

ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรีย*

Polyurethane films with antibacterial activity

รัฐพร ทองกุ่ม**

ทิพา อัครวัักษ์***

บทคัดย่อ

พอลิยูรีเทนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในด้านการแพทย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถเข้ากับสิ่งมีชีวิตได้และมีสมบัติเชิงกลที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาฟิล์มพอลิยูรีเทนที่มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์โดยการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์ เช่น กรดเบนโซอิก กรดซอบิค เมทิลพาราเบนและสารที่ใช้ในทางการค้า (Ciba Irgaguard® H6000) ลงในพอลิยูรีเทน และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์ม พอลิยูรีเทนด้วยเทคนิคทางสเปกโตรสโคปี (ATR-FTIR) จากนั้นทำการทดสอบฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์ด้วยการวัดร้อยละการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิคการนับโคโลนี (ISO22196) ทั้งนี้จะทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวกตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าฟิล์มที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดด้วยความเข้มข้นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักสามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดได้มากกว่าร้อยละ 99 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของสารต่อต้านจุลินทรีย์ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรีเทนโดยใช้เทคนิค Nanoindentation พบว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิกและเมทิลพาราเบนสามารถเพิ่มความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นให้กับฟิล์มพอลิยูรีเทนได้และเมื่อทำการทดสอบความชอบน้ำของฟิล์มพอลิยูรีเทนด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการยึดติดของจุลินทรีย์ (adhesion) บนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนพบว่าการเติมกรดเบนโซอิกและกรดซอบิคสามารถช่วยเพิ่มความชอบน้ำให้กับฟิล์มพอลิยูรีเทนได้อีกด้วย

Abstract

Polyurethane (PU) is widely used in medical applications because of its biocompatibility and mechanical properties. In this research, antimicrobial PU films were prepared with four different types of antimicrobial agents, which were benzoic acid,

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง “ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรีย” ภายใต้ทุนวิจัยนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ สนับสนุนโดยศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพร ทองกุ่ม อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โทร.02-441-9817-20 ต่อ 1173 E-mail: rattaporn.tho@mahidol.ac.th

*** ดร.ทิพา อัครวัักษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โทร. 02-201-5313 E-mail: thipa.asv@mahidol.ac.th

sorbic acid, methylparaben and commercial agent (Ciba Irguard[®] H6000). Chemical compositions of PU films were characterized by ATR-FTIR. The reduction of bacterial numbers using colony count method (ISO 22196) were used to determine antibacterial activities of the PU films. All blended films were tested on two bacterial species namely; *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, which are Gram negative and Gram positive bacteria, respectively. All blended films of four types of antimicrobial agents in various concentrations (10, 15 and 20%wt) exhibited more than 99% reduction in numbers of both bacterial cells. The effect of antimicrobial agents on mechanical properties of PU films were determined by Nanoindentation. PU films containing benzoic acid and methylparaben exhibited increases in both hardness and elastic modulus. Moreover, the hydrophilicity, which was associated to bacterial adhesion behavior of PU films, was examined by Goniometer. The hydrophilicity of PU films could be improved by benzoic acid and sorbic acid.

บทนำ

ในปัจจุบันวัสดุทางการแพทย์มีความจำเป็นอย่างมากในการดูแลรักษาผู้ป่วย แต่วัสดุทางการแพทย์ส่วนใหญ่ เช่น พิล์มปิดแผล (patch) พิล์มปิดแผลขณะผ่าตัด (surgical drape) ถุงมือผ่าตัด (surgical glove) เป็นต้น ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น จึงทำให้มีราคาแพงเกินกว่าที่ประชาชนส่วนใหญ่ในประเทศจะใช้ได้ เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีเพียงพอที่สามารถผลิตวัสดุทางการแพทย์เหล่านี้ได้เองภายในประเทศ ดังนั้นงานวิจัยด้านการพัฒนาวัสดุทางการแพทย์จึงมีความจำเป็นอย่างสูงต่อประเทศไทย จากการศึกษาพบว่าวัสดุทางการแพทย์ส่วนใหญ่ผลิตได้จากพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ ซิลิโคนและพอลิยูรีเทน เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในทางการแพทย์มายาวนานกว่า 70 ปี จึงเป็นการพิสูจน์ได้แล้วว่ามีความสามารถเข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ (biocompatibility) ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้⁸ แต่ทว่าซิลิโคนนั้นมีราคาแพง¹⁰ งานวิจัยนี้จึงเลือกพอลิยูรีเทนมาใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศและเป็นการลดต้นทุนของวัสดุทางการแพทย์อีกด้วย นอกจากพอลิยูรีเทนจะมีความสามารถเข้ากับร่างกายได้แล้ว ยังมีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความใสและทนต่อความร้อน นอกจากนี้พอลิยูรีเทนยังสามารถปรับแต่งให้มีคุณสมบัติต่างๆ ตามต้องการได้ง่ายอีกด้วย

โดยทั่วไปแล้ววัสดุทางการแพทย์ประเภทฟิล์มปิดแผล พิล์มปิดแผลขณะผ่าตัดและถุงมือผ่าตัดจำเป็นต้องมีความสามารถป้องกันน้ำและให้อากาศผ่านได้ดี เพื่อลดความชื้นซึ่งเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์และนำไปสู่การติดเชื้อและการอักเสบของบาดแผล งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการปรับแต่งคุณสมบัติของฟิล์มพอลิยูรีเทนให้มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ได้ โดยมีแนวคิดที่จะเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงในพอลิยูรีเทน ซึ่งจากการศึกษาวารสารนานาชาติที่ผ่านมาพบว่าสารที่ใช้ในการต่อต้านจุลินทรีย์นั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารเคมีและสารชีวภาพ (สารสกัดจากสิ่งมีชีวิต) ในกลุ่มของสารเคมีนั้นส่วนใหญ่

