บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางธรรมชาติ (natural rubber) ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในทางด้านการแพทย์ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลชนิดต่างๆ มากมายหลายชนิด เช่น ถุงมือยาง รองเท้ายาง สายยางยืด สายสวนปัสสาวะ ยางฟองน้ำ หน้ากาก เนื่องจากปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ทำให้คนทั่วไปมีโอกาสสัมผัสกับยางธรรมชาติมากขึ้นด้วย โดยเฉพาะผู้ใช้ถุงมือยางธรรมชาติในการปฏิบัติงาน ปัญหาสุขภาพที่เกิดกับผู้ใช้ถุงมือยางคือ การเกิดปฏิกิริยาภูมิแพ้ต่อโปรตีน (Latex Allergy) ในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งพบว่าการแพ้ยางธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถุงมือยางและผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติเช่น บุคลากรทางการแพทย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ รวมถึงผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมบางประเภท ทั้งนี้ มีรายงานการศึกษาในต่างประเทศพบว่าประชาชนทั่วไปร้อยละ 1-6 บุคลากรทางแพทย์ร้อยละ 8-12 และผู้ปฏิบัติงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติประมาณร้อยละ 10-15 มีภาวะภูมิไวในการตอบสนองต่อโปรตีนยางธรรมชาติ (ชญาภา นิ่มสุวรรณ, 2550) สำหรับในประเทศไทย ได้มีการศึกษาความชุกของการมีปฏิกิริยาภูมิแพ้ทางผิวหนังต่อโปรตีนยางธรรมชาติในบุคลากรทางการแพทย์ที่มีการใช้ถุงมือยาง พบว่ากลุ่มตัวอย่างประมาณร้อยละ 6 มีอาการภูมิแพ้ต่อโปรตีนยางธรรมชาติ และร้อยละ 2 มีปฏิกิริยาภูมิแพ้ทางผิวหนังต่อยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ โดยเฉพาะถุงมือยาง มักพบว่ามีโปรตีนตกค้างอยู่ ซึ่งในน้ำยางจะประกอบด้วยโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน ซึ่งปกคลุมด้วยชั้นบางๆ ของโมลกุลโปรตีน โดยโมเลกุลของโปรตีนในน้ำยางนี้มีความหลากหลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดอะมิโน จากการรายงานมีชนิดของอะมิโนที่แตกต่างกันถึง 316 ชนิด (Abu Bakar N.H.H, 2007) อาการแพ้น้ำยางธรรมชาติมีตั้งแต่ผิวหนังอักเสบ เป็นผื่นแดง เกิดลมพิษ คัน รวมทั้งภาวะหอบหืดไปจนถึง ปฏิกิริยาการแพ้อย่างรุนแรงเฉียบพลัน ซึ่งสามารถทำให้เสียชีวิตได้ อาการภูมิแพ้โปรตีนยางธรรมชาติโดยทั่วไปไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ และเมื่อเป็นแล้ว อาการจะมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นและมีภาวะภูมิคุ้มกันไวขึ้น ดังนั้น จึงมักใช้มาตรการควบคุมป้องกัน ซึ่งมุ่งเน้นการหลีกเลี่ยงไม่ให้สัมผัส เลือกใช้ถุงมือยางสังเคราะห์หรือวัสดุอื่นๆ ทดแทน เช่น ถุงมือน้ำยางสังเคราะห์ชนิดไนไตรล์ (nitrile latex) อย่างไรก็ตาม ถุงมือยางสังเคราะห์จะมีราคาสูงกว่า มีสมบัติความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่นตัวด้อยกว่าถุงมือยางธรรมชาติ อีกทั้งในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและกระบวนการผลิตที่ต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูงที่มีราคาแพง และใช้วัตถุดิบที่ได้จากกระบวน

การผลิตปิโตรเลียม ดังนั้นการพัฒนาถุงมือจากยางธรรมชาติที่ลดอาการแพ้ยางธรรมชาติให้น้อยลง ทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้ใช้ยางธรรมชาติซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนได้ มีราคาถูก มีสมบัติทางกายภาพที่ดี จึงเป็นแนวทางที่ดีในการลดต้นทุนและช่วยผู้ปฏิบัติงานที่แพ้ยางธรรมชาติได้อีกทางหนึ่ง งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาถุงมือยางธรรมชาติสำหรับลดอาการแพ้ยางธรรมชาติ ได้แก่ การเติมแป้ง แต่พบว่าผู้ใช้มีการแพ้แป้งโดยการหายใจเอาฝุ่นแป้งที่ดูดซับโปรตีนเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เกิดเชื้อราและแบคทีเรีย และไม่เหมาะกับการใช้งานเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังมีการแก้ปัญหาด้วยการลดสารเติมแต่งในกระบวนการวัลคาไนซ์และการเติมคลอรีน แต่พบว่าอายุการใช้งานของถุงมือลดลงเนื่องจากการลดสารเติมแต่ง และสีของถุงมือเข้มไม่น่าใช้งานเนื่องจากการเติมคลอรีน (ชญาภา นิ่มสุวรรณ 2550)

เมื่อไม่นานมานี้จึงได้มีการวิจัยที่ทำการเคลือบอนุภาคพอลิเมอร์บนผิวยางธรรมชาติ เพื่อลดการสัมผัสระหว่างผิวหนังกับถุงมือยาง ได้แก่ การเคลือบพอลิเมทิลเมทาคริเลต: PMMA (Sruanganurak A., 2007), (Anachaungsuk W., 2010) และเคลือบ PMMA/Chitosan (Kanjanathaworn N., 2013) การการทดลองพบว่า ความแข็งและความขรุขระที่ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น แต่ความเสียดทานที่ผิวสัมผัสลดลง จึงสามารถลดการสัมผัสระหว่างผิวหนังกับยางธรรมชาติได้ จึงลดอาการแพ้ยางธรรมชาติได้และช่วยลดแรงเสียดทานในการสวมใส่จึงใส่ได้สบายยิ่งขึ้น กระบวนการพัฒนาผิวหน้าของฟิล์มยางธรรมชาติด้วยการเคลือบอนุภาคของพอลิเมอร์นั้น ส่วนใหญ่เตรียมจากกระบวนการจุ่มฟิล์มยางลงในสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งจำเป็นต้องสังเคราะห์สารละลายพอลิเมอร์ก่อน และแผ่นฟิล์มยางที่ได้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นถุงมือยางได้ จึงมีการพัฒนาผิวหน้าฟิล์มยางธรรมชาติด้วยการกราฟต์พอลิเมอร์ในรูปแบบลาเท็กซ์ เช่น การกราฟต์ด้วยไคโตซาน (Riyajan S.A, 2013) การกราฟต์ด้วย PMMA (Saramolee P., 2014) ซึ่งพบว่ายางกราฟต์ไคโตซาน และ PMMA มีความแข็งเพิ่มขึ้น การบวมตัวลดลง ต้านทานความร้อนได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม ถุงมือยางธรรมชาติที่เคลือบอนุภาคของพอลิเมอร์นั้นยังมีการผลิตเชิงการค้าน้อย เพราะมีราคาแพง ดังนั้นการลดการแพ้โปรตีนน้ำยางธรรมชาติจึงมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้บุคลากรที่มีโอกาสสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แพทย์ พยาบาล ผู้ที่ทำงานกับสัตว์ และอาหาร จะสามารถติดเชื้อได้ง่ายแม้จะสวมถุงมือขณะทำงานแล้วก็ตาม ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อนุภาคของโลหะเงินมาใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในพอลิเมอร์และยางธรรมชาติ (Abu Bakar N.H.H. et.al, 2007, 2010), (Guidelli E.J., 2011), (Rathnayake W.G.I.U., 2012), (Lyutakov O., 2015) ซึ่งพบว่าอนุภาคซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กระดับนาโนสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียและเชื้อราได้

โดยทั่วไปการเคลือบพอลิเมอร์และการเติมอนุภาคในยางธรรมชาติจะใช้ยางธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบางจุ่มลงในสารละลายมอนอเมอร์หรือสารละลายที่มีอนุภาคที่ต้องการ ได้พอลิเมอร์

หรืออนุภาคติดบนผิวของยาง แต่การกราฟต์พอลิเมอร์ในรูปแบบอิมัลชันหรือแบบลาเทกซ์จะช่วยให้เปอร์เซนต์การกราฟต์สูง เมื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มจะให้สมบัติทนแรงดึงและความมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำน้ำยางคอมโพสิทที่ได้ในรูปแบบลาเท็กซ์นี้ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและความหนาต่างกันได้หลากหลายมากยิ้งขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจจะศึกษาสมบัติเชิงผิวสัมผัสและสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต และมีการเติมอนุภาคไคโตซานและนาโนซิลเวอร์ในรูปแบบอิมัลชัน เพื่อให้ได้ยางกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์และดคโตซานที่สามารถขึ้นรูปป็นถุงมือยางได้ โดยยางคอมที่ได้จะถูกตรวจสอบสมบัติทางผิวของ ได้แก่ ความแข็ง ความขรุขระ การกระจายตัวของพอลิเมอร์ ไคโตซาน และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ศึกษาสมบัติการยั้บยั้งเชื้อแบคทีเรีย และศึกษาสมบัติเชิงกลสำหรับการใช้งานเป็นถุงมือยางทางการแพทย์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้พัฒนาถุงมือยางธรรมชาติที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวหนังและถุงมือที่มีโปรตีนได้ และมีสมบัติยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไคโตซานจากแกนหมึกและตรวจสอบลักษณะของไคโตซาน

2. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตแบบอิมัลชันที่มีต่อลักษณะพื้นที่ผิวสัมผัส

3. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเติมอนุภาคไคโตซานและนาโนซิลเวอร์ที่มีต่อสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

4. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติคอมโพสิทตามมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ถุงมือแพทย์

ขอบเขตการวิจัย

1. สังเคราะห์ถุงมือยางธรรมชาติจากน้ำยางข้น 60% เป็น 4 ชนิด ได้แก่ ถุงมือยางธรรมชาติ ถุงมือยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต และถุงมือยางธรรมชาติยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีไคโตซาน และ ถุงมือยางธรรมชาติยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโน

2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงผิว ได้แก่ ความแข็ง ความขรุขระ การกระจายตัวของพอลิเมอร์ ไคโตซาน และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่สามารถลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวหนังและถุงมือที่มีโปรตีนได้ สมบติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และสมบัติเชิงกลสำหรับใช้เป็นถุงมือแพทย์ ของถุงมือทั้ง 4 ชนิด

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

ยางธรรมชาติ คือ วัสดุพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไฮโดรเจน และคาร์บอน ยางเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง มีต้นกำเนิดจากธรรมชาติมาจากของเหลวของพืชบางชนิด ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว คล้ายน้ำนม มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคเล็ก มีตัวกลางเป็นน้ำ

พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate) หมายถึง พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของเมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate) โดยมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ติดไฟง่าย และสามารถนำมาใช้ในวงการทางการแพทย์ได้

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Nano Silver) หมายถึง ธาตุเงินที่นำมาทำให้มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะทำปฏิกิริยากับสารโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่จำเป็นของจุลินทรีย์ แบคทีเรีย และไวรัส จะทำลายผนังเซลล์ส่งผลให้ DNA หยุดทำงานและตายในที่สุด

ไคโตซาน (Chitosan) หรือเรียกว่า Deacetylated Chitin เป็นโคโพลีเมอร์ที่เกิดจาก Glucosamine และN- acetylglucosamine ประกอบด้วย Glucosamine มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นสารอนุพันธุ์ของไคตินที่ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้นเพื่อกำจัดหมู่อะซิติลออก ทำให้โมเลกุลเล็กลง และมีคุณสมบัติที่อ่อนตัวสามารถขึ้นรูปเป็นเจล เม็ด เส้นใย หรือคอลลอยด์ รวมถึงการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆได้มากขึ้น นอกจากนั้น ไคโตซานประกอบด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นเปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์อื่นๆ ได้หลากหลาย

การแพ้โปรตีนของถุงมือยาง หมายถึง อาการแพ้สารโปรตีนจากถุงมือยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติโดยเป็นการแพ้แบบเฉียบพลัน ซึ่งมีลักษณะเป็นผื่นลมพิษแพ้จากการสัมผัส เช่น ผื่นแพ้สายรองเท้า สายยางรัดขอบกางเกงใน หรือบางรายได้หายใจเอาชิ้นส่วนเล็กๆ ทำให้เกิดภูมิแพ้ บางรายอาจเป็นแบบหอบหืด และชนิดที่รุนแรงอาจจะเป็น Anaphylaxis หากสงสัยว่า แพ้ยางพาราสามารถทราบได้โดยการทดสอบทางผิวหนัง และตรวจเลือด ส่วนการแพ้ยางอาจจะแพ้จากเนื้อยางหรือแพ้สารที่ผสมอยู่

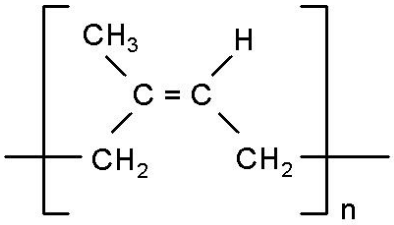
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ถุงมือยางธรรมชาติที่มีผิวสัมผัสขรุขระ จึงสามารถลดผิวสัมผัสระหว่างผิวหนังกับถุงมือยางได้ จึงมีโอกาสในการแพ้โปรตีนจากยางธรรมชาติลดลง และเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เกิดจากการสวมใส่ถุงมือยางเป็นเวลานาน และเมื่อผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำไปขัดแยกเป็นขยะปลอดเชื้อได้ เพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้ที่มีอาการแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ เป็นข้อมูลและแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ให้มีคุณภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มีหน่วยไอโซพรีน (C_5H_8)n โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000 -20,000 หน่วย (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549)



ภาพที่ 2.1 cis-1,4-polyisoprene
ที่มา: Science News, 2560

ยางธรรมมีส่วนประกอบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ยางธรรมชาติจึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน เบนซีน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติจะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่โมเลกุลของยางก็สามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบได้ในบางสภาวะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด เป็นต้น ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ และการเกิดผลึกที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางมีความแข็งมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี เช่น ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง เป็นต้น

มีการนำยางธรรมชาติไปใช้ในงานทางวิศวกรรมที่หลากหลายกว้างขวาง อุตสาหกรรมการผลิตยางจะประกอบด้วยอุตสาหกรรม 2 ส่วน ได้แก่ อุตสาหกรรมต้นน้ำ ซึ่งเป็นการผลิตวัตถุดิบ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปขั้นต้น ยางแปรรูปขั้นต้นนั้นได้มาจากวัตถุดิบ คือ น้ำ ยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม น้ำยางสดนี้จำเป็นต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง เพื่อไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาการใช้งาน ซึ่งการนำน้ำยางสดมาแปรรูปเป็นยางแปรรูปขั้นต้นนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. การแปรรูปในรูปแบบยางแห้ง แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1.1 ยางแห้งแบบธรรมดา ผลิตโดยวิธีดั้งเดิม ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ เป็นต้น

1.2 ยางแห้งแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล ได้แก่ ยางแท่งมาตรฐาน

1.3 ยางแห้งแบบอื่นๆ ที่มีวิธีการผลิตเฉพาะ เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ได้แก่ ยางที่มีความหนืดคงที่ ยางเทอร์โมพลาสติก ยางอิพอกซิไดซ์ยางผง ยางเหลว เป็นต้น

2. การแปรรูปในรูปแบบของเหลว ได้แก่ น้ำยางข้น ซึ่งมี 2 ประเภท ได้แก่

2.1 น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเคมีหรือวิธีการใดๆ เพื่อทำให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนรูปไป

2.2 น้ำยางข้นที่ผ่านกระบวนการดัดแปรด้วยสารเคมีหรือการฉายรังสี ทำให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนแปลงไป เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์”

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางจัดเป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำ แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

1. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตยางล้อยานยนต์ ประกอบด้วยยางล้อรถยนต์รถบรรทุก รถที่ใช้ในอุตสาหกรรมและการเกษตร รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน และยางล้อเครื่องบิน

2. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางใช้ในงานวิศวกรรมหรือใช้ในอุตสาหกรรม ประกอบด้วย ชิ้นส่วนยานยนต์ชิ้นส่วนยางอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ยางใช้ในงานก่อสร้าง สายพาน ท่อยาง และลูกกลิ้งยาง

3. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางข้น ประกอบด้วยถุงมือ ถุงยางอนามัย เส้นด้ายยางยืด/เส้นด้ายยางยืด ลูกโป่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในทางการแพทย์ เช่น สายสวนปัสสาวะ สายน้ำเกลือ เป็นต้น

4. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางอื่นๆ ประกอบด้วยรองเท้ายาง พื้นรองเท้า ยางรัดของ ผลิตภัณฑ์กีฬาและของเล่น เป็นต้น

น้ำยางข้น (Concentrated Latex) น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางจะมีปริมาณน้ำมากเกินไป ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังส่งผลให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดเสียก่อน จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งจากร้อยละ 30 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก น้ำยางที่ได้นี้เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) โดยจะต้องเติมสารรักษาสภาพ เช่น

แอมโมเนีย หรือแอมโนเมียร่วมกับสารอื่น เป็นต้น เพื่อป้องกันการบูดเน่าของน้ำยาง ทำให้น้ำยางสามารถเก็บไว้ได้นาน

ยางคอมพาวด์ (Rubber Compound) เป็นยางที่มีการผสมสารเคมีต่างๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่งปฏิกิริยา สารตัวเติม เป็นต้น พร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ถุงมือยาง ท่อยาง ยางรัดของ ถุงยางอนามัย ยางรองคอสะพาน เป็นต้น การผลิตยางคอมพาวด์จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีต่างๆ ในการออกสูตรเคมียางและการผสมยาง เพื่อให้ได้ยางคอมพาวด์ที่นำไปขึ้นรูปและคงรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการได้

การผสมยางเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากถ้าสารเคมีที่เติมลงไปในยางมีการกระจายตัว (Distribution) หรือการแตกตัว (Dispersion) ได้ไม่ดีก็จะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยตรง ดังนั้นการใช้กระบวนการผสมที่มีความแตกต่างกัน เช่น การใช้เครื่องผสมต่างชนิดกัน การใช้สภาวะการผสมที่แตกต่างกัน หรือการจัดลำดับการเติมสารเคมีลงในเครื่องผสมที่แตกต่างกัน จะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกันด้วย ถึงแม้ว่าจะเป็นยางสูตรเดียวกันก็ตาม ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของการผสมโดยน้ำยางคอมพาวด์ที่ได้จากการผสมแต่ละครั้ง (Batch) ไป เช่น ทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) สมบัติการคงรูปของยาง (Cure characteristics) เป็นต้น เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางให้คงที่

การใช้งานถุงมือยางของประเทศไทย

การใช้งานถุงมือยางในปัจจุบันมีหลายแบบ เช่น ใช้ในวงการแพทย์ หรือในอุตสาหกรรม หรือการใช้ในครัวเรือน ทำให้ผู้ผลิตถุงมือยางต้องผลิตถุงมือยางตามความต้องการตลาด ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของถุงมือยางตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ประเภท ได้แก่ ถุงมือยางที่ใช้ทางการแพทย์ ถุงมือยางที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และถุงมือยางในครัวเรือน มีรายละเอียดดังนี้

1. ถุงมือยางที่ใช้ในทางการแพทย์ (Medical Gloves) ถุงมือยางที่ใช้สำหรับทางการแพทย์ยังสามารถแบ่งได้อีก 2 แบบ ได้แก่

1.1 ถุงมือยางที่ใช้ในงานผ่าตัด (Surgical Gloves) หรืองานศัลยกรรม ซึ่งจะมีลักษณะเนื้อบาง มีความเหนียวและยาวถึงข้อศอก มีความแข็งแรงและต้องผ่านการฆ่าเชื้อ 100% ด้วยเครื่องแกรมมาเรย์ การบรรจุหีบห่อมีความเรียบร้อย สะดวกเวลาในการแกะใช้งาน โดยปกติจะใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง วัตถุดิบที่ใช้ คือ น้ำยางธรรมชาติเป็นหลัก และจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตค่อนข้างสูง เพราะต้องการถุงมือยางที่มีความสะอาดและมีคุณภาพสูง

1.2 ถุงมือยางที่ใช้ในงานตรวจโรคทั่วไป (Examination Gloves) เป็นถุงมือที่นำมาใช้ในวงการแพทย์สำหรับใช้ตรวจโรคทั่วไป มีลักษณะเนื้อบาง มีความกระชับมือ สั้นแค่ข้อมือ ไม่แยกข้างซ้าย หรือข้างขวา ใช้งานเพียงครั้งเดียวทิ้ง โดยไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรค มีทั้งแบบที่มีแป้งและไม่มีแป้ง การผลิตต้องออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน คือ ต้องสวมใส่ได้ง่าย แกะห่อได้อย่างรวดเร็วและราคาต้องไม่แพงมากเกินไป

2. ถุงมือยางสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial Gloves) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเฉพาะในการใช้งานในแต่ละอุตสาหกรรม มีความทนทานต่อการใช้งาน เช่น งานช่างซึ่งใช้สำหรับ การตัดเจีย จะมีลักษณะแข็งแรง เทอะทะ หรือในอุตสาหกรรมงานอิเล็กทรอนิกส์ จะมีลักษณะบางกระชับสวมเฉพาะส่วนหนึ่งของนิ้ว เรียกว่า ถุงนิ้ว หรืออาจใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป การบรรจุหีบห่อไม่จำเป็นต้องสวยงามมากนัก

3. ถุงมือยางที่ใช้ในครัวเรือน หรือถุงมือแม่บ้าน (Household Gloves) ถุงมือยางชนิดนี้จะมีความแข็งแรง ทนทาน เนื้อหนากว่าถุงมือยางที่ใช้ในการแพทย์เนื่องจากต้องสัมผัสกับน้ำ ผงซักฟอก หรือน้ำยาทำความสะอาดต่างๆ เป็นถุงมือที่ใช้สำหรับงานบ้าน หรือในครัวเรือน เช่น งานทำความสะอาด งานซักล้าง มีลักษณะแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานยาวนาน สวมใส่สบาย นุ่มมือ และมีให้เลือกหลายสี

วัตถุดิบที่นำมาผลิตถุงมือยางของไทย

อุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางของประเทศไทย ส่วนใหญ่จะใช้น้ำยางข้นชนิด 60% เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น โดยทั่วไปกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในประเทศจะใช้การปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นแยก หรือนิยมเรียกว่า การผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีปั่นแยก ด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ เป็นการผลิตน้ำยางข้นที่มีปริมาณการใช้มากในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำยางข้น สามารถแยกออกเป็น 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการรับน้ำยางและเตรียมน้ำยางสด กระบวนการปั่นแยกน้ำยางข้นและรักษาสภาพ และกระบวนการผลิตยางสกิม

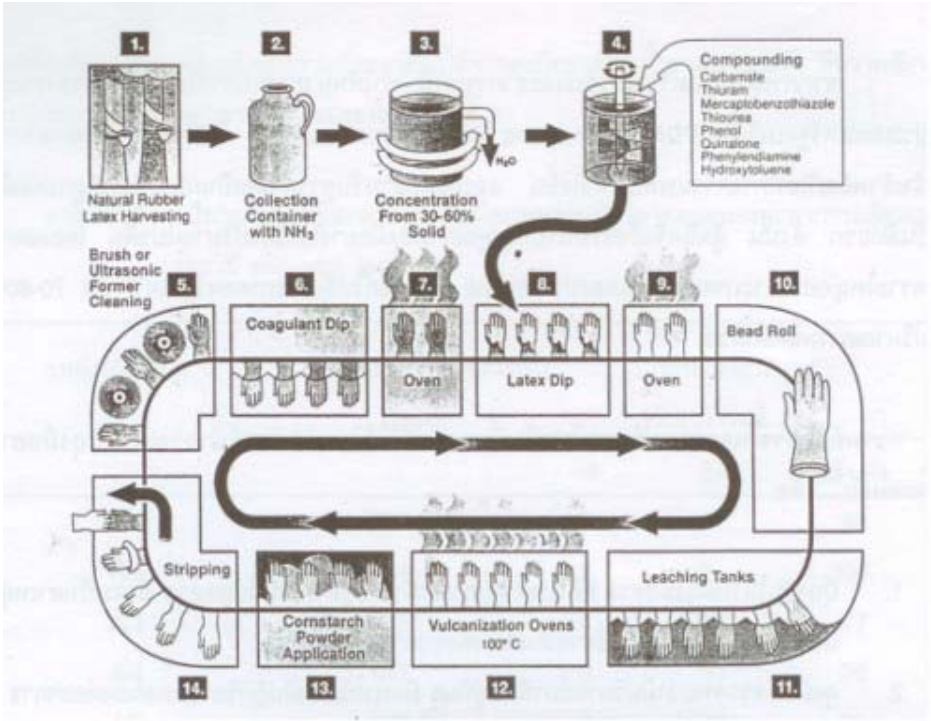
กระบวนการผลิตถุงมือยางของประเทศไทย

กระบวนการผลิตถุงมือยาง เป็นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากกระบวนการจุ่ม (Dipping) กระบวนการจุ่มเป็นกระบวนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีการจุ่ม โดยจะนำแบบพิมพ์ (Former) ซึ่งมีรูปทรงตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยทั่วไปแบบพิมพ์จะทำจาก โลหะ พลาสติก เซรามิก แก้ว อะลูมิเนียม หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ จุ่มลงในน้ำยางคอมปาวด์ (Compound Latex) ซึ่งน้ำยางคอมปาวด์ในอุตสาหกรรมประเภทการจุ่ม จะประกอบด้วยน้ำยางข้น และสารเคมี

อื่นๆ ซึ่งสูตรเคมีจะแตกต่างกันออกไปไปตามแต่ลักษณะผลิตภัณฑ์ เช่น ตัวอย่างสูตรสารเคมีสำหรับถุงมือยางจะประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสูตรเคมี สำหรับอุตสาหกรรมจุ่ม (ถุงมือแพทย์)

ชื่อสารเคมี	**น้ำหนักแห้ง (phr: ส่วนมนร้อยของน้ำหนักยางแห้ง)**
60% น้ำยางข้น	100
10% KOH	0.3
20% Potassium Laurate	0.2
50% Sulphur	0.5
50% ZDC	0.75
40% SDBE	0.5
40% Wingstay L	0.75
10% ZnO	0.4



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ที่มา: Chitsanupong, 2559

กระบวนการผลิตที่สำคัญได้ คือ กระบวนการล้างแบบพิมพ์ (Former Cleaning) การอบแบบพิมพ์ให้แห้ง ($Oven_1$) การจุ่มสารช่วยจับตัว (Coagulant) อบแห้งสารจับตัว ($Oven_2$) การจุ่มน้ำยางคอมพาวด์ (Latex Dipping) การอบหมาดฟิล์มถุงมือ ($Oven_3$) การม้วนขอบถุงมือ (Beading) การล้างฟิล์มถุงมือ (Leaching) การอบแห้ง ($Oven_4$) การจุ่มแป้ง (Powder) การอบแห้ง ($Oven_5$) และการถอดถุงมือ (Striping)

มาตรฐานการตรวจสอบถุงมือยางของไทย

มาตรฐานของถุงมือยางสำหรับตรวจโรค สำหรับการผลิตและการนำเข้าเพื่อขายให้ผู้บริโภคภายในประเทศ ซึ่งอาจทำจากน้ำยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ โดยจะต้องผ่านคุณภาพมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 30) พ.ศ.2547 เรื่องถุงมือสำหรับการตรวจโรค โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ประเภท โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือถุงมือยางทำจากยางธรรมชาติและทำจากยางสังเคราะห์

สำหรับการผลิตและการนำเข้าเพื่อขายให้ผู้บริโภคภายในประเทศ ซึ่งอาจทำจากน้ำยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ จะต้องผ่านคุณภาพมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 30) พ.ศ. 2547 เรื่องถุงมือสำหรับการตรวจโรค โดยมี รายละเอียด ดังนี้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือถุงมือยางทำจากยางธรรมชาติและทำจากยางสังเคราะห์

2) ชนิดถุงมือ โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดปราศจากเชื้อ และไม่ปราศจากเชื้อ

3) มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ในการพิจารณาความกว้างของฝ่ามือและความยาวของถุงมือยาง ให้อ้างอิงมาตรฐาน มอก.1056-2548 และความหนาของถุงมือยาง โดยความหนา ให้อ้างอิง ตามมาตรฐาน ISO 4648 และตำแหน่งสำหรับวัดความหนาให้อ้างอิง มาตรฐาน มอก.1056-2548 ซึ่งค่ามิติและความคลาดเคลื่อน ให้อ้างอิงตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

รหัสขนาด	**ขนาดระบุ**	**ความกว้าง (มม.)**	**ความยาวต่ำสุด (มม.)**	**ความหนา (ชั้นเดียว) ต่ำสุด (มม.)**	**ความหนา (ชั้นเดียว) สูงสุด (มม.) (ที่กึ่งกลางฝ่ามือ)**
6 และเล็กกว่า 6	เล็กพิเศษ (XS)	≤80	220	สำหรับทุกขนาด: บริเวณผิวเรียบ: 0.08 บริเวณผิวไม่เรียบ: 0.11	สำหรับทุกขนาด: บริเวณผิวเรียบ: 2.00 บริเวณผิวไม่เรียบ: 2.03
6.5	เล็ก (S)	80±5	220		
7	กลาง (M)	85±5	230		
7.5		95±5	230		
8	ใหญ่ (L)	100±5	230		
8.5		1100±5	230		
9 และใหญ่กว่า	ใหญ่พิเศษ (XL)	≥110	230		

4) การรั่วซึมน้ำ โดยให้อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.1056-2548 ภาคผนวก ก

5) คุณลักษณะเกี่ยวกับแรงดึง ชิ้นตัวอย่างถุงมือที่นำมาทดสอบต้องมีอายุไม่ต่ำกว่า 12 เดือน โดยตัดชิ้นงานเป็นรูปดรัมเบลล์แบบที่ 2 จำนวนชิ้นงานไม่น้อยกว่า 3 ชิ้น จากถุงมือแต่ละข้าง โดยค่าที่ได้ต้องเป็นไปตามค่าในตารางที่ 3

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะเกี่ยวกับแรงดึงและเกณฑ์ที่กำหนดของถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

ประเภทที่ทำจาก	**ก่อนบ่มเร่ง**		**หลังบ่มเร่ง**	
	แรงดึงเมื่อขาดต่ำสุด (นิวตัน)	ความยืดเมื่อขาดต่ำสุด (ร้อยละ)	แรงดึงเมื่อขาดต่ำสุด (นิวตัน)	ความยืดเมื่อขาดต่ำสุด (ร้อยละ)
น้ำยางธรรมชาติ	7.0	650	6.0	500
น้ำยางสังเคราะห์	7.0	500	7.0	400

6) ความปราศจากเชื้อโรค ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดปราศจากเชื้อ ต้องปราศจากเชื้อเมื่อทดสอบตาม USP 26

7) การชักตัวอย่างและเกณฑ์การยอมรับ การชักตัวอย่างและการตรวจสอบถุงมือให้เป็นไปตาม ISO 2859-1 ในกรณีไม่ทราบรุ่นให้ถือว่ามีขนาด 35,001-150,000

การแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

ในน้ำยางธรรมชาติจะประกอบด้วยโปรตีน (Natural rubber latex protein: NRL protein) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ รวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ที่มีหมู่อะมิโน (Amino groups) หลายร้อยหมู่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (Peptide bonds) เมื่อโปรตีนถูกย่อยสลาย ส่งผลให้ความยาวโมเลกุลของโปรตีนลดลงเหลือหมู่อะมิโนประมาณ 10 หมู่ ซึ่งโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติสามารถถูกย่อยสลายได้เมื่ออยู่ในสภาวะด่าง เช่น ในสารละลายแอมโมเนีย เป็นต้น การเปลี่ยนองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ มีผลสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง โดยโครงสร้างบางส่วนของโปรตีนจะถูกย่อยสลายเป็นโมเลกุลเล็กๆ

