได้ง่าย จึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน โดยวัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ได้แก่ เส้นใยจากธรรมชาติ แบคทีเรียเซลลูโลส ฟางข้าว กากมะพร้าว เป็นต้น

แบคทีเรียเซลลูโลสเกิดจากการเลี้ยงเชื้อยีสต์ในน้ำมะพร้าวซึ่งกระบวนการหมักดังกล่าวทำให้เกิดการสร้างเป็นเจลของกลุ่มเส้นใยเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูงเหมาะกับการขึ้นรูปเป็นไบโอเจลหรือไบโอพลาสติกสำหรับการใช้ทางด้านบรรจุภัณฑ์ด้านสุขภาพ และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิต

ไคโตซานเป็นสารที่ได้จากกระบวนการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้ง ปู และสิ่งมีชีวิตกระดองแข็งมีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียจึงมักใช้ผสมรวมกับการผลิตเครื่องสำอาง บรรจุภัณฑ์ถนอมอาหาร และสารก่อบำบัดน้ำเสียโดยไคโตซานมีประจุเป็นบวกจึงสามารถดักจับตะกอนที่มีประจุลบได้

การสกัดไคโตซานนิยมใช้เทคนิคของแข็ง – ของเหลว (solid – liquid extraction) โดยใช้สารละลายในการสกัดซึ่งสารที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสารที่ต้องการร่วมเช่น สารที่มีขี้ผึ้งใช้กับสารละลายที่มีขี้ผึ้ง และสารที่ไม่มีขี้ผึ้งใช้ร่วมกับสารละลายที่ไม่มีขี้ผึ้ง โดยใช้ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้เกิดการแยกและละลายในสารละลายดังกล่าวการทำไบโอเจลเป็นกระบวนการที่ใช้วัสดุ

ธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบร่วมกับสารเชื่อมขวาง (cross-linked substance) ทำให้เกิดเป็นโครงข่ายร่างแหซึ่งทำให้คุณสมบัติของสารไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำได้เป็นอย่างดี จึงเหมาะสมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ดูดซับแผล และหากร่วมกับการใช้สารต้านแบคทีเรียจะก่อให้เกิดคุณสมบัติการต้านแบคทีเรียและถนอมอาหารได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ กิตติยาภรณ์ และคณะ [1] ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลของไคโตซานและคอลลาเจนด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางเคมี (chemical crosslink) โดยใช้อัตราส่วนของไคโตซานต่อคอลลาเจนเป็น 1 ต่อ 1, 1 ต่อ 3, 1 ต่อ 5 และ 1 ต่อ 10 พบว่าอัตราส่วนให้ผลที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยปริมาณกรดคาเฟอิกที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของพรสุตา และคณะ [2] ศึกษาวัสดุตกแต่งบาดแผลและเตรียมในรูปแบบของฟิล์มเชิงประกอบจากการนำพอลิคาโปรแลคโตนมาเสริมแรงด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ถูกเตรียมจากวันมะพร้าวโดยปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ที่ร้อยละโดยปริมาตรคือ 1, 5, 10, 20, 30 และ 50 ตามลำดับเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับความชื้นตามปริมาณของเซลลูโลส การสลายตัวของวัสดุ เมื่อนำไปวิเคราะห์เชิงสถิติ พบว่ามีรูพรุนเกิดขึ้น ซึ่งรูพรุนส่งผลให้วัสดุมีความสามารถดูดซับได้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการสกัดสารไคโตซานร่วมกับการผลิตไบโอเจลเป็นแผ่นแปะแผลในการยับยั้งแบคทีเรีย โดยศึกษาบนฐาน ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสกัด ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเชื่อมขวางไบโอเจล และการยับยั้งแบคทีเรีย

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เซลลูโลส เซลลูโลสเป็นสารประกอบสายยาวของกลูโคสที่มีประมาณ 50,000 โมเลกุล ซึ่งพบอยู่ในพืช ไม่พบอยู่ในสัตว์ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ และดูดซับน้ำได้ค่อนข้างดี รวมทั้งสามารถย่อยสลายได้เอง ตามธรรมชาติ พบในโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช และวันมะพร้าว เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติที่ย่อยสลายได้ง่าย จึงเหมาะกับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีที่ย่อยสลายยาก

ไคโตซานเป็นสารที่สกัดจากไคตินที่ได้จากสัตว์เปลือกแข็งเช่น เปลือกกุ้ง เปลือกหอย และเปลือกปู เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งแบคทีเรีย มีความสามารถในการสร้างประจุบวกให้กับวัสดุพอลิเมอร์จึงประยุกต์การใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น เป็นสารผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นสารสร้างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นสารผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียในบรรจุภัณฑ์ทั้งในทางด้านอาหาร และทางด้านสุขภาพ