นิยมใช้สารในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์และอนุภาคโลหะระดับนาโน แต่ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของสารประกอบอินทรีย์และอนุภาคโลหะระดับนาโนแล้วพบว่าสารดังกล่าวมีอนุภาคขนาดเล็กสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและก่อให้เกิดการสะสมภายในอวัยวะในร่างกาย^{1,4} เช่น ตับและไต เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสารประกอบอินทรีย์มาใช้ในการต่อต้านจุลินทรีย์ โดยเฉพาะสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์ เช่น กรดเบนโซอิก กรดซอบิกและเมทิลพาราเบน เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์กลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์ ทั้งแบคทีเรีย รา และยีสต์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งได้รับการพิสูจน์แล้วว่าปลอดภัยกับมนุษย์ เนื่องจากเป็นสารกันบูดที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ทั้งในอาหาร ยาและเครื่องสำอางมายาวนานกว่า 30 ปี และมีราคาถูกอีกด้วย^{2-3,7}

แม้ว่างานวิจัยในส่วนของพอลิยูรีเทนที่มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์จะมีอยู่มากในปัจจุบัน งานวิจัยที่ผ่านมาจะมุ่งเน้นไปที่สารต่อต้านจุลินทรีย์ในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์และอนุภาคโลหะระดับนาโน เช่น เงินและไทเทเนียม^{8,12} เป็นต้น ซึ่งมีราคาแพงและก่อให้เกิดอันตรายจากการสะสมในร่างกายได้^{1,4} แต่งานวิจัยในส่วนของสารประกอบอินทรีย์มาใช้กับพอลิยูรีเทนนั้นยังคงมีน้อย ทั้งๆ ที่มีราคาถูกกว่าและปลอดภัยกับมนุษย์ ดังนั้นการนำสารประกอบอินทรีย์มาใช้เป็นสารต่อต้านจุลินทรีย์ในพอลิยูรีเทนจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างมาก และถือได้ว่าเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุทางการแพทย์ให้สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ทำให้วัสดุทางการแพทย์มีราคาถูกลงถือเป็นการยกระดับคุณภาพในการรักษาพยาบาลประชาชนให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาฟิล์มพอลิยูรีเทนให้มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์โดยใช้สารต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์
2. เพื่อศึกษาผลของสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีต่อฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้น
3. เพื่อศึกษาผลของสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้น

การทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยในส่วนของสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสารหลากหลายประเภท เช่น สารประกอบอินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์และอนุภาคโลหะระดับนาโน⁹ เป็นต้น โดยเฉพาะสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์ อาทิ กรดเบนโซอิก กรดซอบิก และเมทิลพาราเบน ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ราและยีสต์^{4,13-14} อีกทั้งปลอดภัยกับมนุษย์ เนื่องจากเป็นสารกันบูดที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ทั้งในอาหาร ยาและเครื่องสำอางมายาวนานกว่า 30 ปี¹⁴ ในส่วนของการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวลงในฟิล์มพอลิเมอร์นั้นมีการ

ทดสอบฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์ ด้วยเทคนิคทางชีววิทยา 2 วิธี คือ 1) การวัดค่าขอบเขตการต่อต้านจุลินทรีย์ (Inhibition zone) เพื่อทดสอบฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์โดยการแพร่ของสารต่อต้านจุลินทรีย์จากฟิล์มพอลิเมอร์ ซึ่งหากมีขอบเขตการต่อต้านจุลินทรีย์กว้างแสดงว่าสารต่อต้านจุลินทรีย์มีความสามารถในการแพร่ออกจากฟิล์มพอลิเมอร์เพื่อต่อต้านจุลินทรีย์ได้มาก^{8,11,15} 2) การวัดค่า %Reduction (ร้อยละการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์) เพื่อทดสอบฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์บริเวณพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์โดยที่ %Reduction จะบ่งบอกถึงฤทธิ์ของสารต่อต้านจุลินทรีย์ในการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่สัมผัสบริเวณพื้นผิวของฟิล์ม ซึ่ง %Reduction มาก แสดงว่าฟิล์มที่เตรียมขึ้นมีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์มากเช่นกัน¹⁰ นอกจากนี้ในการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์นั้นต้องคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลเป็นสำคัญ เนื่องจากการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงในฟิล์มอาจส่งผลทำให้สมบัติต่างๆ เปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อมีการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์แล้วจึงต้องทำการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มสมบัติทางกายภาพ เช่น สันฐานวิทยาของฟิล์มและความชอบน้ำ^{12,16} ฯลฯ และสมบัติเชิงกล เช่น ความสามารถในการทนความร้อนและมอดูลัสยืดหยุ่น⁵ เป็นต้น ของฟิล์มพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นด้วย

ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์อย่างแพร่หลาย แต่การศึกษาการต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ทำการเติมสารประกอบอินทรีย์ยังมีน้อยมาก^{8,12} เนื่องจากการวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การสังเคราะห์พอลิยูรีเทนโดยมีการเชื่อมต่อสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่บริเวณปลายสายโซ่^{11,14} ซึ่งใช้เวลายาวนานและมีขั้นตอนยุ่งยากในการเตรียมฟิล์ม และในส่วนของการใช้สารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์เติมลงในฟิล์มพอลิยูรีเทนนั้นก็ยังไม่มีการศึกษาจากเหตุผลที่กล่าวมานี้ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการวิจัยในส่วนนี้ ซึ่งงานวิจัยที่เสนอนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้สารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์ เช่น กรดเบนโซอิก กรดซอบิควิกและเมทิลพาราเบน เป็นต้น เติมลงในฟิล์มพอลิยูรีเทน เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มพอลิยูรีเทนให้มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ โดยจะมีการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลควบคู่ไปด้วย