1. อาการแพ้ที่เกิดจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

อาการแพ้ที่เกิดจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) Irritant contact dermatitis (ICD) เป็นอาการแพ้น้ำยางที่พบได้มากที่สุด โดยจะเกิดอาการระคายเคืองบริเวณผิวหนังแต่ไม่มีการติดเชื้อ หลังจากสัมผัสกับผงแป้งหรือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางภายหลังกระบวนการผลิต อาจมีอาการอักเสบ หรือมีอาการคันอย่างรุนแรง และมีรอยแดงนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิของผิวหนังบริเวณที่สัมผัส ช่วงเวลาในการสัมผัส เป็นต้น พบว่า สาเหตุที่สำคัญของอาการแพ้ดังกล่าว คือ ความเป็นด่างของแป้ง (Alkaline pH) ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยาง อาการแพ้ชนิดนี้สามารถป้องกันได้หรือหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ยางที่ปราศจากผงแป้ง (Powder - free) ซึ่งมีความเป็นกรด - ด่าง (pH) ใกล้เคียงกับผิวหนังปกติ

2) Allergic contact dermatitis (ACD) หรือ Type IV cell - mediated hypersensitivity reaction เป็นการเริ่มต้นของอาการแพ้อันเนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายที่เรียกว่า T - cell mediated ซึ่งมีต่อสารเคมีที่อยู่ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางซึมสู่ผิวหนังแล้วไปรวมตัวกับโปรตีนในร่างกาย อาการที่ปรากฏจะเป็นอาการของผื่นคัน (Eczema) ที่พบบริเวณหลังมือเป็นส่วนใหญ่อาการแพ้นี้ เป็นอาการระยะที่ 2 ที่แสดงออกมาหลังจากสัมผัสผ่านไปแล้ว 48 - 72 ชั่วโมง โดยเกิดเป็นผื่นแดงของผิวหนัง มีไข้ และติดเชื้อ การวินิจฉัยโรคจะทำโดยใช้วิธีการทดสอบ Patch test โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอาการแพ้มากยิ่งขึ้น คือ ปริมาณสารของเคมีที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ยางหลังกระบวนการผลิตและสภาวะของผิวหนังที่สัมผัสในขณะนั้น ความแตกต่างของ ICD และ ACD คือ ICD จะแสดงอาการให้เห็นในระยะเวลาสั้นกว่า ขณะที่ ACD ต้องใช้เวลา 1 - 3 วัน และบริเวณที่เกิดอาการแพ้ของ ICD จะเกิดเฉพาะบริเวณที่มีการสัมผัสเท่านั้น ไม่สามารถลุกลามไปบริเวณอื่นได้เหมือนกัน

3) Type I IgE - mediated hypersensitivity reaction เป็นอาการแพ้ขั้นรุนแรงที่สุด สามารถพบได้ในผู้ป่วยร้อยละ 5 - 15 เมื่อสัมผัสโปรตีนที่อยู่ในน้ำยางหรือผลิตภัณฑ์ยางหลังกระบวนการผลิต ซึ่งมีอาการแพ้มากกว่าการแพ้จากการสัมผัสกับแป้งข้าวโพดหรือสารเคมีที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ยาง โดยโปรตีนจะซึมสู่ผิวหนังและร่างกายจะสร้างภูมิคุ้มกัน IgE antibodies ขึ้นมาเพื่อป้องกันอาการแพ้ นอกจากนี้ Latex protein ยังสามารถดูดซึมโดยส่งผ่านทางอากาศได้อย่างช้าๆ โดยจะแสดงอาการภายใน 30 นาทีที่สัมผัส อาการเริ่มต้นจากการเกิดผิวหนังอักเสบ เยื่อจมูกอักเสบและเยื่อตาขาวอักเสบ อนุภาคของแป้งและโปรตีนที่รวมตัวกันนี้จะปล่อยออกมาในอากาศและทำให้เกิดอาการหดเกร็งของกล้ามเนื้อหลอดลม (Bronchoconstriction) ส่งผลทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจตามมาในภายหลังเรียกอาการโดยรวมนี้ว่า Urticaria ส่วน Anaphylaxis นั้นเป็นอาการที่รุนแรงมากกว่า Urticaria เนื่องจากสาร Allergens จะเข้าสู่กระแสเลือดทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้นและความดันเลือดลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว

สารที่ทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ (Allergens) ที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติและเป็นสาเหตุของ IgE - mediated allergic นั้น ได้แก่ Hev b1 ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ที่พบในเด็กเป็นส่วนใหญ่ และ Hev b1 และ Hev b3 ที่มีการสร้างขึ้นมาอย่างผิดปกตินี้ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของอาการแพ้ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า 43 % ของผู้ป่วยที่มีอาการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาตินั้น อาจมีอาการแพ้ที่เกิดจากการย่อยอาหารร่วมด้วย โดยเฉพาะเมื่อรับประทานผลไม้เขตร้อน (Tropical fruit) โดยพบว่าในผลไม้นั้นมีโปรตีนที่ต่อต้านเชื้อโรคในร่างกาย (Fruit specific IgE antibodies) เช่น ชาวเยอรมันจะแพ้ผลกีวี กล้วย และมะเขือเทศ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีการทำปฏิกิริยาร่วมกัน (Cross reaction) ระหว่างอาหารและโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ทำให้ผู้ป่วยมีความไวต่ออาการแพ้มากขึ้น (รุจิกา ทักษ์คีรี, 2557)

การรักษาสภาพของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง (Rubber particles) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรุ่ม (Serum) นอกจากนี้ในน้ำยางยังมีส่วนของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางอีก เช่น สารโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท เป็นต้น ซึ่งสารโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยางจะห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ (Hydrated Protein Envelope) ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลวหรือความเสถียร (Stability) ของน้ำยางเพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางมารวมตัวกันและจับตัวเป็นก้อน (Coagulation) อีกทั้งในชั้นของโปรตีนยังมีอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต (Carboxylate : RCOO) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง ดังนั้นปัจจัยสำคัญ 2 ประการที่ทำให้น้ำยางยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ คือ ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางและอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต

การเสียสภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยางเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยทั้งสอง เช่น การสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต เป็นต้น สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนจะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนยาง เรียกว่า “โคแอกกูลั่ม” (Coagulum) แยกตัวออกจากส่วนของซีรัมในน้ำยางธรรมชาติ มีส่วนประกอบอื่นๆ หลายชนิดที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นถ้าไม่มีการรักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะสามารถปะปนในน้ำยางได้ง่ายและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดกรด ซึ่งจะไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง ทำให้ยางจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการหรือเพื่อให้น้ำยางอยู่ในสภาพของของเหลวตามที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

1. สารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้

1) มีประสิทธิภาพในการทำลายหรืออย่างน้อยสามารถระงับการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำยาง

2) ควรมีสภาพเป็นด่างเพื่อส่งเสริมสถานะสารแขวนลอยให้น้ำยาง

3) ทำให้อนุมูลโลหะหนักไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เพราะอนุมูลเหล่านี้จะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์

4) สามารถระงับการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยการเจริญของจุลินทรีย์

5) ไม่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และควรมีราคาเหมาะสม

6) ไม่เป็นพิษต่อสุขภาพของคนและต่อคุณภาพของยาง อีกทั้งยังสามารถขจัดออกจากน้ำยางได้โดยง่ายและสะดวกเมื่อถึงช่วงเวลาที่ไม่ต้องการ

2. ชนิดของสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง

1) แอมโมเนียเป็นสารรักษาสภาพน้ำยางที่นิยมใช้กันมากที่สุด ปริมาณแอมโมเนีย 0.2% ในน้ำยาง โดยน้ำหนักจะเพียงพอสำหรับการรักษาสภาพน้ำยางช่วงระยะเวลาสั้น (Short - Term Preservation) แต่ถ้าต้องการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงระยะเวลานาน ควรใช้ในปริมาณ 0.7% โดยน้ำหนัก ปกติจะนิยมใช้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ Anhydrous liquid บรรจุในถังมากกว่าการใช้ในรูปของแอมโมเนียน้ำเข้มข้น เนื่องจากแอมโมเนียน้ำเข้มข้นจะมีความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายน้อยกว่าแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ Anhydrous liquid บรรจุถังและการใช้แอมโมเนียน้ำเข้มข้นโดยตรงจะทำให้น้ำยางจับตัวเป็นกลุ่มๆ ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้แอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยางยังมีข้อบกพร่องหลายประการ เช่น หากสูดหายใจเข้าในปริมาณมากหรือสัมผัสกับปริมาณที่เข้มข้นมากๆ อาจมีอันตรายได้ จึงพยายามที่จะหาสารทดแทนการใช้แอมโมเนีย แต่พบว่า ยังไม่สามารถหาสารใดที่สามารถรักษาสภาพน้ำยางได้ดีเท่าแอมโมเนีย นอกจากลดปริมาณการใช้สารแอมโมเนียด้วยการใช้สารเคมีอื่นช่วยเสริมประสิทธิภาพการรักษาสภาพน้ำยาง (Secondary Preservatives) ได้แก่

Pentachlorophenates, Thiuram sulphides aminophenols,Zinc dialkyldithiocarbamates, และ Boric acid

2) สารชนิดอื่นๆ ที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง

(1) ฟอร์มาลดีไฮด์ ใช้เติมในรูปสารละลาย 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรลงในถ้วยและถังรับน้ำยางสดประมาณ 0.02% โดยน้ำหนักต่อน้ำยางทั้งหมด แต่พบว่า การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์รักษาสภาพน้ำยางสดที่จะนำไปปั่นทำน้ำยางข้นเพื่อใช้ในการทำยางฟองน้ำนั้น จะไม่เหมาะสมเนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์ที่ให้สารโปรตีนในน้ำยางเปลี่ยนแปลงและมีผลกระทบต่อคุณภาพของยางฟองน้ำ

(2) โซเดียมซัลไฟต์ ใช้เติมในรูปสารละลาย 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรลงในถ้วยและถังรับน้ำยางธรรมชาติประมาณ 0.05% โดยน้ำหนักต่อน้ำยางทั้งหมด ซึ่งการใช้สารนี้โดยเฉพาะกับกรณีที่จะนำน้ำยางธรรมชาติไปผลิตเป็นยางเครพขาวหรือเครพสีจาง (Pale Crepe) เพราะยางชนิดนี้เน้นเรื่องของสีของยางจะต้องจางมากที่สุด อาจกล่าวได้ว่าการใช้โซเดียมซัลไฟต์ในการผลิตยางเครพสีจางเพื่อช่วยทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาของ Enzyme ที่จะทำให้ยางสีเข้ม

(3) โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารตัวเลือกนอกเหนือจากแอมโมเนียเพื่อใช้รักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ใช้ในการรักษาน้ำยางข้นชนิดที่ใช้กรรมวิธีระเหยน้ำ (Evaporated natural rubber latex concentrate) เพราะสารนี้มีความเป็นด่างสูงจึงป้องกันปฏิกิริยาของบักเตรีได้ดีและรักษาความเสถียรให้น้ำยางได้ดี อีกทั้งไม่มีปัญหาในเรื่องของการฟอร์มสถานะหนืดอันเนื่องจากการมีปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide thickening)

3. สารทำให้น้ำยางจับตัว

น้ำยางธรรมชาติจะเกิดการจับตัวได้เองตามธรรมชาติ แต่ก็จะเกิดการจับตัวอย่างไม่สมบูรณ์และยังจะต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นถ้าต้องการจะทำให้น้ำยางจับเป็นก้อนเพื่อผลิตยางแห้งจำเป็นต้องเร่งการจับตัวของยาง โดยการใช้สารเคมีประเภทมีฤทธิ์เป็นกรดไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคของยาง กรดที่สามารถสลายตัวให้อิออนบวกของไฮโดรเจน (H+) จะสามารถทำให้น้ำยางธรรมชาติจับตัวได้ แต่กรดที่พบว่าเหมาะสมในการทำให้น้ำยางจับตัวเพื่อนำไปผลิตเป็นยางแห้งได้ เช่น ยางแผ่น รมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแท่ง คือ กรดฟอร์มิกและกรดอะซิติก เพราะเป็นกรดอ่อนที่สามารถทำให้น้ำยางจับตัวและไม่มีผลเสียต่อคุณภาพของยางที่ได้ อีกทั้งไม่ใช่กรดที่มีอันตรายรุนแรงต่อสุขภาพคนแต่ถ้าจะผลิตยางสกิม (Skim rubber) จากหางน้ำยางควรใช้กรดซัลฟูริค

ข้อดีและการประยุกต์ใช้น้ำอย่างธรรมชาติ

ข้อดีโดยพื้นฐานของน้ำยางธรรมชาติจะเหมือนกับพอลิเมอร์ดังนี้ คือ ใช้งานสะดวกกว่าในรูปแบบที่เป็นของเหลวของแข็งและผงปราศจากสารละลาย โดยเฉพาะสารละลายอินทรีย์ผสมและรวมตัวได้ง่ายกับสัตว์อื่นๆ เช่น สารละลายและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ลดขั้นตอนและใช้พลังงานต่ำในกระบวนการผลิต ประหยัดเพราะค่าใช้จ่ายในการผลิตค่อนข้างต่ำตัวอย่างของการนำน้ำอย่างธรรมชาติไปประยุกต์ใช้งาน

1. ในรูปแบบของแม่พิมพ์ เช่น แม่พิมพ์ยาง (Elastic Moulds) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมงานศิลปะ ทำมาจากอิลาสโตเมอร์เหลวที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น ซิลิโคนเหลว (Fluid Silicones) อย่างไรก็ตามแม่พิมพ์ดังกล่าวสามารถทดแทนโดยใช้วัตถุดิบจากน้ำอย่างธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้ประหยัดกว่าในขณะที่สมบัติมีความคล้ายคลึงกัน การใช้งานสะดวกเพราะไหลง่ายและสามารถแข็งตัวโดยการเคียว (Cure) ที่อุณหภูมิห้องการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มความสามารถในการไหลให้มากขึ้นได้โดยการเพิ่มส่วนผสมที่เป็นน้ำมัน

2. ในอุตสาหกรรมงานพิมพ์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้น้ำยางธรรมชาติที่ผสมกับอะคริลิก เรซิน (Acrylic Resin) เกิดการเชื่อมโยงด้วยแสง UV (Photocrosslink) ซึ่งวิธีการนี้จะนำมาใช้ในการผลิตผ้าหมึก (Thin Elastic Lining) ซึ่งจะลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการพิมพ์

3. ช่วยเพิ่มสมบัติการต้าน (Damping) ของยาง การแทนที่ยางธรรมชาติ โดยน้ำยางธรรมชาติเพียงบางส่วนของการสร้างยางสปริงเป็นที่ต้องการนำไปใช้งานเพราะจะช่วยเพิ่มสมบัติการต้านในยางทำให้แก้ปัญหาการสปริงตัวกับของยังสปริงได้

4. เป็นพลาสติไซเซอร์ (Nonextractable Plasticizer) จากการทดลองใช้กับยางอะคริโลไนไตร (Acrylonitrile) พบว่าสามารถยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สัมผัส
กับสารละลาย

5. เป็นสารประกอบที่มีความแข็งต่ำ การใช้งานน้ำยางธรรมชาติในลักษณะที่ถูกผสมแล้วจะให้ค่าความแข็งต่ำ (Shore hardness น้อยกว่า 10) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมบางอย่างได้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการพิมพ์ที่ต้องการของผสมของยางที่มีความแข็งต่ำ

6. ในรูปของยางแข็ง (Hard Rubber) ยางอีโบไนต์ (Ebonite) เตรียมได้จากการแข่งตัวของน้ำยางธรรมชาติโดยการเคียว (Cure) ด้วยกำมะถันในปริมาณ 35 phr ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่ายางทั่วไป

7. อุตสาหกรรมไฟฟ้า เพื่อลดต้นทุนและง่ายต่อกระบวนการผลิตการใช้น้ำยางธรรมชาติผสมเป็นยางคอมพาวด์ (Compound) สามารถวัลคาไนซ์ (Vulcanize) ได้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสามารถเติมสารเติมแต่งจำพวกที่ไม่ใช่สารเสริมแรงได้ในปริมาณมาก

8. กาว เนื่องมาจากการที่น้ำยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีการยึดติด (Tack) ที่ดีเยี่ยม จึงสามารถนำมาใช้งานเป็นกาวประเภทที่ไม่มีตัวทำละลายได้ เช่น ในอุตสาหกรรมรองเท้าและเทปกาวต่างๆ ซึ่งสามารถให้ความประหยัดและปลอดภัยกว่ากาวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ (แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงของการยึดเกาะที่สูงมากๆ เช่น การใช้งานในที่ต้องการการติดอย่างถาวร)