กระบวนการสกัดหรือกระบวนการชะเป็นกระบวนการแยกสารสามารถแบ่งย่อยได้ ตามสถานะของตัวทำละลายดังต่อไปนี้คือเทคนิค liquid extraction สารสกัดเป็นของเหลว เป็นกระบวนการสกัดวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อสกัดของเหลวออกจากของเหลว โดยใช้สำหรับการแยกของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายออกจากกัน เช่น การทำให้น้ำมันพืชบริสุทธิ์โดยใช้ตัวทำละลาย กระบวนการแยกกรดออกจากน้ำมันโดยใช้น้ำ เป็นต้น และเทคนิค liquid - solid extraction หรือเทคนิค solid phase extraction, SPE สารสกัดเป็นของแข็งโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว ของแข็งที่ถูกสกัดจะถูกใส่ในถุงกรองและบรรจุลงในถังสกัดตัวทำละลายที่ถูกต้มระเหยจาก

หม้อต้มอย่างต่อเนื่องจนควบแน่นลงมาไหลผ่านเครื่องควบแน่นและสามารถแยกออกได้หากต้องการหลังจากใส่ของแข็งที่ต้องการสกัดและตัวทำละลายเข้าไปใหม่สามารถเริ่มวงจรการทำงานใหม่

การผลิตแผ่นไบโอเจลเป็นกระบวนการใช้สารเชื่อมขวาง (Cross-Link) กับเซลลูโลสบริสุทธิ์ เช่น จากน้ำมะพร้าว ถั่ว ใบฝ้ายหรือสาหร่าย ซึ่งมีความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสถึง 98% ทำให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโครงข่าย มีโครงสร้างเป็นผลึกทำให้มีความแข็งแรงทนต่อแรงเฉือน และมีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี โดยทั่วไปสามารถเติมสารเติมแต่งได้หลายประเภท

วิธีดำเนินการวิจัย

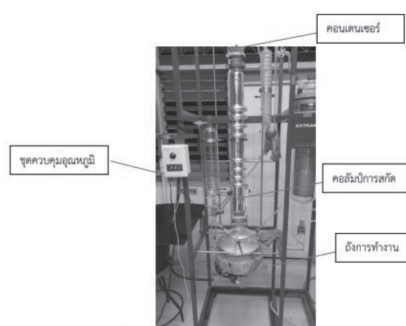
1. วัสดุและสารเคมีในงานวิจัย

1.1. เปลือกปู เปลือกปูได้รับความอนุเคราะห์จากสถานประกอบการในจังหวัดระยองแสดงดังภาพที่ 3.1. ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาด และทำการอบ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของเปลือกปูคงที่

1.2. จุลินทรีย์ *Lactobacillus acidipiscis* ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยเพื่อใช้ในการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย

2. ชุดการสกัดที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงชุดการสกัดด้วยเทคนิคของแข็ง - ของเหลว ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิ ระหว่าง 35 – 99 องศาเซลเซียส มีปริมาตรการทำงาน 10 ลิตร ความเร็วในการกวนผสม 100 – 800 รอบต่อนาที การหล่อเย็นด้วยชุดคอนเดนเซอร์



ภาพที่ 1 ชุดการสกัดด้วยเทคนิคของแข็ง - ของเหลว

3. การดำเนินงานสกัด การขึ้นรูปและการทดสอบการต้านแบคทีเรีย

3.1. การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดไคโตซาน เตรียมสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ ทั้งหมด 9 ลิตร ชั่งเปลือกปูจำนวน 10 กรัม และทำการแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37 % โดยปริมาตร 200 มิลลิลิตรเพื่อกำจัดหินปูนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจำนวน 2 รอบ และทำการอบด้วยเตาอบลมร้อนอุณหภูมิ 101 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นทำการสกัดด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์โดยการเติมในถังสกัดปริมาตร เท่ากับ 9 ลิตร หลังจากนั้นเติมเปลือกปู 203 กรัม ทำการปรับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็น ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และนำไคโตซานที่ผ่านการสกัดทดสอบการละลายด้วยสารละลายกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 1 % โดย น้ำหนัก ปริมาตร 100 มิลลิลิตรและทำการกวนผสมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2. การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสและสารเชื่อมขวางโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในการขึ้นรูปไบโอเจลทำการล้างแบคทีเรียเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 1 ลิตรเพื่อกำจัดสารอาหารจนกระทั่งปราศจากน้ำตาลโดยทดสอบการวัดน้ำตาลด้วยเครื่องวัดรีแฟรกโตมิเตอร์ ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสมโดยให้สารมีลักษณะเป็นสารละลายขึ้น สำหรับการสกัดน้ำตาลภายในเส้นใยเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก โดยให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 1 ลิตร ผ่านตะแกรงลวด การขึ้นรูปดำเนินการโดยการผสมแบคทีเรียเซลลูโลส กับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่สัดส่วนดังตารางที่ 1 ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างไคโตซาน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และแบคทีเรียเซลลูโลส