ระเบียบวิธีวิจัย

1. กรอบแนวคิด

ปัจจุบันการพัฒนาพอลิเมอร์ให้มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์นั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1) การปรับแต่งส่วนเนื้อพอลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการผสมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงในเนื้อพอลิเมอร์โดยตรง (blending) หรือการสังเคราะห์มอนอเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์ (synthesized antimicrobial monomer) และ 2) การปรับแต่งส่วนของพื้นผิวของพอลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการเคลือบผิวด้วยสารต่อต้านจุลินทรีย์ (coating) หรือปรับแต่งพื้นผิวด้วยการเชื่อมต่อดัวยสารที่มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ (grafting) ทั้งนี้การพัฒนาพอลิเมอร์ให้มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป โดยในงานวิจัยนี้จะนำเทคนิคการผสมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงในเนื้อพอลิเมอร์โดยตรงมาใช้ในการพัฒนาฟิล์มพอลิ- ยูรีเทน เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย สะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งสามารถให้ฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ทั่วทั้งชิ้นงาน

สำหรับสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการผสมลงในพอลิเมอร์นั้น แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) สารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดอ่อน สารประกอบเปอร์ออกไซด์และสารประกอบฮาโลเจน ฯลฯ

2) สารประกอบอนินทรีย์ เช่น โลหะออกไซด์และเกลือของโลหะ เป็นต้น

3) อื่นๆ เช่น โคพอลิเมอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิต

โดยสารต่อต้านจุลินทรีย์ในกลุ่มของสารประกอบอนินทรีย์นั้นมีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์สูงมาก แต่สารประกอบอนินทรีย์เป็นสารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งประกอบด้วยไอออนโลหะขนาดเล็ก ซึ่งสามารถสะสมและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์และเอสเทอร์มาใช้ในการพัฒนาฟิล์มพอลิยูรีเทนให้มีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต

2. ขั้นตอนการวิจัย

1. เตรียมฟิล์มพอลิยูรีเทนด้วยการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังนี้

ก. ชนิดของสารต่อต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิค เมทิลพาราเบนและสารที่ใช้ทางการค้า (ciba)

ข. ปริมาณของสารต่อต้านจุลินทรีย์

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้น โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)

3. ทดสอบฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นโดยใช้เทคนิคการนับโคโลนีของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นการทดสอบเชิงปริมาณ (Quantitative test) ตามมาตรฐาน ISO 22196

4. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความชอบน้ำ (hydrophilicity) โดยทำการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้น

5. ทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้น เช่น ค่าความแข็งและมอดุลัสยืดหยุ่น โดยใช้เทคนิค Nanoindentation

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการเตรียมฟิล์มพอลิยูรีเทนจากพอลิยูรีเทน (prepolymer) ชนิด 1 องค์ประกอบแล้วเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาเชื่อมโยงสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยแสง (photoinitiator) 0.5% โดยน้ำหนัก จากนั้นใช้โพลูอินเป็นตัวทำละลายเพื่อช่วยในการผสม ทำการปาดพอลิยูรีเทนที่ทำการผสมเรียบร้อยแล้วลงบนแผ่นเทฟลอนที่ติดเทปกาวเพื่อควบคุมความหนาไว้ แล้วทำการระเหยตัวทำละลายด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการเชื่อมโยงสายโซ่พอลิยูรีเทนด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 10 นาที ทำการอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ลอกฟิล์มพอลิยูรีเทนออกจากแผ่นเทฟลอน จะได้ฟิล์มพอลิยูรีเทน ความหนา 415 ± 5 ไมโครเมตร ทำการเตรียมฟิล์มซ้ำโดยเติม

สารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และเปลี่ยนสารต่อต้านจุลินทรีย์จนครบทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิก เมทิลพาราเบนและสาร Ciba (Irgaguard® H6000)

4. การทดสอบฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์

โดยใช้เทคนิคการนับโคโลนีของจุลินทรีย์ ตามมาตรฐาน ISO 22196 (ฉบับดัดแปลง) และทำการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่

- *Escherichia coli* ATCC 25992

- *Staphylococcus aureus* ATCC 6538

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดลงในหลอดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (nutrient broth) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยให้มีความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น 10^9 - 10^{11} CFU/mL

2. เตรียมฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ต้องการทดสอบให้มีขนาด 2.5 ซม. X 2.5 ซม. จากนั้นนำฟิล์มพอลิยูรีเทนไปผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 254 nm เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำฟิล์มแช่ลงในหลอดเชื้อจุลินทรีย์ในข้อที่ 1

3. นำหลอดเชื้อจุลินทรีย์ในข้อที่ 2 ไปบ่มในตู้บ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. นำหลอดเชื้อจุลินทรีย์ในข้อที่ 3 ออกจากตู้บ่มเชื้อและทำการเจือจางเชื้อจุลินทรีย์ 10^2 - 10^8 เท่า (serial dilution technique) ด้วยสารละลายเกลือ (normal saline)

5. หยดเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำการเจือจางแล้วในข้อที่ 4 ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงบนจานเพาะเชื้อที่ทำการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (nutrient agar) ไว้แล้ว ใช้แท่งแก้วรูปตัววาย (Y-loop) เกลี่ยเชื้อจุลินทรีย์ให้ทั่วจานเพาะเชื้อ