9. การเคลือบการใช้น้ำยางธรรมชาติร่วมในการเคลือบผิวด้วยน้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือพอลิเมอร์จะช่วยให้การผสมผสานทำได้ง่ายและรวดเร็วการเคลือบประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงและประหยัด ถูกใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความปลอดภัยต่อสุขภาพ โดยนำไปใช้งานเป็นส่วนประกอบของการห่อหุ้มสิ่งที่เป็นอันตรายหรือเมล็ดพันธุ์ต่าง ๆ

10. ตัวเชื่อมประสาน (Binder) น้ำยางธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นตัวเชื่อมประสานได้เพราะมีการยึดติด (Tack) ที่ดีมาก เช่น ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงแข็งของจรวด

11. ยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Elastomer) สามารถเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกได้จากน้ำยางธรรมชาติ โดยปฏิกิริยาการกราฟท์กับพอลิเมอร์ประเภทอื่นๆ เช่น พอลิสไตรีน

ถุงมือยางทางการแพทย์ (Medical Gloves)

ความหมายของถุงมือยางทางการแพทย์

ถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) หรือน้ำยางสังเคราะห์ (synthetic rubber latex) เท่านั้น ใช้เพื่อป้องกันอันตรายทั่วไปที่อาจเกิดขึ้นกับปลายแขนโดยเฉพาะมือขณะทำงาน เช่น ป้องกันสารเคมีจากสิ่งสกปรกและเชื้อโรค (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2557)

ชนิดของถุงมือทางการแพทย์ (Medical Glove)

แบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ถุงมือที่ใช้ในการผ่าตัด (Surgical Glove) ใช้สำหรับงานผ่าตัด ถุงมือชนิดนี้มีเนื้อบาง มีความแข็งแรง มีความยาวถึงข้อศอก และต้องผ่านวิธีฆ่าเชื้อ 100% โดยใช้รังสีแกรมมา สำหรับการบรรจุหีบห่อ จะมีความประณีตและสะดวกเวลาแกะใช้งาน ถุงมือชนิดนี้จะใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งเพื่อป้องกันเชื้อโรคและถุงมือยางใช้ในงานตรวจโรคทั่วไป (Examination Glove) ใช้สำหรับงานตรวจโรคทั่วๆ ไป มีทั้งชนิดมีแป้ง (Powdered) และชนิดไม่มีแป้ง (Non - Powdered) การผลิตถุงมือชนิดนี้ต้องออกแบบให้เหมาะกับลักษณะการใช้งาน คือ ต้องสวมใส่ได้ง่าย

แกะห่อได้อย่างรวดเร็ว ถุงมือประเภทนี้จะไม่มีข้างซ้ายขวา โดยออกแบบให้เป็น Ambidextrous คือ สามารถสวมใส่ได้ทั้ง 2 ข้าง ถุงมือชนิดนี้มีความบาง กระชับมือ มีขนาดสั้นแค่ข้อมือ และมีราคาไม่สูง ถุงมือชนิดนี้จะใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งเพื่อป้องกันเชื้อโรคแพร่กระจาย (ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภัสชกรณ์ หลิมเฮงฮะ, 2554)

แนวทางการแก้ไขปัญหาการแพ้โปรตีนจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

ปัญหาการแพ้โปรตีนจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติเป็นปัญหาที่พึ่งมามีความสำคัญเนื่องจากปริมาณการใช้ถุงมือเพื่อป้องกันการติดเชื้อมีมากขึ้น ปัญหาส่วนใหญ่เกิดกับบุคลากรทางการแพทย์ (ร้อยละ 10) ประเทศทางตะวันตกโดยเฉพาะในทวีปอเมริกาเหนือมีปริมาณการใช้ถุงมือสูง ปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้ประกาศข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณโปรตีนและแป้งในถุงมือ ดังนี้

1. ปริมาณโปรตีน ปริมาณโปรตีนที่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำในถุงมือจะต้องไม่เกิน 1,200 ไมโครกรัมต่อถุงมือ 1 ชิ้น อ้างอิงตามวิธี Modified Lowry หรือไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำยางธรรมชาติ

2. ปริมาณแป้ง ถุงมือผ่าตัดและถุงมือตรวจโรคชนิดมีแป้ง จะต้องมีปริมาณแป้งไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อถุงมือ 1 ชิ้น ถุงมือผ่าตัดและถุงมือตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง จะต้องมีปริมาณฝุ่นแป้งไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อถุงมือ 1 ชิ้น (ชญาภา นิ่มสุวรรณ, 2550)

ดังนั้นถ้าเราลดหรือกำจัดปริมาณโปรตีนรวมทั้งปริมาณแป้งได้ ก็จะช่วยลดสาเหตุของการแพ้ได้ ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีในการกำจัดปริมาณโปรตีนและแป้งหลากหลายวิธี ดังนี้

1. การลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางโดยใช้เอนไซม์ โปรติโอไลติก (Proteolytic Enzymes) โปรติเอสเป็นรูปหนึ่งของเอนไซม์โปรติโอไลติก ซึ่งมาจาก การแตกตัวของพันธะเปปไทด์ เอนไซม์สามารถเพิ่มอัตราการไฮโดรไลซ์โปรตีนได้มากถึงล้านเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้เอนไซม์ การนำโปรตีนออกจากน้ำยาง (Deproteinization) โดยใช้เอนไซม์และการปั่นแยกน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนตกค้างลดลง เช่น ถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เอนไซม์ Savinase จะมีปริมาณโปรตีนตกค้างต่ำกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และมีระดับสารก่อภูมิแพ้หรือแอลเลอเจนน้อยกว่า 10 Allergy Units/milliliter (AU/ml)

น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำหลายชนิดได้มีการผลิตและจำหน่ายในทางการค้าแล้ว เช่น ของ SELATEX ในมาเลเซียมีปริมาณโปรตีนแอนติเจนต่ำกว่า 0.1 (ทดสอบด้วยวิธี LEAP assay) และถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางชนิดนี้มีปริมาณโปรตีนตกค้างต่ำมาก คือ ต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อกรัม หรือ G-TEX LPX ซึ่งผลิตโดย Getahindus ก็มีรายงานว่าเมื่อนำไปผลิตถุงมือจะมีโปรตีนตกค้างต่ำกว่า 50

ไมโครกรัมต่อกรัม และมีสมบัติทางกายภาพดีตาม ข้อกำหนดของ ASTM แต่การใช้งานน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำยังมีไม่มากนัก อาจเนื่องมาจากราคาที่สูงกว่าน้ำยางข้นปกติ

2. ฟูมซิลิกา (Fumed Silica)

ฟูมซิลิกาสามารถช่วยลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางได้โดย ฟูมซิลิกาจะเข้าไปติดกับอนุภาคยางและแทนที่โปรตีน โปรตีนก็จะเป็นอิสระและสามารถถูกกำจัดออกได้ง่ายด้วยการล้าง วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายใช้เวลาสั้นแต่ค่าใช้จ่ายราคาสูง อาศัยเพียงแค่การล้างเท่านั้นไม่ต้องทำ Post - Treatment ฟูมซิลิกาที่เติมเข้าไปจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickening agent) แต่สมบัติของซิลิกาไม่เหมือนกับสารเพิ่มความหนืดอื่นๆ คือ ซิลิกาจะช่วยเพิ่มความทนต่อแรงดึงและความทนต่อแรงฉีกขาด สมบัติด้านความเสถียรและการขนส่งดีขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจะมีปริมาณโปรตีนต่ำ ซึ่งจากรายงานพบว่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์โดย Guthrie Research ที่ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5712 ของถุงมือยางที่ผ่านกระบวนการเติมฟูมซิลิกานี้มีค่าต่ำกว่า 28 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ต่อน้ำหนักเป็นกรัมของยาง ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจสอบได้ ในขณะที่ถุงมือยางอ้างอิงที่ไม่ได้เติมซิลิกามีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 105 ไมโครกรัมต่อกรัมของยาง

วิธีการนี้สามารถทำได้ในสายการผลิตโดยเติมฟูมซิลิกาลงในน้ำยางคอมพาวด์และอาจจะทำร่วมกับการทำคลอริเนชันหรือการล้างกับผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนถัดมาก็ได้
ทั้งนี้ขึ้นกับผู้ผลิตในการออกแบบกระบวนการ

3. การล้าง (Leaching)

การล้างเป็นขั้นตอนสำคัญในการเอาโปรตีนออกสำหรับการผลิตถุงมือทางการแพทย์ มี 2 ขั้นตอน คือ การล้างขณะฟิล์มเปียก (Eet Gel) และการล้างขณะฟิล์มแห้ง (Dry Film) โดยมีจุดประสงค์คือเป็นการกำจัดสารที่สามารถละลายน้ำได้ออกไปเพื่อเพิ่มความใสของฟิล์ม ป้องกันการบลูม (Bloom) ที่ผิวระหว่างการเก็บเพิ่มความทนต่อแรงดึงและลดการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์

การล้างขณะฟิล์มเปียกทำได้โดยล้างฟิล์มที่ติดกับแม่พิมพ์ (Former) ด้วยน้ำร้อนที่ 60 - 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาสั้นๆ ประมาณ 1 - 10 นาที ก่อนที่ฟิล์มจะถูกทำให้แห้งและเกิดการวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตน้ำร้อนจะช่วยให้ฟิล์มสามารถเกิดได้ดีขึ้น สำหรับการล้างขณะฟิล์มแห้งจะทำเมื่อฟิล์มนั้นถูกทำให้แห้งและผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว ซึ่งเป็นการล้างหลังจากถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งถ้าต้องการกำจัดสารที่สามารถละลายน้ำได้ออกให้หมด อาจต้องใช้เวลาในการล้างประมาณ 16 - 48 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ การล้างเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายที่สุดในการลดปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ ซึ่งถ้าจะให้ดีที่สุดนั้นควรจะต้องล้างทั้ง 2 ขั้นตอน คือ ทั้งขณะฟิล์มเปียกและฟิล์มแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถุงมือที่นำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า การแพทย์ และอาหาร แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึง คือ ความสะอาดของน้ำที่ใช้ล้างจะต้องมีการถ่ายเทออกไปและใส่น้ำใหม่

เติมเข้ามาแทนที่อย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการแทนที่น้ำเพื่อให้การล้างมีประสิทธิภาพขึ้นกับปริมาตรของน้ำที่ใช้ล้าง ซึ่งสัมพันธ์กับน้ำหนักของยางที่ถูกน้ำล้างไป

4. คลอริเนชัน (Chlorination)

คลอริเนชันเป็นวิธีการปรับผิวของถุงมือเพื่อลดการติดและช่วยในการสวมใส่ถุงมือแทนการใช้แป้ง ถุงมือที่ทำคลอริเนชันจะมีผิวลื่น เรียบ ไม่เหนียวติดและป้องกันโปรตีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ไปยังผิวชั้นนอกได้

คลอริเนชันสามารถทำได้โดยการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ทำปฏิกิริยากับกรดซึ่งจะให้อะตอมคลอรีนอิสระหรือการผ่านก๊าซคลอรีนลงไปในน้ำก็จะได้อะตอมคลอรีนอิสระเช่นกัน การใช้ก๊าซคลอรีนถูกกว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์แต่จะอันตรายกว่าในเรื่องของการเก็บและการนำมาใช้ การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์จะสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงได้หลายระดับตามความต้องการแต่มีราคาแพงกว่าคลอรีน

เมื่อนำถุงมือแช่ลงในถังสารละลายคลอรีน (ความเข้มข้นของคลอรีนประมาณร้อยละ 0.05 - 0.30) คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสายโซ่หลักของยางธรรมชาติที่บริเวณผิวหน้าของถุงมือ ซึ่งการทำคลอริเนชันนั้นสามารถทำในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องหรือแยกออกมาจากสายการผลิตได้โดยทำทีละแบทช์ในถังคลอริเนเตอร์ โดยใช้เวลาประมาณ 15 - 90 นาที ขึ้นกับกระบวนการผลิต จากนั้นนำถุงมือไปล้างน้ำและจุ่มลงในถังที่บรรจุสารละลายแอมโมเนีย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) หรือโซเดียมไธโอซัลเฟต เพื่อทำให้ค่าความเป็นกรด - เบสของถุงมือเป็นกลาง (Eutralization) นำถุงมือไปล้างและทำให้แห้ง ถุงมือคลอริเนตจะมีปริมาณโปรตีนตกค้างในผลิตภัณฑ์ต่ำมาก 0.01 - 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม วัดด้วยวิธี RRIM Modified Lowry, BSA standard แต่จะมีข้อด้อย คือ ถ้าในขั้นตอนการล้างไม่สามารถล้างคลอรีนออกไปได้หมด จะทำให้สมบัติทางกายภาพด้อยลงเมื่อผ่านการบ่มเร่ง เปราะ ฉีกขาดง่าย สีเปลี่ยนไป อายุการใช้งานสั้นลงเสื่อมสภาพได้ง่ายและมีกลิ่นแรง

5. การเคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์ (Polymer Coating)

การจำกัดการแพร่กระจายและการเคลื่อนที่ของโปรตีนอีกวิธีหนึ่ง คือ การเคลือบผิวถุงมือยางธรรมชาติด้วยพอลิเมอร์ เนื่องจากพอลิเมอร์จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของโปรตีนมาที่ผิว ลดการติดที่ผิวของถุงมือและยังทำให้ถุงมือมีผิวเรียบ สามารถทำได้โดยการลามิเนทชันของพอลิเมอร์หรือของผสมพอลิเมอร์บนผิวของถุงมือยางธรรมชาติ

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบผิว ได้แก่ พอลิยูรีเทน (Polyurethane) พอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) พอลิอะคริลิก แอซิดพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polyacrylic Acidpoly Methyl Methacrylate : PMMA) พอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl Acetate) ยางเอสบีอาร์คาร์บอกซิเลต (Carboxylated SBR) ยางบิวทาไดอีนคาร์บอกซิเลต (Carboxylated BR) พอลิอะคริโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile) ยางธรรมชาติกราฟต์ พีเอ็มเอ็มเอ (PMMA - grafted NR) พอลิไซลอกเซน

(Polysiloxane) พอลิอีเทอร์ (Polyether) พอลิเอสเทอร์ (Polyester) และพอลิคลอโรพรีน (Polychloroprene)

อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวนี้นิยมทำเพียงด้านเดียวแต่ว่าโปรตีนนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งสองด้าน ซึ่งการเคลือบผิวถุงมือยางธรรมชาติด้วยพอลิเมอร์ทั้งสองด้านนั้นก็สามารถทำได้ แต่จะมีราคาแพงและไม่ค่อยมีผลิตขายทางการค้า ดังนั้นถุงมือที่มีขายทางการค้า
ส่วนใหญ่จึงนิยมเคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์เฉพาะด้านที่สวมใส่และอาจทำคลอริเนชันที่ผิวด้านนอก

ถุงมือที่มีการเคลือบผิวนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ทำให้สวมใส่ได้ง่าย ถุงมือที่เคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์ทั้งสองด้านมีปริมาณโปรตีนที่ตกค้างต่ำ คือ 40 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีปริมาณแอลเลอเจนเท่ากับ 10 Allergy Units/milliliter (AU/ml) นอกจากนี้สมบัติความทนต่อแรงดึงของถุงมือทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งมีค่าไม่ต่างกัน

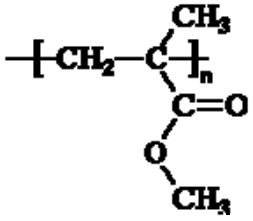
6. การลดปริมาณแป้งในถุงมือ

นอกจากโปรตีนจะเป็นสาเหตุหลักในการก่อให้เกิดการแพ้แล้ว แป้งที่ใช้ในการเคลือบผิวป้องกันการติดกันของถุงมือและช่วยในการสวมใส่ก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการแพ้โปรตีน ผู้ป่วยที่มีอาการแพ้จะมีปัญหาเรื่องระบบทางเดินหายใจและมีอาการหืดหอบเนื่องจากการหายใจเอาอนุภาคแอลเลอเจนจากน้ำยางธรรมชาติเข้าไปเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีการใช้ถุงมือชนิดที่มีแป้ง

แป้งที่นิยมใช้ในการเคลือบผิวถุงมือ คือ แป้งข้าวโพด ซึ่งสามารถจับกับโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติได้ดี นอกจากนี้แป้งข้าวโพดจะรบกวนการติดเชื้อของผู้ป่วยและเมื่อเกิดแผลจะทำให้แผลหายช้า จากการศึกษาของสถาบันวิจัยยางมาเลเซียพบว่า มีแป้งดัดแปรงหลายชนิดที่จับกับโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติได้ไม่ดีและอาจนำมาใช้แทนที่แป้งข้าวโพดได้