ครั้งที่	ไคโตซาน (มิลลิลิตร)	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม)	แบคทีเรียเซลลูโลส (มิลลิลิตร)
1	10	2	10
2	10	3	10

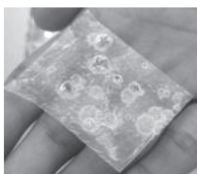
ผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 แสดงถึงปริมาณของไคโตซานที่ได้จากการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5 และ 2 โมลาร์ พบว่าได้ปริมาณไคโตซาน 4.25 และ 3.72 กรัมตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต่ำร่วมกับอุณหภูมิที่สูง เป็นตัวช่วยให้เกิดการเร่งในการแตกตัวของไคตินและไคโตซานได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Adane และคณะ [3] กล่าวว่าการให้ความร้อนที่สูงขึ้นส่งผลต่อผลได้ของสารสกัดที่สูงขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาณของไคโตซานที่ได้จากการสกัด

ความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	น้ำหนักของเปลือกปูที่ สกัด (กรัม)		ปริมาณเปลือกปูที่เหลือ (กรัม)	ปริมาณไคโตซาน (กรัม)
		ก่อน	หลัง		
1.5	80	10	4.45	0.20	4.25
2	35	10	3.92	0.20	3.72

จากภาพที่ 1 แสดงถึงผลของการขึ้นรูปไบโอเจลด้วยไคโตซาน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และแบคทีเรียเซลลูโลส พบว่าที่สัดส่วนไคโตซาน 10 มิลลิลิตร โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 3 กรัม และแบคทีเรียเซลลูโลส 10 มิลลิลิตร มีสภาพการเชื่อมขวางระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสและโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม



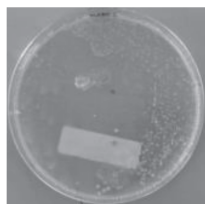
ภาพที่ 2 แสดงผลการขึ้นรูปที่สัดส่วนระหว่างโคโคซาน 10 มิลลิลิตร โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 2 กรัม และ แบคทีเรียเซลลูโลส 10 มิลลิลิตร

ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของการใช้สารเชื่อมขวางมากขึ้น ก่อให้เกิดความคงตัวในการขึ้นรูป และความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงขึ้น จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นแปะแผล ดังภาพที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติยาภรณ์ และคณะ [1] กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณสารเชื่อมขวางช่วยให้กระบวนการขึ้นรูปและการดูดซึมน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น



ภาพที่ 3 แสดงผลการขึ้นรูปที่สัดส่วนระหว่างโคโคซาน 10 มิลลิลิตร โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 2 กรัม และแบคทีเรียเซลลูโลส 10 มิลลิลิตร

จากภาพที่ 3 เมื่อนำแผ่นแปะแผลขึ้นรูปในสภาวะที่เหมาะสมมาทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยสายพันธุ์ *Lactobacillus acidipiscis* พบว่าเกิดบริเวณการยับยั้งแบคทีเรียซึ่งแสดงถึงแผ่นไบโอเจลขึ้นรูปมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย



ภาพที่ 4 แสดงผลของการวัดการยับยั้งแบคทีเรีย

การอภิปรายผลการวิจัย

การสกัดโคโคซานด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 และ 2 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 80 และ 35 องศาเซลเซียสตามลำดับไม่แตกต่างกันเนื่องจากการใช้เบสที่อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระบวนการสกัดได้ และเมื่อทำการขึ้นรูปด้วยสารเชื่อมขวางโพลีไวนิลแอลกอฮอล์พบว่าถ้าใช้สารเชื่อมขวางสูงส่งผลต่อปฏิกิริยาที่รวดเร็วทำให้การขึ้นรูปไม่ทั่วถึงส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุ โดยเมื่อมีการเติมโคโคซานเข้าสู่ไบโอเจลและทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียพบว่ามีความสามารถในการยับยั้งเนื่องจากคุณสมบัติของโคโคซานเป็นสารต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการยับยั้งแบคทีเรียเมื่อใช้โคโคซานร่วมกับสารยับยั้งชนิดอื่นๆ และศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสัณฐานวิทยาเพื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นไบโอเจล

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติยาภรณ์และคณะ (2562). การออกแบบวัสดุเชิงประกอบไฮโดรเจลที่เตรียมจากไคโตซานและคอลลาเจนเพื่อการประยุกต์ใช้งานในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [2] พรสุตาและคณะ (2563). การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่เตรียมจากวุ้น. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [3] Adane et al. (2022). Effect of Extraction Temperature on Pressurized Liquid. Mar. Drugs, 2-16.