6. นำจานเพาะเชื้อในข้อที่ 5 ไปบ่มในตู้บ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. นำจานเพาะเชื้อในข้อที่ 6 ออกจากตู้บ่มเชื้อและทำการนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อ จากนั้นทำการคำนวณเป็นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เหลืออยู่ (หน่วยเป็น CFU/mL) ภายหลังจากทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทน

8. นำปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เหลืออยู่ภายหลังจากทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนมาคำนวณร้อยละการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ (% Reduction) จากสมการ

$$\% \text{ Reduction} = \frac{(N_A - N_B)}{N_A} \times 100$$

เมื่อ N_A คือ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ภายหลังการทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนควบคุม (PU control)

N_B คือ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ภายหลังการทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

หมายเหตุ

- ตามมาตรฐาน ISO 22196 กำหนดว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ต้องมีค่า %Reduction มากกว่าหรือเท่ากับ 99% จึงจะถือว่าเป็นฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์และสามารถใช้ในทางการค้าได้

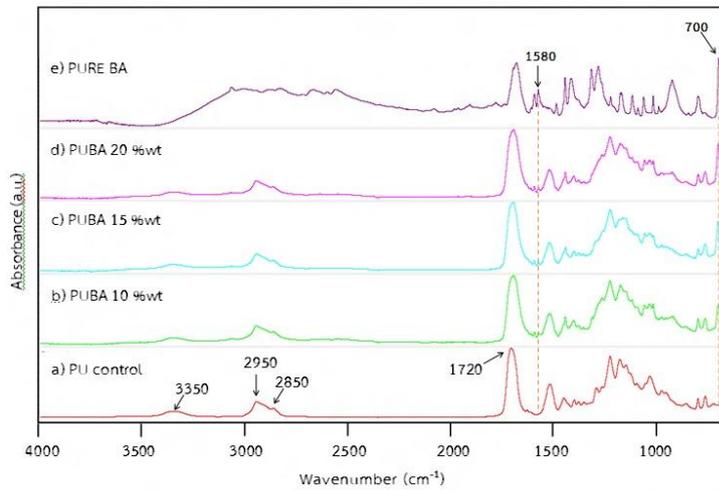
- เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เหลืออยู่ (หน่วยเป็น CFU/mL) ภายหลังการทดสอบกับฟิล์ม พอลิยูรีเทนมีค่าอยู่ระหว่าง 10^2 - 10^{11} CFU ดังนั้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของปริมาณที่ชัดเจนจึงใช้รูปของ \log CFU/mL ในการบอกปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

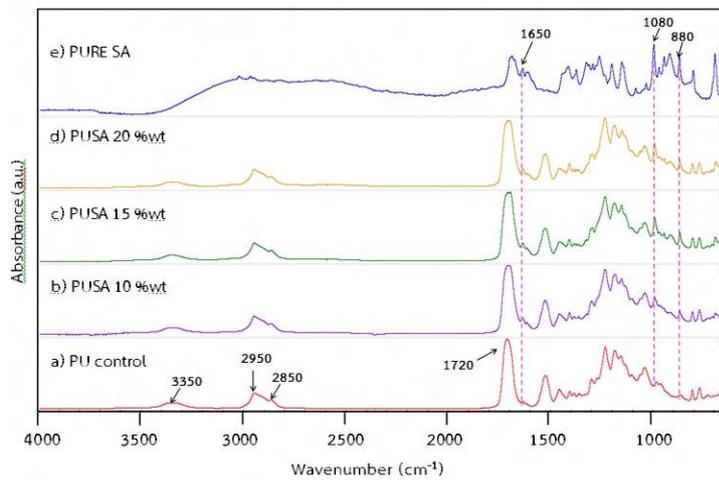
1. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารต่อต้านจุลินทรีย์ต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิยูรีเทน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มพอลิยูรีเทนพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงแสดงพีคเอกลักษณ์ (characteristic peak) ของพอลิยูรีเทนที่ตำแหน่ง 3350 cm^{-1} (N-H stretching) 1720 cm^{-1} (C=O stretching) 2950 cm^{-1} (CH_3 stretching) และ 2850 cm^{-1} (CH_2 stretching) และเมื่อทำการวิเคราะห์ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิกและเมทิลพาราเบนพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นทั้งหมดยังคงแสดงพีคเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทน อีกทั้งยังแสดงพีคเอกลักษณ์ของสารต่อต้านจุลินทรีย์ด้วย ซึ่งจากสเปกตรัมรูปที่ 1 (b-d) แสดงพีคเอกลักษณ์ของกรดเบนโซอิกที่ตำแหน่ง 1580 cm^{-1} (C-O stretching benzene ring) และ 700 cm^{-1} (C-H bending benzene ring) เช่นเดียวกับสเปกตรัมรูปที่ 2(b-d) แสดงพีคเอกลักษณ์ของกรด ซอบิกที่ตำแหน่ง 1650 cm^{-1} (C-O stretching) 1080 cm^{-1} (C-C stretching conjugate) และ 880 cm^{-1} (C-H bending conjugate) รวมถึงสเปกตรัมรูปที่ 3(b-d) แสดงพีคเอกลักษณ์ของเมทิลพาราเบนที่ตำแหน่ง 1580 cm^{-1} (C-O stretching benzene ring) 1300 cm^{-1} (C-C stretching benzene ring) 810 cm^{-1} (C-H bending para-substituted benzene ring) และ 760 cm^{-1} (C-H bending benzene ring)