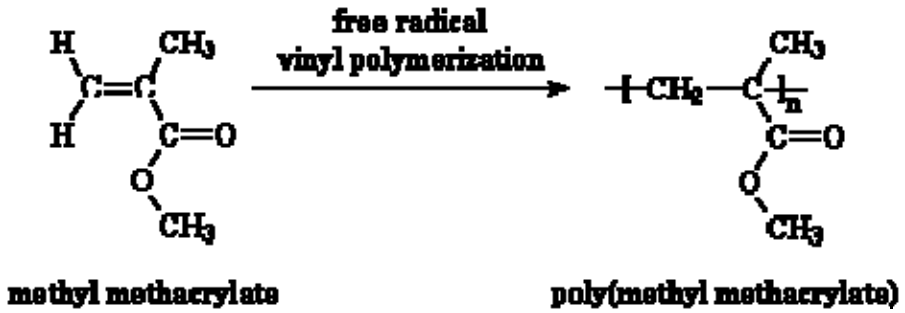
การล้างแป้งบนถุงมือออกก่อนการใช้งานสามารถลดการแพ้เนื่องจากแป้งในถุงมือได้แต่จะไม่สะดวกในการปฏิบัติจริง ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการผลิตถุงมือตรวจโรคและถุงมือศัลยกรรมชนิดไม่มีแป้งขึ้น (ชญาภา นิ่มสุวรรณ, 2550)

2 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly (methyl methacrylate)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง Poly (methyl methacrylate)
ที่มา: Polymer Science Learning Center, 2560

พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly (methyl methacrylate) หรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า อะคริลิก (Acrylic) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากเมทิลเมทาคริเลตเลตมอนอเมอร์ด้วยปฏิกิริยาการพอลิเมอไร เซชันแบบลูกโซ่ฟรีแรดิคอล (Free Radical Chain Polymerization)



ภาพที่ 2.4 การสังเคราะห์ Poly (methyl methacrylate)
ที่มา: Polymer Science Learning Center, 2560

พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) จึงทำให้มีความโปร่งใสคล้ายแก้วและมีสมบัติแข็งแต่เปราะ ด้วยสมบัติที่มีความโปร่งใสอีกทั้งยังสามารถย้อมสีได้ง่ายจึงทำให้มีการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาใช้ประโยชน์ในงานหลายด้าน เช่น ป้ายโฆษณา กรอบไฟท้ายรถยนต์ เลนซ์ กระเบื้องมุงหลังคาชนิดใส และอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น กระบวนการพอลิเมอไรเซชันของพอลิเมทิลเมทาคริเลต สามารถเตรียมได้หลายแบบได้แก่ แบบสารละลาย (Solution Polymerization) แบบแขวนลอย (Suspension Polymerization) แบบอีมัลชัน (Emulsion Polymerization) และแบบบัลค์ (Bulk Polymerization) ซึ่งกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุด ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างต่ำ และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสิ่งเจือปนน้อย โดยทั่วไปมักใช้เตรียมพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างความเป็นอสัณฐานสูง เช่น พอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาคริเลต และพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น พอลิเมทิลเมทาคริเลต มีคุณสมบัติทางกลที่ดี สามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อในร่างกาย มีความเป็นพิษต่ำ ขั้นตอนการผลิตทำได้ง่ายจึงนำมาใช้ทางการแพทย์อย่างกว้างขวาง

คุณสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

1. มีความหนาแน่นประมาณ 1.15 - 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2. มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 130 - 140 องศาเซลเซียสและจุดเดือดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

3. มีความทนทานต่อการกระแทก (Impact strength) สูงกว่าแก้วและพอลิสไตรีน แต่ต่ำกว่าพอลิคาร์บอเนตและพลาสติกวิศวกรรมชนิดอื่น

4. อะคริลิกพลาสติกมีเนื้ออ่อนจึงเกิดรอยขูดขีดได้ง่าย

5. แสงสว่างสามารถส่องผ่านเนื้อพลาสติกได้ถึงร้อยละ 92 และมีการสะท้อนกลับที่ผิวประมาณร้อยละ 4

6. มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น เช่น พอลิคาร์บอเนต จึงนิยมใช้อะคริลิกพลาสติกกับงานกลางแจ้งด้วย

7. อะคริลิกพลาสติกไม่ทนทานต่อตัวทำละลายหลายชนิด

ประโยชน์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

1. เป็นวัสดุใสมีความทนทานสูงและมีความโปร่งใสจึงใช้ผลิตแผ่นใสแทนกระจกไม่แตกกระจายเหมือนกระจก ใช้สำหรับผลิตสินค้าที่ต้องการมองเห็นภายใน ใช้เป็น Bone cement สำหรับเสริมความแข็งแรงให้กับกระดูกและข้อต่อของร่างกายสำหรับผู้ป่วยที่มีกระดูกพรุน กระดูกหัก หรือข้อต่อผิดปกติ

2. ผลิตคอนแท็กซ์เลนส์ชนิดแข็ง ซึ่งประกอบด้วย Methy Methacrylate และ Hydroxyethyl Methacrylate ร้อยละ 85 - 95 และ 5 - 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3. ใช้ร่วมกับสาร Monomer อื่นสำหรับผลิตเรซินชนิดต่างๆ เช่น Methyl Methacrylate - Butadiene - Styrene (MBS) ซึ่งเป็นเรซินที่รองรับแรงกระแทกได้ดี

4. ใช้ผสมในวัสดุเคลือบผิว (Surface coating) เพื่อทำให้วัสดุที่เคลือบมีความทนทาน

กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน

เป็นกระบวนการปลี่ยนโมเลกุลของมอนอเมอร์ซึ่งมีขนาดเล็กไปเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ในการเตรียมปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนั้นสามารถเตรียมได้โดยใช้เทคนิค ดังนี้

1. พอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization)

เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดในด้านหลักการและเครื่องมือ แต่การควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาค่อนข้างทำได้ยาก เนื่องจากระหว่างการเกิดปฏิกิริยามีการคายความร้อนมาก ช่วงที่มอนอเมอร์ทำปฏิกิริยาได้พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลสูง ความหนืดของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อาจเกิดปัญหาการถ่ายเทความร้อนขึ้นได้ สารตั้งต้นในระบบนี้มีแค่มอนอเมอร์และตัวริเริ่ม (Initiator) ไม่มีการใช้ตัวทำละลาย ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับวัตถุดิบในการผลิต

ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นและไม่ต้องมีการกำจัดตัวทำละลายออกจากพอลิเมอร์ภายหลังจากพอลิเมอไรเซชันเสร็จแล้ว

2. พอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization)

เทคนิคพอลิเมอไรเซชันนี้จะมีมอนอเมอร์หยดเล็กๆ กระจายอยู่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01 - 0.05 เซนติเมตร อยู่ในน้ำ การะทำให้มอนอเมอร์กระจายเป็นหยดเล็กๆ จะต้องกวนหรือปั่นอย่างรวดเร็วพร้อมกับการเติมดิสเพอร์สแซนต์ (Dispersant) เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมธิลเซลลูโลส ซึ่งจำเป็นต้องเป็นสารที่ละลายน้ำ โดยสารตัวนี้จะป้องกันไม่ให้มอนอเมอร์รวมตัวเป็นหยดใหญ่ ส่วนตัวริเริ่มเป็นสารที่ละลายได้ในมอนอเมอร์ เช่น เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ พอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอยนี้จะล้ายกับพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization) เพราะต่างก็มีตัวริเริ่มแตกต่างกันตรงมอนอเมอร์จะแยกจากกันเป็นหยดเล็กแขวนลอยอยู่ในตัวกลางข้อดีของพอลิเมอไรเซชันแบบขวนลอย คือ ลดปัญหาของการควบคุมอุณหภูมิและความหนืด เพราะมีตัวกลางที่ทำหน้าที่รับและกระจายความร้อนของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่ออกมาจะเป็นเม็ดเท่าขนาดของหยดมอนอเมอร์จึงแยกออกได้ง่ายโดยวิธีกรองธรรมดา

3. พอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

เทคนิคพอลิเมอไรเซชันนี้ใช้สบู่ซึ่งใช้เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เพื่อลดความตึงผิวของตัวกลางที่เป็นน้ำและตัวริเริ่มที่ใช้ เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) จะละลายอยู่ในน้ำไม่ได้ละลายอยู่ในมอนอเมอร์และขนาดของหยดมอนอเมอร์จะมีขนาดที่เล็กมาก ประมาณ 0.01 - 0.04 เซนติเมตร ทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดเล็กมาก

4. พอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization)

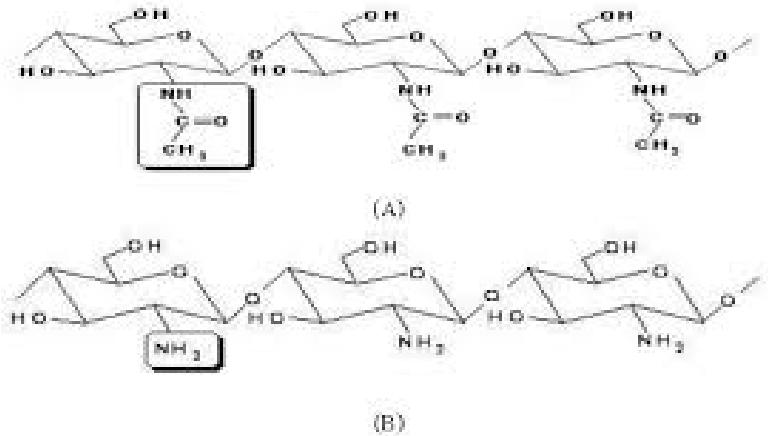
เป็นเทคนิคที่มีการใช้ตัวทำละลายเพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อน ข้อเสียของเทคนิคนี้ คือ อุณหภูมิของปฏิกิริยาต้องถูกจำกัดให้ต่ำกว่าจุดเดือดของตัวทำละลาย ซึ่งการจำกัดอุณหภูมิอาจส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้การกำจัดตัวทำละลายให้หมดจากพอลิเมอร์ที่เตรียมได้นั้นเป็นเรื่องยุ่งยาก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นและสุดท้ายการเลือกตัวทำละลายให้ไม่มีผลต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยาเลยนั้นทำได้ยาก ส่วนใหญ่พบว่าในระหว่างพอลิเมอไรเซชันมักเกิดการย้ายแรดิคัล จากสายโซ่ที่กำลังเจริญเติบโตไปที่โมเลกุลตัวทำละลาย (Chain transfer to solvent) ซึ่งส่งผลต่อความยาวของสายโซ่และทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง

1. ไคโตซาน (Chitosan)

ไคตินและโตซาน

ไคติน เป็นสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ (Poiysaccharide) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดกูลโคสมาต่อกันเป็นสายยาว โดยมีหมู่อะซีโตมิโด ($-NHCOCH_3$) เป็นองค์ประกอบ ที่เรียกว่า polyacetyl amino glucose ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly-□-(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucse มีสูตรโมเลกุล $(C_8H_{13}O_5N)_n$ ประกอบด้วย คาร์บอน 47.29% ออกซิเจน 39.37% ไนโตรเจน 6.89% และไฮโดรเจน 6.45% โดยน้ำหนัก เนื่องจากไคตินเป็นสารโพลิเมอร์ที่มีไม่ประจุ จึงทำให้ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไคตินที่สกัดได้โดยวิธีทางเคมีให้เป็นสารใหม่ที่เรียกว่า ไคโตซาน

ไคโตซาน เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) มาประกอบเรียกว่า poly amino glucose มีสูตรโมเลกุล $(C_6H_{12}O_4N)_n$ ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า poly-□-(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของสารไคติน ซึ่งเกิดจากการกำจัดหมู่อะซีติล (deacetylation) ออกจากไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น เพื่อให้เป็นโพลีเมอร์ที่สามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดซิตริก และกรดแลคติก เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ มากกว่าไคติน แต่อย่างไรก็ตาม ไคโตซานยังคงไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์น้ำและเบสได้ (ภควรรณ ปานข่อยงาม, 2552)



ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน (A) และไคโตซาน (B)

ที่มา: ภควรรณ ปานข่อยงาม, 2552

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซาน

คุณภาพของไคตินมีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ เนื่องจากไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน การที่ไคตินจะมีคุณภาพดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างคือ วัตถุดิบที่นำมาผลิตและกรรมวิธีที่ใช้ในการสกัด ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1) ขนาดของวัตถุดิบ การใช้วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก (1 mm) จะให้ไคโตซานที่มี ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลสูง กว่าการใช้วัตถุที่มีขนาดใหญ่ (2, 6.4 mm) เนื่องจากไคตินมีขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลาในการบวมตัวนานกว่า อัตราเร็วในการกำจัดหมู่อะซีติลจึงเกิดขึ้นช้ากว่า และส่งผลให้ทำปฏิกิริยา depolymerization สูงตามมา

2) ชนิดของสารละลาย สารละลายด่างที่นิยมใช้ในการกำจัดหมู่อะซิติลในไคติน คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซค์ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซค์ในการกำจัดหมู่อะซิติล ยังมีผลทำให้ได้ไคโตซานที่มีความหนืดสูงกว่าการใช้สารละลายด่างชนิดอื่น

3) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของสารละลายด่าง ระดับการเกิดปฏิกิริยา deacetylation จะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของปฏิกิริยา หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่ พบว่าหากนำไคตินไปทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติลในสารละลาย 50% โซเดียมไฮดรอกไซค์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไคโตซานที่ผลิตได้จะมีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 68% แต่หากเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไปเป็น 5 ชั่วโมง ระดับของการกำจัดหมู่อะซิติล จะมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของไคโตซานจะลดลง นอกจากนี้ หากพบว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่ำเกินไปหรือกระทำในสภาวะที่ไม่รุนแรงพอ อาจส่งผลทำให้ไคโตซานไม่สามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้ เช่น การใช้สารละลายด่างที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 45% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน

4) อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิติล การกำจัดหมู่อะซิติลส่วนมากจะกระทำที่อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ได้แก่ อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส และ 145 – 150 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้การกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานสูงขึ้น แต่น้ำหนักมวลโมเลกุลของไคโตซานจะลดลง ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปในการกำจัดหมู่อะซิติลจะทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติ และโมเลกุลเกิปฏิกิริยาเสื่อมสภาพได้ (degradation) จึงควรลดอุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิติลลงหากใช้ความเข้มข้นของสารละลายด่างที่สูงขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกำจัดหมู่อะซิติลที่รุนแรงเกินไป

5) สภาวะในช่วงการผลิตไคติน การแยกแร่ธาตุในขั้นตอนการผลิตไคตินมีผลต่อขนาดโมเลกุลของไคโตซาน โดยการใช้กรดเกลือที่มี pH ไม่ต่ำกว่า 3 จะได้ไคโตซานที่มีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของไคโตซานจะลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาในขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ

และยังพบว่าในกระบวนการผลิตหากทำการแยกแร่ธาตุออกก่อนกำจัดโปรตีน ไคโตซานที่ได้จะมีความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกก่อนแร่ธาตุ

6) อัตราส่วนระหว่างไคตินกับสารละลายด่าง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตซาน โดยสารละลายด่างที่ใช้ควรมีปริมาณมากเพียงพอในการทำให้เกิดปฏิกิริยากับไคตินได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายด่างที่สูงมากกว่า 1:10 จะไม่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา deacetylation ของไคติน

7) การฟอกสี โดยใช้ 0.5% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตซาน 2% acetic acid มีค่าลดลง ส่วนไคโตซานที่ไม่ผ่านกระบวนการฟอกสีจะมีค่าความหนืดมากกว่าไคโตซานชนิดที่ฟอกสีหลังกำจัดแร่ธาตุ ฟอกสีหลังกำจัดโปรตีน และฟอกสีหลังกำจัดหมู่อะซิติล ตามลำดับ (ภควรรณ ปานข่อยงาม, 2552)

สมบัติทางเคมี และกายภาพของไคตินและไคโตซาน

ไคตินและไคโตซานที่ผลิตจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันย่อมส่งผลทำให้มี สมบัติทางเคมี และกายภาพที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการตรวจสอบสมบัติทางเคมี และกายภาพ ของไคตินและไคโตซาน จึงสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไคตินและไคโตซานได้ โดยสรุปได้ดังนี้

1) การละลาย (Solubility) ไคตินและไคโตซานสามารถละลายได้ดีในกรดเข้มข้นจำพวกกรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายทั่วไป เช่น น้ำ กรดเจือจางที่มีค่า pH มากกว่า 6 ด่างที่เจือจางหรือเข้มข้น แอลกอฮอลล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ

2) ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of Deacetylation, %DD) เป็นปัจจัยพื้นฐานทางโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อสมบัติของไคโตซาน เช่น การละลาย ความหนืด และการดูดความชื้น ซึ่งมีผลต่อการนำไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ *N*-Acteyl-D-Glucosamine และ D-Glucosamine ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลจึงเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินและไคโตซาน ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมีมากกว่า คือมีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูงงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

3) ความหนืด (Viscosity) การไหลโพลเมอร์สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดขนาดของสายโซ่โพลีเมอร์ได้เป็นอย่างดี นอกจากหากสายโซ่โพลีเมอร์มีความยาวมากจะแสดงสมบัติการไหลที่ช้า โดยค่าของความหนืดจะแปรผันไปตามมวลโมเลกุลของโพลีเมอร์ชนิดนั้นๆ ค่าความหนือของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่ปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาวะการกำจัดหมู่อะซิติล มวลโมเลกุล

ความเข้มข้น ความเป็นกรดด่าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ชนิดของกรดที่ใช้ในการปรับค่า pH ยังส่งผลต่อความหนืดที่แตกต่างกันด้วย เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่มีความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น (ภควรรณ ปานข่อยงาม, 2552)

การนำไคตินและไคโตซานไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันมีการนำไคตินและไคโตซานมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น ดังนี้

1) นำมาใช้ด้านการเกษตร เป็นส่วนผสมของสารปรับสภาพดินสำหรับเพาะปลูก ช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด สารต้านทานโรคพืช และใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นข้าว เช่น เชื้อราของต้นข้าวโพด โดยใช้เป็นส่วนผสมของสารฉีดพ่น

2) ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ โดยใช้เป็นตัวประสานและเป็นสารให้ความหนืดในสารแป้งพิมพ์ของงานพิมพ์บนผืนผ้า

3) ใช้ทำฟิล์มหุ้มอาหารเพื่อการถนอมอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย และเชื้อรา รวมถึงมีความสามารถในการควบคุมความชื้นของอาหาร

4) ใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอาง เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและต่อต้านจุลินทรีย์ จึงใช้เป็นส่วนผสมของสารที่ให้คววามชุ่มชื้น ในครีมบำรุง และโลชั่นต่างๆ

5) ใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์และเภสัชกรรม โดยใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผล เช่น ไหมเย็บแผล พลาสเตอร์ปิดแผล เป็นต้น โดยมีคุณสมบบัติป้องกันการติดเชื้อจึงทำให้แผลหายเร็วขึ้น ใช้เป็นส่วนผสมของเม็ดยา เพื่อควบคุมการแพร่และซึมผ่านของยา

6) ใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในการแยกโปรตีนและไขมันออกจากน้ำเสีย ใช้กำจัดสีในน้ำทิ้ง ใช้เป็นตัวจับไอออนโลหะ เช่น ปรอท ทองแดง ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงงาน สามารถลดความขุ่นของน้ำเสีย ใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง ปริมาณตะกอนแขวนลอยในอเลี้ยงกุ้งลงได้ (ภควรรณ ปานข่อยงาม, 2552)

ชีววิทยาของสัตว์ทะเลที่นำมาผลิตไคโตซาน

1) แมงดาทะเล (Horseshoe crab) จำแนกชนิดและการแพร่กระจายของแมงดาทะเล พบว่า ในปัจจุบันมีแมงดาทะเลเหลือเพียง 4 ชนิดในโลก โดยพบในประเทศไทย 2 ชนิดคือ แมงดาจาน (*Tachypleus gigas*) และ แมงดาถ้วย (*Carcinoscorpius rotundicauda*) ซึ่งแมงดาหางกลม

หรือแมงดาถ้วย หางมีลักษณะค่อนข้างกลมเรียบ ไม่มีสัน ส่วนแมงดาจานหาง มีลักษณะเป็นสันรูปสามเหลี่ยม ตัวผู้มีขอจับ 2 คู่ ลักษณะคล้ายก้ามหนีบ (hook) ซึ่งเรียกว่า clasper แมงดาทะเลขนาดใหญ่สุดมีความยาวกระดอง 20-25 เซนติเมตร ความกว้างกระดองไม่เกิน 15 เซนติเมตร พบในมหาสมุทรแปซิฟิก บริเวณตอนใต้ของฟิลิปปินส์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย อ่าวเบงกอล และประเทศไทย

รูปร่างลักษณะของแมงดาทะเล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนหัว ส่วนนี้จะปกคลุมด้วยกระดองรูปครึ่งวงกลมคล้ายเกือกม้า ซึ่งรวมส่วนหัวกับส่วนอกไว้ด้วยกัน เรียกว่า cephalothorax ส่วนที่ 2 เป็นส่วนท้อง (abomen) เป็นรูปหกเหลี่ยม บริเวณด้านข้างมีหนาม 6 คู่ และส่วนที่ 3 คือส่วนหาง ที่ปลายหางมีลักษณะเรียวแหลม

2) หมึกกระดอง (Rainbow Cuttlefish) หมึกกระดองเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ที่ผ่านการวิวัฒนาการจนเปลือกกลับเข้าไปอยู่ภายในลำตัว โดยเปลือกนี้มีลักษณะเป็นแผ่นแบนกว้างรูปไข่และหนา เนื่องจากมีการสะสมของหินปูน ที่เรียกว่า Cuttle bone หรือ ลิ้นทะเล ซึ่งกระดองหรือเปลือกที่อยู่ในลำตัวของหมึกกระดองนี้ นอกจากจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างภายในของร่างกายแล้ว ยังสามารถใช้ในการเคลื่อนที่แนวดิ่ง หรือการลอยตัวอยู่กับที่ให้กับหมึกกระดองอีกด้วย

หมึกกระดองมีลำตัวแบนยาวรี มีครีบด้านข้างตลอดความยาวลำตัว แต่ไม่เชื่อมต่อกันในต้อนท้ายตัว หมึกกระดองประกอบด้วย ส่วนหัว และส่วนลำตัว ส่วนหัวประกอบด้วย แขน (arm) มี 4 คู่ หนวดจับ (tentacle) 1 คู่ ปาก (mouth) โดยบนแขนและหนวดจะประกอบด้วย ปุ่มดูด (Sucker) หนวดจับมี 2 เส้น มีคามยาวกว่ารยางค์คู่อื่น ใช้สำหรับจับอาหารหรือจับเหยื่อ ลำตัว (mantle) กับตาจะเป็นส่วนที่ติดอยู่กับหัว มีครีบ (fin) ที่ใช้สำหรับในการขับเคลื่อน มีท่อขับน้ำ (funnel) อยู่ทางด้านท้องระหว่างหัวและลำตัว เปลือก (shell) อยู่ใต้เนื้อเยื่อคลุมตัว (mamtle) ตามเนื้อเยื่อคลุมตัวจะมีเซลล์เรืองแสง (photophore) และจุดสี (chromatophore) กับมีถุงหมึก (ink sac) อยู่บริเวณผนังด้านล่างค่อนไปทางด้านซ้ายลำตัว และพรางตัวให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม

3) ปูทะเล (Mud Crab) ปูทะเลมีส่วนหัวกับส่วนอกรวมกัน เรียกว่า cephalothorax ซึ่งส่วนนี้จะมีกระดองห่อหุ้มไว้ กระดองของปูทะเลมีลักษณะเป็นรูปไข่ และมีหนามข้างล่ะ 9 อันเรียงจากทางด้านซ้ายไปทางด้านขวา ปูทะเลมีขา 5 คู่ โดยขาคู่แรกอยู่หน้าสุดมีขนาดใหญ่ เรียกว่า ก้ามหนีบ ใช้ในการจับเหยื่อและป้องกันตัว ปลายสุดของขาคู่ที่ 2-4 มีลักษณะแหลมเรียกว่า ขาเดิน ใช้ในการเดินเคลื่อนที่ ส่วนขาคู่ที่ 5 ซึ่งเป็นขาคู่สุดท้าย เรียกว่า ขาว่ายน้ำ ตอนปลายสุดของขาคู่นี้มีลักษณะแบบคล้ายใบพาย เพื่อความสะดวกในการว่ายน้ำ

4) กุ้งขาว (White leg shrimp) กุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีเปลือกเรียบเกลี้ยงเป็นมัน มีขนาดยาวพอประมาณ บริเวณเปลือกคลุมหัวและอกมีหนวดคู่ที่ 2 และหนามตับ (hepatic spine) ชัดเจน ไม่พบหนามบริเวณตา ไม่มีร่องตา กุ้งขาวมีลักษณะแต่ต่างจากกุ้งชนิดอื่นในสกุลเดียวกันตรงที่ลำตัวเป็น

สีขาวโปร่ง บางครั้งอาจเป็นสีฟ้า สันข้างกรีจะมีความยาวถึงฟันกรีอันสุดท้าย ฟันกรีด้านบนมีลักษณะโค้งเล็กน้อยจำนวน 9 อัน ส่วนฟันกรีด้านล่างมีเพียง 2 อัน อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศผู้ (petasma) สมมาตรกัน มีลักษณะกึ่งเปิดคล้ายรูปตะขออยู่ในส่วนของ endopod ของขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 ส่วนอวัยวะสืบพันธุ์ของเพศเมีย (thelycum) เป็นแบบเปิดตั้งอยู่บริเวณฐานของขาเดินคู่ที่ 4 และ 5 มีสันนูน 14 สันลักษณะแบนข้างหรือเป็นร่อง (ภควรรณ ปานข่อยงาม, 2552)

คุณสมบัติของไคโตซาน

1) ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Linear polyelectrolyte มีประจุบวก Cationic มีความหนาแน่นทางประจุสูง ใช้เป็น flocculant ที่มีปรสิทธิภาพสูงได้เป็นอย่างดี สามารถยึดจับกับประจุลบที่ผิวได้ดี และยังสามารถจับกับโลหะ เป็นพวก Chelated metalion ได้

2) ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่ป็นของแข็งที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (amorphous solid) เป็นพอลิเมอร์ที่มวลโมเลกุลสูง และมีหมู่อะมิโนที่พร้อมจะละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน เช่น กรดมะนาว เป็นต้น การละลายของไคโตซานมีคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น อยู่ในรูป free amine จะไม่ละลายน้ำที่ pH เป็นกลาง และที่ pH เป็นกรด

3) สารละลายไคโตซานในกรดอินทรีย์เกิดเป็นสายของพอลิเอมีน (polyamine) ที่อยู่ในรูปของ protonated form ซึ่งมีความเข้มข้นของประจุบวกสูงและมีสมบัติที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับชีวโมเลกุลที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ที่ pH มากกว่า 6.5 ไคโตซานไม่สามารถละลายได้ ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะถูกกำจัดในกรด H_3PO_4 ไคโตซานไม่สามารถละลายในสารละลายอินทรีย์หลายชนิด (ฤชุตา สกุณา, 2456)

ไคตินและไคโตซานประกอบอยู่ในพอลิเมอร์ที่เป็นสายยาวในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ถ้ามีปริมาณของ Glucosamine มากกว่า 60 % ขึ้นไปพอลิเมอร์นั้นจะละลายได้ในกรดอินทรีย์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ทำให้ไคตินเปลี่ยนเป็นไคโตซาน คือ การลดลงของหมู่อะเซตทิล หรือที่เรียกว่า Deacetylation เมื่อมีการลดลงของหน่วยย่อย N-acetyl glucosamine ก็จะทำให้ Glucosamine เพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งก็คือ การเปลี่ยนไคตินให้เป็นไคโตซาน โดยธรรมชาติไคตินไม่ละลายในน้ำและกรดอินทรีย์ทั่วไป ส่วนไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด และสามารถเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิมได้ ไคโตซานจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก สารละลายมีลักษณะเหนียวและมีความใสสามารถขึ้นรูปได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นแผ่นฟิล์ม เป็นเม็ด เป็นต้น ซึ่งจากคุณสมบัติของไคโตซานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน เช่น ด้านการเกษตร เช่น การนำมาใช้ป้องกันโรคพืชด้านอาหาร เช่น นำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ด้านการแพทย์ เช่น นำมาใช้เป็นผิวหนังเทียม ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ เช่น การนำมาเสริมสร้างความเหนียวให้กับเส้นใย

และเยื่อกระดาษจากการศึกษาถึงคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไคโตซาน พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร และด้านอาหาร เช่น

ด้านการเกษตรโดยพบว่าไคโตซานสามารถนำมาใช้ในการควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อราได้ ซึ่งเป็นการทดแทนการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้าปีละไม่น้อยกว่าหมื่นล้านบาท โดยจากการศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารไคโตซานรูปแบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกับสารเคมีที่ใช้ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา เช่น Benomyl, Mancozed, Streptomycin, Chloramphenicol ฯลฯโดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 5 ชนิด และเชื้อรา 9 ชนิด พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและรา และลดการเกิดโรคในพืชได้

ด้านอาหาร ไคโตซานและอนุพันธ์สามารถนำมาใช้ในการลดความขุ่นของน้ำผลไม้ เช่น น้ำแอปเปิ้ล น้ำแครอทและยังนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ใช้ในการควบคุมการสูญเสียน้ำและการผ่านเข้าออกของก๊าซได้ดี ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร และยังได้มีการพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวอาหารเพื่อชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร ในรูปของ Antimicrobial packaging films นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำไคโตซานไป
ใช้ในการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เช่น กุ้งสด หอยนางรม ไส้กรอกหมู และเนื้อหมูสด เป็นต้น

กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซาน

ได้มีการศึกษาถึงกลไกการออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ของไคโตซานและอนุพันธ์ พบว่าอาจเกิดจากหลายกลไก เช่น

- หมู่อะมิโนของไคโตซานสามารถดูดซับสารอาหารและอิออนของโลหะที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงสามารถลดอัตราการเจริญหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้

- ไคโตซานสามารถเกิดเป็นสารประกอบที่ซับซ้อนบริเวณผิวหน้าของผนังเซลล์จุลินทรีย์โดยก่อตัวเป็นชั้นบาง ๆ รอบเซลล์ขัดขวางการส่งผ่านสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์เข้าสู่ภายในเซลล์ทำให้คุณสมบัติการเลือกผ่านของเซลล์สูญเสียไป

- พอลิเมอร์ประจุบวกของไคโตซานสามารถเกิดแรงกระทำกับประจุลบของผนังเซลล์จุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของผนังเซลล์จุลินทรีย์ ส่งผลให้ผนังเซลล์เกิดความเสียหาย

- ไคโตซานสามารถเข้าไปรบกวนระบบ และกลไกการทำงานเอนไซม์ภายในเซลล์จุลินทรีย์ให้ผิดปกติ

- ไคโตซานสามารถยับยั้งการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกและโปรตีน แม้ว่าโมเลกุลของไคโตซานมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะแพร่ผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ แต่เมื่อไคโตซานถูกไฮโดรไลส์ โดยเอนไซม์ที่มี

ในจุลินทรีย์บางชนิด เช่น ไคโตซาเนส ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง ทำให้สามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในเซลล์ของจุลินทรีย์และขัดขวางการสังเคราะห์ mRNA ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซานและอนุพันธ์

1. น้ำหนักโมเลกุล ไคโตซานมีความสามารถในการละลายต่ำ สารละลายที่เตรียมจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีความหนืดมาก ซึ่งไม่สะดวกในการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตอาหารจึงได้มีการพัฒนาโดยผ่านกรรมวิธีทางเคมี หรือใช้เอนไซม์ตัดสายโซ่พอลิเมอร์ของไคโตซานให้สั้นลง เพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลและเพิ่มความสามารถในการละลายให้ดีขึ้น และเพิ่มคุณสมบัติด้านการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

2. ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้เตรียมสารละลายไคโตซาน โดยทั่วไปไคโตซานสามารถละลายได้ดีทั้งกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ โดยกรดอินทรีย์ มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยตัวของกรดเอง และการลดค่า pH ของระบบ ดังนั้นกรดอินทรีย์จึงช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของกรดอินทรีย์