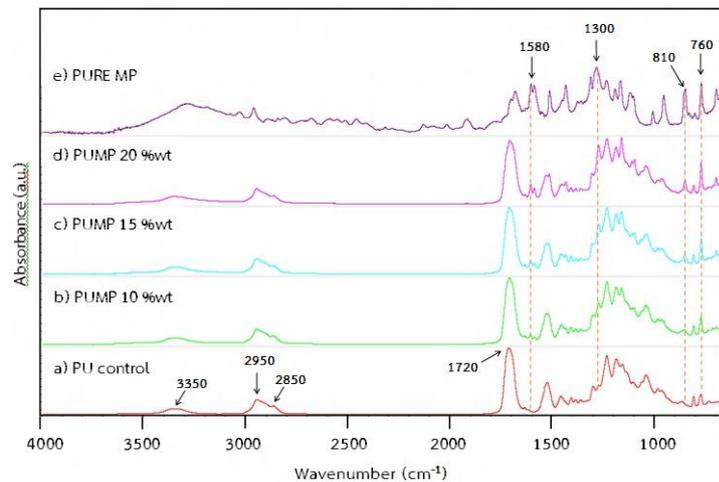
นอกจากนี้ยังพบว่าพีคเอกลักษณ์ของสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรด ซอบิกและเมทิลพาราเบนมีความสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารต่อต้านจุลินทรีย์จากร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเป็นร้อยละ 15 และ 20 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1-3



รูปที่ 1 ATR-FTIR spectrum ของ a) फिल्मพอลิยูรีเทน b-d) फिल्मพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิกที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และ e) กรดเบนโซอิกบริสุทธิ์



รูปที่ 2 ATR-FTIR spectrum ของ a) फिल्मพอลิยูรีเทน b-d) फिल्मพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดซอบิกที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และ e) กรดซอบิกบริสุทธิ์



รูปที่ 3 ATR-FTIR spectrum ของ a) फिल्मพอลิยูรีเทน b-d) फिल्मพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมเมทิลพาราเบนที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และ e) เมทิลพาราเบนบริสุทธิ์

2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารต่อต้านจุลินทรีย์ต่อฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มพอลิยูรีเทน

จากการทดสอบฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิค เมทิลพาราเบนและสาร Ciba ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนทั้งหมดสามารถต่อต้านเชื้อ *E. coli* และ เชื้อ *S. aureus* ได้มากกว่า 99% ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ISO 22196 และสามารถใช้ในการค้าได้

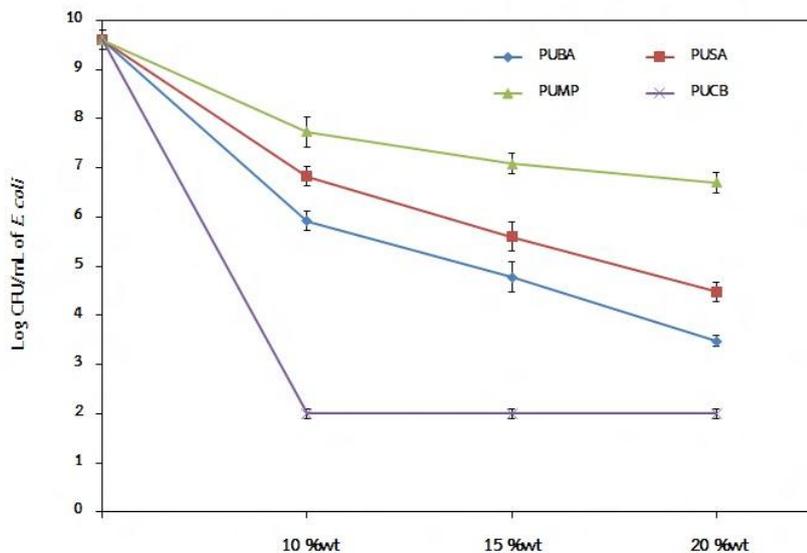
ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อ : *Escherichia coli* ATCC 25992 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ภายหลังจากการทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	%Reduction	
	<i>E. coli</i> ATCC 25992	<i>S. aureus</i> ATCC6538
PU control	-	-
PUBA 10%wt	99.98	99.99
PUBA 15%wt	99.99	99.99
PUBA 20%wt	99.99	99.99
PUSA 10%wt	99.83	99.99
PUSA 15%wt	99.90	99.99
PUSA 20%wt	99.99	99.99
PUMP 10%wt	98.66	99.78
PUMP 15%wt	99.70	99.99
PUMP 20%wt	99.86	99.99
PUCB 10%wt	99.99	99.99
PUCB 15%wt	99.99	99.99
PUCB 20%wt	99.99	99.99

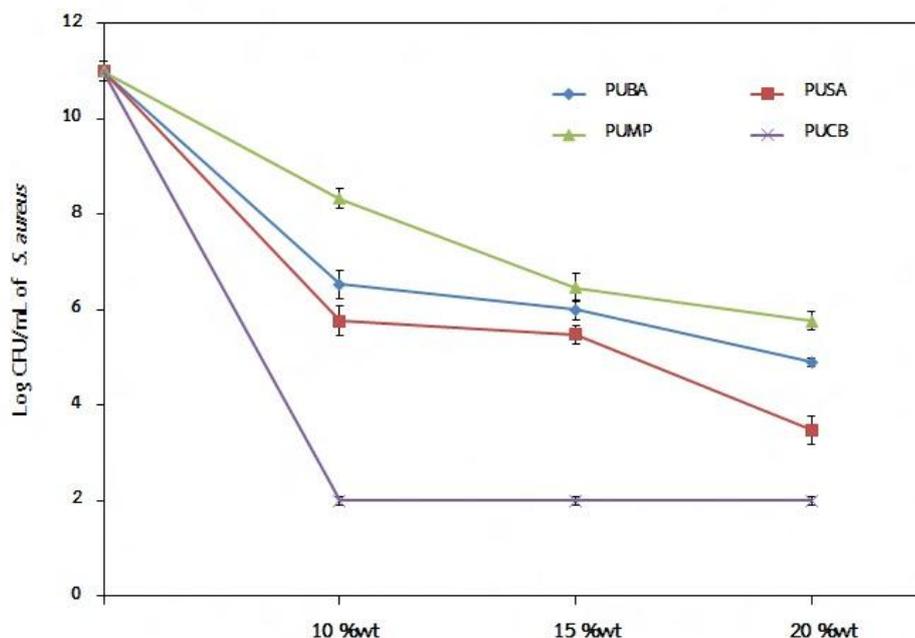
จากตารางที่ 1 เห็นได้ว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อ *E. coli* และเชื้อ *S. aureus* ได้มากกว่า 99% ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ISO 22196 แต่ผลจาก %Reduction เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกความแตกต่างของประสิทธิภาพการต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม พอลิยูรีเทนเหล่านี้ได้อย่างชัดเจน จึงได้ทำการนำเสนอประสิทธิภาพของฟิล์มพอลิ

ยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ในรูปแบบของความสัมพันธ์ของค่า log ของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (log CFU/mL) ภายหลังจากทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดกับความเข้มข้นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของสารต่อต้านจุลินทรีย์ ซึ่งค่า log ของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สามารถบอกถึงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ภายหลังจากทดสอบ หากมีค่า log CFU/mL น้อยแสดงว่าฟิล์มมีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์มาก

จากกราฟรูปที่ 4-5 พบว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสาร Ciba สามารถต่อต้านเชื้อ *E. coli* และ เชื้อ *S. aureus* ได้มากที่สุด รองลงมาคือกรดเบนโซอิกและกรดซอบิก เนื่องจากสาร Ciba นั้นเป็นสารประกอบ อนินทรีย์ที่ประกอบด้วยไอออนของโลหะเงิน ซึ่งไอออนโลหะเงินนี้สามารถจับเอนไซม์บางชนิดของจุลินทรีย์และทำให้ผนังเซลล์จุลินทรีย์ทำงานผิดปกติ อีกทั้งไอออนโลหะเงินสามารถเข้าไปทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ทันทีจึงมีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์สูงมาก⁶ ส่วนกรดเบนโซอิกและกรดซอบิกนั้นมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนสามารถละลายผนังเซลล์จุลินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วยไขมันและรบกวนสมดุลประจุของเซลล์จุลินทรีย์ จึงสามารถต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้น้อยกว่า รวมถึงเมทิลพาราเบนซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิกที่มีความเป็นกลางจึงทำให้มีฤทธิ์ในการต่อต้านจุลินทรีย์ได้น้อยที่สุด^{3,6} นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิกและเมทิลพาราเบนทำให้ค่า log CFU/mL ลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารต่อต้านจุลินทรีย์จากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นของสารต่อต้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มพอลิยูรีเทนมีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสาร Ciba พบว่ามีค่า log CFU/mL คงที่ตั้งแต่เติมสาร Ciba ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แสดงว่าการเติมสาร Ciba ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักก็เพียงพอที่จะทำให้ฟิล์มพอลิยูรีเทนมีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ได้แล้ว



รูปที่ 4 ค่า log CFU/mL ของเชื้อ *E. coli* ภายหลังจากทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5 ค่า log CFU/mL ของเชื้อ *S. aureus* ภายหลังการทดสอบกับฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

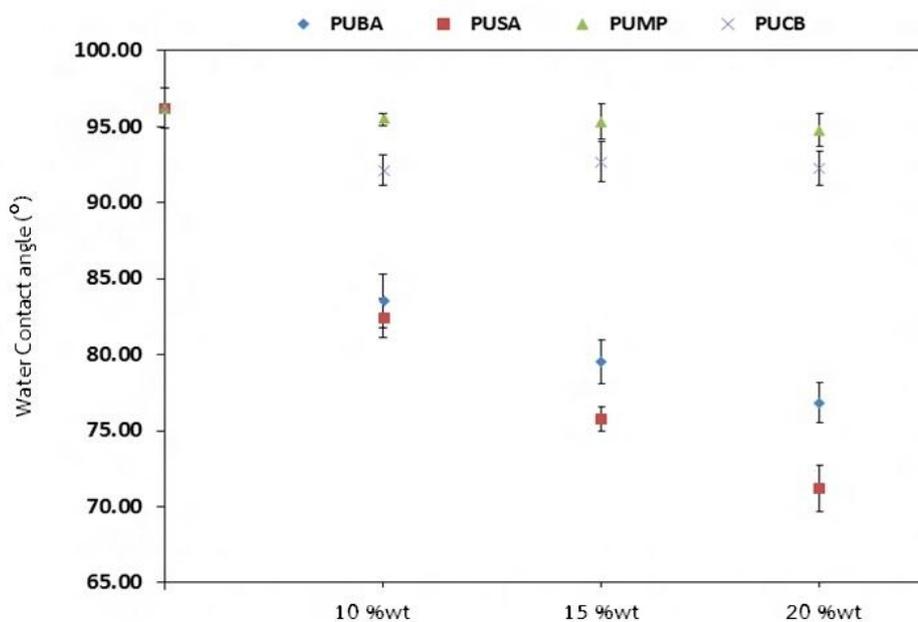
3. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารต่อต้านจุลินทรีย์ต่อสมบัติความชอบน้ำของฟิล์มพอลิยูรีเทน

ความสามารถในการยึดติดของจุลินทรีย์บนฟิล์มพอลิยูรีเทนนั้นเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญของจุลินทรีย์บนฟิล์มพอลิยูรีเทน เพราะหากจุลินทรีย์สามารถยึดติดบนฟิล์มพอลิยูรีเทนได้มากก็ สามารถเจริญบนฟิล์มได้มากตามไปด้วย และเนื่องจากผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ประกอบไปด้วยชั้นไขมันซึ่ง มีความชอบน้ำต่ำ (hydrophobic) จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดบนฟิล์มที่มีความชอบน้ำต่ำได้ดี ดังนั้นจึงทำการทดสอบมุมสัมผัสของน้ำบนฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิกและเมทิลพาราเบนที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อทดสอบความชอบน้ำของฟิล์ม ที่เตรียมขึ้น หากพบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มมีค่าลดลงแสดงว่าฟิล์มมีความชอบน้ำสูง (hydrophilic) มีผลทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนได้ไม่ดี ซึ่งทำให้สามารถลดการ เจริญของจุลินทรีย์บนฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นได้อีกด้วย

จากรูปที่ 6 พบว่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ ทั้ง 4 ชนิดมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อทำการหยดน้ำลงบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนแล้ว ฟิล์มพอลิยูรีเทนจะปรับ สภาวะของพื้นผิวโดยหันส่วนประกอบและสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีความชอบน้ำออกมาเพื่อสัมผัสกับหยด น้ำ ดังนั้นจึงพบว่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิก กรดซอบิก เมทิลพาราเบนและสาร Ciba มีค่าลดลงจาก 96 องศา (มุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ไม่มีการเติมสาร ต่อต้านจุลินทรีย์) เป็น 83 82 95 และ 92 องศา ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากรดเบนโซอิกและกรดซอบิกมี อิทธิพลต่อค่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์ม พอลิยูรีเทนมากกว่าเมทิลพาราเบนและสาร Ciba นอกจากนี้ยัง

พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดเบนโซอิกและ กรดซอบิกจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดย น้ำหนัก ตามลำดับ มุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลงมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะกรดเบนโซอิกและกรดซอบิกมี ส่วนประกอบของหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก (-COOH) ซึ่งสามารถแตกตัวด้วยน้ำกลายเป็นหมู่ ฟังก์ชันคาร์บอกซิเลต (-COO⁻) ได้ดี จึงทำให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนลดลงอย่างมาก ส่วนเมทิลพาราเบนมีส่วนประกอบเป็นหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซี (-OH) ที่ไม่สามารถแตกตัวด้วยน้ำได้ เช่นเดียวกับสาร Ciba ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ จึงมีผลทำให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์ม พอลิยูรี เเทนลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากผลการทดสอบความชอบน้ำของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ พบว่ามีความสอดคล้องกันกับผลการทดสอบฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์ในรูปของ log CFU/mL คือ ฟิล์ม พอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิกและกรดซอบิกมีความชอบน้ำสูง ทำให้จุลินทรีย์สามารถยึดติดบน ผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนได้น้อยจึงมีผลทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้น้อยและส่งผลให้ฟิล์มพอลิยูรี เเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิกและกรดซอบิกมีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ได้มากกว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมเม ทิลพาราเบน



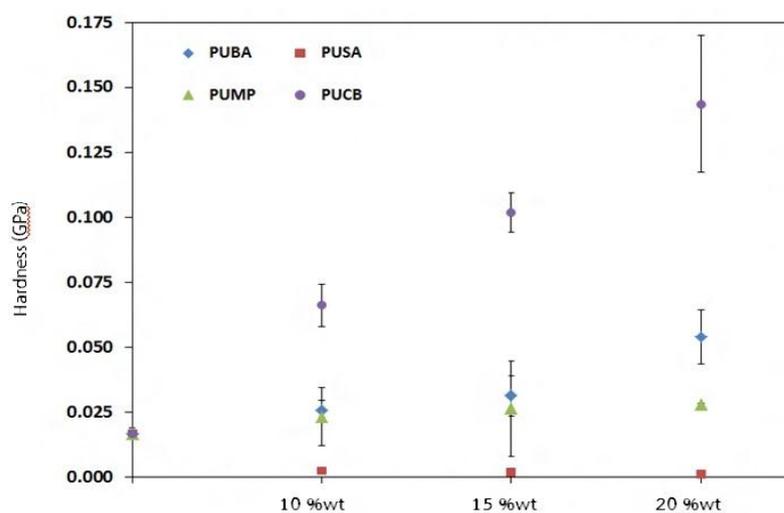
รูปที่ 6 ค่ามุมสัมผัสของน้ำบนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารต่อต้านจุลินทรีย์ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรี เเทน

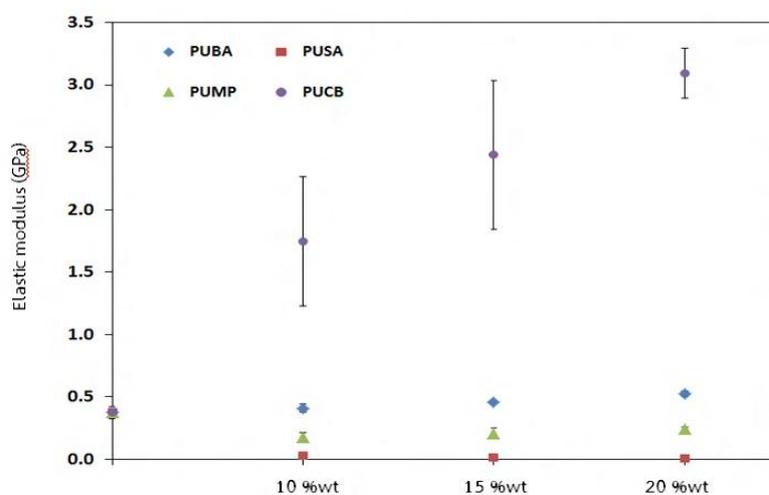
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นพบว่า ฟิล์มที่เติมสาร Ciba มี ค่าความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมาคือ ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เติมกรดเบนโซอิกและเมทิลพาราเบน เนื่องจากสาร Ciba เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ประกอบด้วยไอออนโลหะเงินและโลหะออกไซด์ ซึ่งมีความแข็งสูงมาก จึงทำให้ค่าความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นของฟิล์มมีค่าสูงมากตามไปด้วย ส่วนกรด