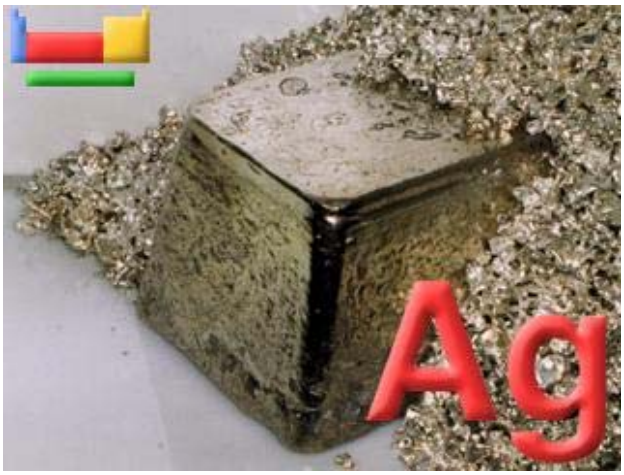
3. ชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ มีผลรายงานว่าไคโตซานและอนุพันธ์สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ

4. ลักษณะของอาหาร ชนิดของอาหารแตกต่างกันต้องใช้ความเข้มข้นของไคโตซานแตกต่างกัน โดยถ้าลักษณะของอาหารมีองค์ประกอบของอนุภาคมากก็จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลพอลิเมอร์ของไคโตซาน ซึ่งเป็นการลดโอกาสของไคโตซานในการสัมผัสกับเซลล์ของจุลินทรีย์

5. อุณหภูมิ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จะเกิดได้ดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การเก็บรักษาหอยนางรมโดยการใช้ไคโตซานร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหอยนางรมได้นานขึ้น

2. เงิน (Silver)

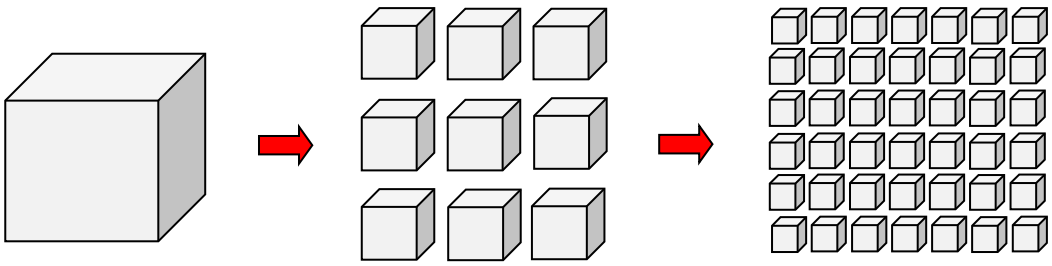
เงินเป็นธาตุที่ 2 ของหมู่ IB ในตารางธาตุ จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน มีเลขอะตอม มีเลขมวล 7107.870 amu จุดหลอมเหลว 960.8˚c จุดเดือด 2210˚c ความหนาแน่น 10.5 g/cc ที่ 20˚c เลขออกซิเดชันสามัญ +1



ภาพที่ 2.6 โลหะเงิน
ที่มา: Periodic Table, 2017

ความหมายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ธาตุเงินที่ถูกทำให้มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจึงสามารถสัมผัสกับเชื้อโรคได้มาก และด้วยขนาดที่เล็กมากทำให้ใช้ธาตุเงินปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถครอบคลุมพื้นที่และเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับเชื้อโรคได้มากขึ้น

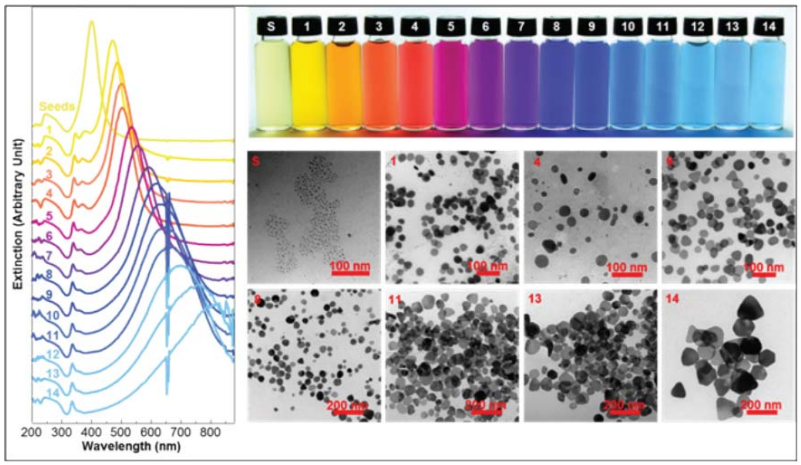


ภาพที่ 2.7 การนำธาตุเงินมาแปรสภาพให้มีขนาดเล็กมาในระดับนาโนเมตร

สนอง เอกสิทธิ์ (2558) ได้กล่าวว่า นาโนซิลเวอร์สามารถผลิตได้ด้วยวิธีที่หลากหลาย ทั้งแบบ Top - down Approach โดยการทำให้เม็ดโลหะเงินขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลงโดยการบด (Grinding) การสลายตัวด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Ablation) การระเหิด (Sublimation) หรือการผลิตนาโนซิลเวอร์แบบBottom - up Approach โดยการรีดิวซ์ไอออนของโลหะเงินให้เป็นอะตอมของโลหะเงินด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางฟิสิกส์ พร้อมกับการควบคุมการโตของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกิดจากการ

รวมตัวของอะตอมเงินหากสามารถควบคุมรูปแบบการโตของนาโนซิลเวอร์ได้ จะสามารถกำหนดขนาดและรูปร่างของนาโนซิลเวอร์ได้ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถควบคุมสมบัติพิเศษต่างๆ ของนาโนซิลเวอร์ได้ตามต้องการ เช่น สมบัติเชิงแสง สมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สมบัติเชิงแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะส่งให้สามารถประยุกต์ใช้นาโนซิลเวอร์ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น อิเล็กทรอนิกส์ การแพทย์ เคมี การเกษตร สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการสังเคราะห์นาโนซิลเวอร์แบบแผ่น โดยการเปลี่ยนรูปร่างอนุภาคด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชันระหว่างนาโนซิลเวอร์ทรงกลมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันละลายอะตอมเงินที่บริเวณผิวของนาโนซิลเวอร์ ให้เป็นไอออนของโลหะเงิน พื้นผิวของนาโนซิลเวอร์ส่วนที่ไม่ทนทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกละลายจนหมดเหลืออนุภาคซิลเวอร์นาโนขนาดเล็ก (Silver Seeds) ที่ปกคลุมด้วยหน้าตัดคริสตัลที่มีการเรียงตัวของอะตอมเงิน มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จะโตเป็นนาโนซิลเวอร์แบบแผ่น ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์รีดิวซ์ไอออนเงินให้เป็นอะตอมเงินไปเกาะบนนาโนซิลเวอร์ขนาดเล็ก การขยายขนาดอย่างมีรูปแบบทำให้นาโนซิลเวอร์ขนาดเล็กโตเป็นนาโนซิลเวอร์แบบแผ่น สังเกตได้จากสีของคอลลอยด์ที่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง สีส้ม สีชมพู สีม่วง สีน้ำเงิน และ สีฟ้า ตามลำดับ ความพิเศษของระบบการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นที่ คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทำหน้าที่เป็นทั้งตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์พร้อมๆ กันภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการสังเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของนาโนซิลเวอร์จากทรงกลมเป็นแบบแผ่นแบนสามารถยืนยันได้จากการเปลี่ยนสีของคอลลอยด์ระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

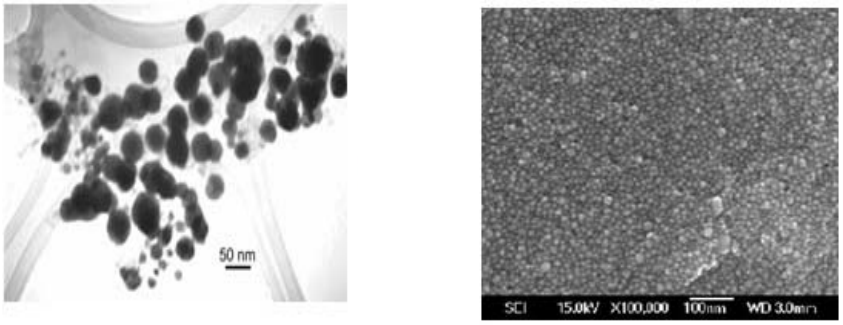


ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์น้ำของนาโนซิลเวอร์

ที่มา : VETALOG Magazine, 2017

การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์น้ำของนาโนซิลเวอร์ จากสีเหลืองเป็นสีส้ม แดง ชมพู ม่วง น้ำเงิน ฟ้า เมื่อนาโนซิลเวอร์เปลี่ยนรูปร่างจากทรงกลมเป็นแผ่นบางขนาดเล็กและขนาดใหญ่ขึ้น ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนสีของคอลลอยด์สอดคล้องกับ Surface Plasmon Resonance Spectrum ที่แสดงตำแหน่งการดูดกลืนสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 400 นาโนเมตร เป็น 780 นาโนเมตร เมื่อขนาดของแผ่นบางนาโนมีขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนแปลงของขนาดและรูปร่างของนาโนซิลเวอร์ยืนยันได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM)

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์



(ก) (ข)

(ก) คือ ภาพถ่ายของนาโนซิลเวอร์ด้วย TEM
(ข) คือ ภาพถ่ายของนาโนซิลเวอร์ด้วย SEM

ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายของนาโนซิลเวอร์ด้วย TEM และ SEM
ที่มา: Nanotech, 2560

ประโยชน์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

อุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ จากการที่นาโนซิลเวอร์สามารถส่งผ่านไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ควบคู่ไปกับคุณสมบัติเชิงแสง จึงทำให้ถูกนำมาใช้มากในอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ โดยนำมาใช้ทั้งในส่วนการเป็น Nanoconnector และ Nanoelectrode ในการออกแบบเครื่องมือขนาดเล็ก และนำมาใช้ในการเป็น active waveguide ในเครื่องมือเชิงแสง หมึกพิมพ์ในแผงวงจร นำมาใช้ใน Optoelectronics รวมไปถึง Nanoelectronics เช่น Single-electron transistors และ Electrical connectors เป็นต้น นาโนซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการจัดทำ Data storage device

รวมไปถึง Recording devices โดยอุปกรณ์เหล่านี้ได้ทำให้นาโนซิลเวอร์ปรากฏในเครื่องมืออิเลคโทรนิคส์อื่นๆ หลากหลาย

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มุ่งเน้นในส่วนของการป้องกันเชื้อโรคหรือฆ่าเชื้อโรค โดยนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารฆ่าเชื้อโรคสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลากหลายชนิด เช่น เครื่องกรองอากาศ สเปรย์ในอากาศ ถุงเท้า หมอน รองเท้าแตะ หน้ากาก ผ้าอ้อม สบู่ ผงซักฟอก แชมพู ยาสีฟัน เครื่องซักผ้า เป็นต้น โดยวัตถุประสงค์หลักในการมีนาโนซิลเวอร์ในผลิตภัณฑ์เพื่อใช้คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดเป็นหลัก

อุตสาหกรรมทางการแพทย์ นาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้งานทางการแพทย์ในหลายด้าน ได้แก่ การตรวจโรค การรักษา ระบบนำส่งยา และการเคลือบเครื่องมืออุปกรณ์ทางการแพทย์ นาโนซิลเวอร์ได้นำมาใช้ในการเคลือบผิวอุปกรณ์ทางการแพทย์หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในการผ่าตัด การฉีดยาชาและการระงับความรู้สึก การรักษาเกี่ยวกับหัวใจ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้มีการนำนาโนซิลเวอร์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปทางการแพทย์ เช่น ผ้าปิดแผล ถุงเท้า ผ้าหรือสิ่งทอทางการแพทย์ สายสวนปัสสาวะ และวัสดุปลอดเชื้อต่าง ๆ

ในทางการรักษา นาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาที่เกี่ยวกับกระดูก เช่น การเป็นสาร Additive ใน Bone cement ใช้ในการเคลือบข้อต่อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระดูก และได้นำไปใช้ในการทำฟันปลอมอีกด้วย นอกจากนี้นาโนซิลเวอร์ยังได้ถูกนำไปใช้ในการรักษาโรคมะเร็งและการรักษาในระบบนำส่งยาร่วมกับเลเซอร์ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมไปถึงการกำจัดเชื้อไวรัส HIV-1 อีกด้วย

ความเป็นพิษและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

การที่มีนาโนซิลเวอร์ในระบบนิเวศมากเกินพอดี อาจส่งผลเสียกับระบบนิเวศได้เช่นกัน เนื่องจากประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ในการกำจัดจุลินทรีย์ ไม่ได้จำแนกการกำจัดเฉพาะเชื้อโรคที่ไม่มีประโยชน์เท่านั้น แต่ในทางกลับกันนาโนซิลเวอร์ยังกำจัดแบคทีเรียที่มีความจำเป็นในระบบนิเวศด้วย เช่น การทำลายแบคทีเรียบางชนิดที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อราอาจส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินหรือการผันกลับไปเพิ่มความต้านทานให้แก่แบคทีเรียบางชนิดทำให้ยากต่อการทำลายมากขึ้น

นาโนซิลเวอร์สามารถพบมากขึ้นในผลิตภัณฑ์อุปโภค บริโภคต่างๆ เช่น การบรรจุหีบห่ออาหาร สิ่งทอที่ต้านทานการเกิดกลิ่น อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน และอุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงผ้าปิดแผล ทำให้เริ่มมีการตระหนักถึงความเสี่ยงของนาโนซิลเวอร์ต่อการเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ที่มีความเป็นไปได้ว่านาโนซิลเวอร์จะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ใน

สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินและน้ำหรือทำให้แบคทีเรียที่มีโทษ มีต้านทานในการยับยั้งต่อนาโนซิลเวอร์ ด้วยเหตุที่นาโนซิลเวอร์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี จึงเป็นไปได้ว่านาโนซิลเวอร์อาจทำลายแบคทีเรียที่มีประโยชน์ที่อยู่ในระบบนิเวศน์ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียในดินที่มีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจนและย่อยสลายสารอินทรีย์ แบคทีเรียที่ช่วยรักษาน้ำให้สะอาดด้วยการนำไนเตรตออกจากการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจากการใช้ปุ๋ยมากเกินไป สำหรับแบคทีเรียที่มีโทษมีความเป็นไปได้ว่านาโนซิลเวอร์อาจจะไปเพิ่มความต้านทานต่อการฆ่าเชื้อของแบคทีเรียที่เป็นอันตรายได้และอาจต้านทานต่อยาฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในปัจจุบันด้วย (กฤตพร ชูเส้ง, มัลลิกา จงจิตต์, เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ และ วลัย หุตะโกวิท, 2555)

หลักการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

นาโนซิลเวอร์จะเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์ ซึ่งใช้ในการดำรงชีพของแบคทีเรีย ปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลให้ดีเอ็นเอของแบคทีเรียหยุดทำงานและตายในที่สุด สำหรับผลกระทบต่อมนุษย์ พบว่า นาโนซิลเวอร์ที่เป็นประจุ จะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ด้วยเช่นกัน แต่อนุภาคที่มีความเล็กระดับนาโนเมตรยังไม่มีงานวิจัยที่ชี้ชัดถึงอันตรายต่อเซลล์ร่างกายของมนุษย์ว่าจะมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด นาโนซิลเวอร์ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมแบบต่างๆ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในรูปของแร่ที่เกี่ยวข้องกับธาตุอื่นๆ ซึ่งแม้แต่ในรูปแบบของก้อน ซิลเวอร์ก็เป็นอันตรายอย่างมากต่อปลา สาหร่าย สัตว์น้ำพวกกุ้ง ปู พืชบางชนิด รา และแบคทีเรีย นาโนซิลเวอร์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วยระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ และความเป็นพิษของนาโนซิลเวอร์มากกว่าของซิลเวอร์ในรูปแบบก้อน ซิลเวอร์มีความเป็นพิษสูงกว่าโลหะอื่นที่อยู่ในรูปของอนุภาคนาโนเช่นกัน การศึกษาในหลอดทดลอง (In vitro) แสดงให้เห็นว่านาโนซิลเวอร์มีความเป็นพิษต่อเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่ว่าจะเป็นเซลล์ตับ สเต็มเซลล์ และแม้แต่เซลล์สมอง ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากนาโนซิลเวอร์ในผลิตภัณฑ์ ต่างๆ ต้องศึกษาข้อมูลด้านพิษวิทยาและข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้แน่ชัดด้วย (กฤตพร ชูเส้ง, มัลลิกา จงจิตต์, เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ และ วลัย หุตะโกวิท, 2555)