เบนโซอิกและเมทิล-พาราเบนมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นอะโรมาติกจึงทำให้ฟิล์มมีความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนในกรณีของฟิล์มที่เติมกรดซอบิกมีค่าความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นของฟิล์มลดลง เพราะกรดซอบิกมีโครงสร้างเป็นแบบสายโซ่ตรง (aliphatic) จึงทำให้มีความอิสระในการเคลื่อนที่ภายในโมเลกุล

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิกและเมทิลพาราเบนจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนักมีผลกระทบต่อความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิยูรีเทนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร Ciba จากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสาร Ciba จะมีความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นมาอย่างชัดเจน ทำให้สรุปได้ว่าปริมาณการเติมสาร Ciba มีอิทธิพลต่อความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิยูรีเทนมากกว่าการเติมกรดเบนโซอิก กรดซอบิกและเมทิลพาราเบน



รูปที่ 7 ค่าความแข็งของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 8 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

สรุปผล

ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซอบิค เมทิลพาราเบนและสาร Ciba มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อ *E. coli* และ เชื้อ *S. aureus* ได้มากกว่า 99% และจากกราฟความสัมพันธ์ของค่า log CFU/mL พบว่า ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสาร Ciba มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือฟิล์มที่ทำการเติมกรดเบนโซอิก กรดซอบิคและเมทิลพาราเบน ตามลำดับ และยังพบว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิกและกรดซอบิคสามารถช่วยเพิ่มความชอบน้ำให้กับฟิล์มพอลิยูรีเทนได้ จากผลการทดสอบความชอบน้ำซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการยึดติดของจุลินทรีย์บนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์นั้นพบว่ามีความสอดคล้องกันกับฤทธิ์การต่อต้านจุลินทรีย์ในรูปแบบของ log CFU/mL เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถยึดติดฟิล์มพอลิยูรีเทนได้น้อยทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตบนฟิล์มพอลิยูรีเทนได้น้อยลงด้วย นอกจากนี้การเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดลงในฟิล์มพอลิยูรีเทนไม่มีผลทำให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรีเทนลดลง โดยฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิกและเมทิลพาราเบนซึ่งมีโครงสร้างเป็นอะโรมาติกและฟิล์มพอลิเมอร์ที่ทำการเติมสาร Ciba ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ยังสามารถเพิ่มความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นให้กับฟิล์มพอลิยูรีเทนได้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ

- ¹Asha Rani P.V. et al. "Cytotoxicity and Genotoxicity of Silver Nanoparticles in Human Cells." *ACS Nano*. 3 (2009): 279-290.
- ²Bibek R. *In Fundamental Food Micrology*. 2 nd ed. New York: CRC Press Boca Raton London.
- ³Denyer S. P. "Mechanisms of Action of Antibacterial Biocides." *International Biodeterioration & Biodegradation*. (1995): 227-245.
- ⁴Eudald C., Socorro V. C., Neus G. B., Victor P. "Distribution and potential toxicity of engineered inorganic nanoparticles and carbon nanostructure in biological systems." *Trends in Analytical Chemistry*. 27 (2008): 672-683.
- ⁵Jason A. Grapski and Stuart L. C. "Synthesis and characterization of non-leaching biocidal polyurethane." *Biomaterials*. 22 (2001): 2239-2246.
- ⁶John S. C. "Biocide resistance mechanisms." *International Biodeterioration & Biodegradation*. 51 (2003): 133-138.
- ⁷Michael P. D., John N. S., Branen A. L. *In Antimicrobial in Food*. 3 rd ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2005.

- ⁸Nina M. K. L., Kimberly A. W., Stuart L. C., Michael D. L. In Polyurethanes in biomedical application. New York: CRC Press Boca Raton London, 1996.
- ⁹Paopla A. and Joseph H. H. “Review of antimicrobial food packaging.” Innovative Food Science & Emerging Technologies. 3 (2002): 113-126.
- ¹⁰Patricia Volkow M.D. et al. “Polyurethane II catheter as long-indwelling intravenous catheter in patients with cancer.” American Journal of Infection Control. 31 (2003): 392-396.
- ¹¹Piozzi A. et al. “Antimicrobial activity of polyurethanes coated with antibiotics: a new approach to the realization of medical devices exempt from microbial colonization.” International Journal of Pharmaceutics. 280 (2004): 173-183.
- ¹²Silveira M. F. A. et al. “Active film incorporated with sorbic acid on pastry dough conservation.” Journal of Food Control. 18 (2007): 1063–1067.
- ¹³Sofos J. N., Pierson M. D., Blocher J. C., and Busta F. F. “Mode of action of sorbic acid on bacterial cells and spores.” International Journal of Food Microbiology. 3 (1986): 1-17.
- ¹⁶Soni M. G., Taylor S. L., Greenberg N. A. and Burdock G. A. “Evaluation of the health aspects of methyl paraben: a review of the published literature.” Journal of Food and Chemical Toxicology. 40 (2002): 1335–1373.
- ¹⁷Speranza G. et al. “Role of chemical interactions in bacterial adhesion to polymer surface.” Biomaterials. 25 (2004): 2029-2037.
- ¹⁸Weng Y. M., Chen, M. J. and Chen W. “Antimicrobial food packaging materials from poly(ethylene-comethacrylic acid).” Lebensm.-Wiss. uTechnol. 32 (1999): 191-195.