2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2006 Sruanganurak A. และคณะ ได้ทำการเพิ่มความขรุขระและลดแรงเสียดทานที่ผิวของฟิล์มยางธรรมชาติ ก่อนกระบวนการวัลคาไนเซชันด้วยซัลเฟอร์ด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยเทคนิค Layer by layer (LbL) ก่อนการเคลือบอนุภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะทำการให้ความร้อนและใช้รังสียูวีกระตุ้นให้เกิดการกราฟต์ของฟิล์มยางธรรมชาติกับพอลิอะคริลาไมด์ พบว่าการปกคลุมของอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตบนแผ่นฟิล์มจะขึ้นกับความเข้มข้นและเวลาในการจุ่มแช่แผ่นฟิล์ม ซึ่งสามารถศึกษาการปกคลุมได้โดยใช้เทคนิค SEM ทำการทดสมบัติเชิงกลด้วยการดึงยืด 0-7 รอบ พบว่าการปกคลุมของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์การใช้เป็นถุงมือยาง

ในปี 2007 Sruanganurak A. และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ด้วยเทคนิค Layer by layer (LbL) เพิ่มความขรุขระและลดแรงเสียดทานที่ผิวของฟิล์มยางธรรมชาติ ตรวจสอบการปกคลุมของพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยเทคนิค SEM พบว่าการปกคลุมของอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตบนแผ่นฟิล์มจะขึ้นกับความเข้มข้นและเวลาในการจุ่มแช่แผ่นฟิล์ม ทำการทดสมบัติเชิงกลด้วยการดึงยืด 0-7 รอบ พบว่าการปกคลุมของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์การใช้เป็นถุงมือยาง

ในปี 2010 Anancharungsuk W. และคณะ ได้ทำการลดแรงเสียดทานของยางธรรมชาติด้วยการเติมอนุภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ความขรุขระที่ผิวหน้าของยางระดับนาโนถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ค่าความขรุขระจะเพิ่มขึ้นในขณะที่แรงเสียดทานน้อยลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและเวลาในการจุ่มแช่ การใช้น้ำยางผสมจะให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ การมีอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มขึ้นจะช่วยให้การกระจายตัวของอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่ผิวของยางธรรมชาติดีขึ้นดีขึ้น

ในปี 2010 Anancharungsuk W. และคณะ ได้ทำการเพิ่มความขรุขระที่ผิวของฟิล์มยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิอะคริลาไมด์ ก่อนกระบวนการวัลคไนเซชันด้วยซัลเฟอร์ด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลตในรูปแบบลาเท็กซ์ เพื่อลดการสัมผัสโดยตรงระหว่างผิวหนังกับแผ่นฟิล์มยาง พบว่าการปกคลุมของอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตบนแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการจุ่มแช่แผ่นฟิล์มนานขึ้น ขนาดอนุภาคที่ใช้ใหญ่ขึ้นและความเข้มข้นของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบการแพ้ยางพบว่า ฟิล์มยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลตช่วยลดการแพ้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตถุงมือได้

ในปี 2013 Kanjanathaworn N. และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีไคโตซานในรูปแบบลาเท็กซ์ โดยการพอลิเมอไรเซชันในรูปอิมัลชันด้วยสารละลาย 1% ไคโตซานในกรดแอซิติก ได้อนุภาคของพอลิเมทิลเมทาคริเลต-ไคโตซาน รูปร่างทรงกลมขนาด 380 นาโนเมตร โดยไคโตซานจะอยู่ชั้นนอกสุดของอนุภาคลาเท็กซ์ พบว่าการเติมพอลิเมทิลเมทาคริเลต-ไคโตซาน

เป็นการเพิ่มความขรุขระที่ผิวของฟิล์มยางธรรมชาติ และการปกคลุมของอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตบนแผ่นฟิล์มจะขึ้นกับความเข้มข้นและเวลาในการจุ่มแช่แผ่นฟิล์ม และฟิล์มยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต-ไคโตซาน ช่วยลดการแพ้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตถุงมือได้

ในปี 2011 Johns J. และคณะ ได้ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของยางธรรมชาติผสมกับไคโตซาน ในช่วงความถี่ 102–106 Hz. การผสมไคโตซานในพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วอย่างยางธรรมชาติจะช่วยปรับปรุงค่า dielectric ของไคโตซาน โดยทำการรีดิวซ์ความเป็นขั้วของไคโตซาน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น การวัลคาไนเซชันกับค่าทางไฟฟ้า

ในปี 2013 Riyajan S.A และคณะ ได้เตรียม epoxidized natural rubber (ENR) latex-g-chitosan (ENR-g-chitosan) ในรูปของลาเท็กซ์โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 15 นาที พิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซานที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค ATR-FTIR และศึกษาผลของปริมาณไคโตซาน เวลาในการเกิดปฏิกิริยา อุณภูมิ และความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่มีต่อปริมาณเจล ENR-g-chitosan ที่ได้ พบว่าปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นความเป็นเจลจะลดลง ENR-g-chitosan ที่ได้มีสมบัติต้านความร้อน

ในปี 2007 Abu Bakar N.H.H และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในยางธรรมชาติ ด้วยการริดิวซ์ด้วยแสงบนแผ่นยางธรรมชาติที่มีเกลือของเงิน ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค TEM, XRD และ UV spectroscopic ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคเงินอยู่ในช่วง 4-10 นาโนเมตร และมีการกระจายตัวอยู่ในอนุภาคของยางเต็มพื้นที่ จากการตรวจสอบด้วย XRD พบว่าอนุภาคเงินมีโครงสร้างแบบ fcc และพบว่าโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติช่วยให้อนุภาคเงินเสถียรอยู่ในยางธรรมชาติได้

ในปี 2010 Abu Bakar N.H.H และคณะ ได้สังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่มีอนุภาคเงินนาโน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคเงินเท่ากับ 4.1 นาโนเมตร การสังเคราะห์ยางทำด้วยการพอลิเมอร์ไรซ์พอลิไวนิลไพโรลิโดนลงในน้ำยางโดยใช้คิวมีนและเตตตระเอทิลลีนเพนตะมีน เป็นตัวริเริ่ม เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ศึกษาจากการสกัดและใช้เทคนิค FTIR ตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินที่ล้อมรอบด้วยพอลิไวนิลไพโรลิโดนบนยางธรรมชาติด้วยเทคนิค TEM พบว่าพอลิไวนิลไพโรลิโดนช่วยให้การกระจายตัวของอนุภาคเงินดี

ในปี 2011 Guidelli E.J และคณะ ได้สังเคราะห์ยางธรรมชาติที่มีการเติมอนุภาคเงินนาโน อนุภาคเงินนาโนด้วยเทคนิคง่ายๆ โดยการให้ความร้อนแก่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในน้ำยางธรรมชาติ และตรวจสอบสมบัติเชิงผิวด้วยเทคนิคยูวีสเปกโตรสโกปี ปริมาณของซิลเวอร์ไนเตรตและน้ำยางมีผลต่อการเกิดอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทต่ำจะให้อนุภาคเงินขนาดเล็ก ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 2-100 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นทรงกลม จากการตรวจสอบด้วย

เทคนิค SAED พบว่าอนุภาคเงินนาโนมีโครงสร้างผลึก จากการตรวจสอบด้วย FTIR พบว่าปริมาณซิลเวอร์ไอออนจะลดลงเมื่อมีการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางข้น และพบว่าโครงสร้างพอลิไอโซพรีนของยางธรรมชาติรวมกับอนุภาคของซิลเวอร์นาโน ซึ่งผลของการวิจัยนี้ได้จากการกระบวนการที่ง่าย ราคาไม่แพง และได้ซิลเวอร์นาโนที่มีการกระจายตัวและมีความเสถียรดี

ในปี 2012 Rathnayake W.G.I.U และคณะ ได้สังเคราะห์ยางธรรมชาติที่มีสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการเติมอนุภาคเงินนาโน อนุภาคเงินนาโนเตรียมด้วยการรีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรตด้วยโซเดียมซิเตรต ศึกษาสมบัติด้วยเทคนิคยูวีสเปกโตรสโกปี ตรวจสอบขาดอนุภาค การกระจายตัวของอนุภาคเงิน และสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus epidermidis และ Escherichia coli และเชื้อรา Aspergilles nigger พบว่ายางธรรมชาติที่มีอนุภาคเงินสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ในระดับดี

ในปี 2012 Wang. Y. และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์นาโนไฟเบอร์ที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมกับไคโตซานโดยใช้ตัวรองรับเป็นพอลิไวนิลด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปัน เส้นใยที่สังเคราะห์ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM, EDX, และ XRD พบว่าไคโตซานมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในซิงค์นาโนคอมโพสิท และศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่ามีสมบัติในการยับยั้งเชื้อ Escherichia coli และ Candida albicansด้วยเทคนิค CdTe quantum dots โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้ง Candida albicans ได้คือที่ความเข้มข้น 160 lg/ml และสามารถตรวจสอบการทำลายเซลล์ได้ด้วยเทคนิค SEM

ในปี 2015 Lyutakov O. และคณะ ได้ทำการโดปไอออนเงินนาโนลงบนพอลิเมทิลเมทาคริเลต และศึกษาสมบัติด้วยเทคนิค AAS, XPS และ AFM และสมบัติทางชีวภาพจะตรวจวัดจากอัตราการปลดปล่อยอนุภาคเงินจากพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของอนุภาคเงินจะตรวจวัดด้วย electronic circular dichroism spectroscopy อัตราการปลดปล่อยอนุภาคเงินจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติทางชีวภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ Staphylococcus epidermidis และ Escherichia coli พบว่าฟิล์มพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีไอออนเงินมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอนุภาค และแบบพอลิเมอร์คอมเพล็กซ์ และความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์จะขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการแช่

สุภาพร พรหมศร (2555) ได้ศึกษา ศึกษาการเตรียมพอลิเมอรนาโนคอมพอสิทของยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) เป็นวัสดุอินทรีย์และอนุภาคนาโนเงินเป็นวัสดุอนินทรีย์ ในระบบอิมัลชัน โดยใช้เทคนิคเฮทเทอโรโคแอคูเลชันที่มีการใช้แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต ในการผสมยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) ขั้นเริ่มต้นเป็นการเตรียมอนุภาคระดับนาโนเมตรของพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) ด้วยกระบวนการสังเคราะหแบบอิมัลชัน ขนาดของอนุภาคนาโนพอลิเมอรที่ได้

พบว่า มีขนาด 75.80 นาโนเมตร ความเป็นประจุที่ผิวมีค่า +52.10 มิลลิโวลต์ ต่อมาเมื่อทำการปรับผิวของอนุภาคยางธรรมชาติให้มีประจุเป็นบวกโดยปรับ pH ของอิมัลชันของยางธรรมชาติ พบว่า ค่า pH 2 เป็นค่าที่เหมาะสมในกระบวนการผสม ทำการศึกษาปริมาณของอนุภาคนาโนพอลิเมอร์ที่ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า อัตราส่วน Nmax (อัตราส่วนที่จำนวนอนุภาคนาโนพอลิเมอร์ล้อมรอบอนุภาคของยางธรรมชาติพอดี) เป็นสภาวะที่เหมาะสมโดยทำการเติมอิมัลชันของอนุภาคนาโนพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกที่ผิว (pH = 2) ลงในอิมัลชันของยางธรรมชาติที่มีประจุบวกที่ผิวเช่นกัน (pH = 2) จากนั้นค่อยๆ เพิ่มค่า pH ของอิมัลชันผสมจนถึง 8 จะทำให้อนุภาคของยางธรรมชาติมีประจุที่ผิวเป็นลบจับกับอนุภาคนาโนพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) ที่มีประจุเป็นบวก ขนาดของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิทที่ได้ คือ 228.70 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้นจากขนาดก่อนการผสม คือ 142.30 นาโนเมตร และอนุภาคนาโนพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) นอกจากนี้พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิทที่ได้ยังมีค่าความเป็นประจุที่ผิวเป็นบวก 23.60 มิลลิโวลต์ เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มและทดสอบค่าความแข็งแรงเชิงเส้น พบว่า แผ่นฟิล์มของนาโนคอมพอสิทมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มของยางธรรมชาติ ในการผสมยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนเงิน ขั้นตอนแรกทำการเตรียมอนุภาคนาโนเงินโดยวิธีรีดักชันทางเคมี ได้สารละลายสีเหลืองใส จากนั้นนำอนุภาคนาโนเงินที่กระจายตัวอยู่ในน้ำไปเคลือบด้วย Tween 80 และตามด้วยเฮกซะเดกซิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม โบรไมด์ จะได้อนุภาคนาโนเงินที่มีประจุที่ผิวเป็นบวกเท่ากับ 50.33 มิลลิโวลต์ และเมื่อผสมอนุภาคนาโนเงินที่มีประจุบวกกับยางธรรมชาติในสภาวะเดียวกันกับการผสมยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) พบการกระจายตัวของอนุภาคนาโนเงินในแผ่นฟิล์มของยางผสมเมื่อทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus aureus และ Escheircchia coli พบว่า แผ่นฟิล์มคอมพอสิทของยางธรรมชาติที่ผสมกับอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สามารถเตรียมยางธรรมชาติผสมกับอนุภาคนาโนอินทรีย์และอนินทรีย์ ได้โดยใช้เทคนิคเฮทเทอโรโคแอคูเลชันโดยอาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตในสภาวะที่เหมาะสมโดยไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน - 2 (เมทาครีโลอิล ออกซี เอทิล ไตรเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์) มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ นอกจากนี้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์คอมพอสิทของยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ได้

เณศรา แก้วคง, เลิศณรงค์ ศรีพนม, เจ๊ะฮาซัน เจ๊ะอุบง และ ศิริวรรณ ตี้ภู่ (2557) ได้ศึกษาวิธีสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินทำได้ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่สอง

สภาวะคือที่ภายใต้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องไดนามิค ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบวาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสให้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเล็กกวาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิห้องโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 84 ± 5 นาโนเมตรและมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินไปทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย Staphylococcus aureus สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 6538 และ Escherichia coli สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 8739 พบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง Staphylococcus aureus และ Escherichia coli

จารุชา ยี่แสง, จรัญเพ็ชร สุขเขียว และไอรดา ดวงจันทร์ (2558) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไคโตซานจาก Mucor sp. และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรค พบว่า ที่ความเข้มข้นของกากน้ำตาล 5% สภาวะค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 และ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายหลังทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน จะให้การเจริญเติบโต และผลิตไคโตซานได้ดีที่สุดเท่ากับ 4,654 เซลล์ต่อตารางเซนติเมตร และ 2.94 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อก่อโรค 5 สายพันธุ์ของไคโตซานที่สกัดได้ พบว่า ไคโตซานที่สกัดได้สามารถยับยั้งเชื้อ Escherichia coli, Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus และ Candida hypolytica ได้ร้อยละ 60, 52, 41 และ 23 ตามลำดับ โดยไคโตซานที่สกัดได้สามารถยับยั้งเชื้อ E.coli และ B.subtilis ได้ดีกว่าไคโตซานทางการค้า ในขณะที่ไคโตซานที่ผลิตได้และไคโตซานทางการค้าไม่สามารถยับยั้งเชื้อ Aspergillusniger ได้เลย

พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์, ดวงเดือน วารีวะณิช, อรรถวุฒิ กันทะวงศ์ และวีระพงษ์ ศรีโฉมงาม (2554) ได้ร่วมกันศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตและคุณลักษณะของไคโตซานจากเปลือกปูที่เหลือจากอวนจมปู พบว่า ไคโตซานจากเปลือกปูที่มีศักยภาพสูงสุดในการพัฒนาไปใช้ประโยชน์ที่มีร้อยละต่อน้ำหนักแห้งของเปลือกระหว่าง 9 – 10 ซึ่งไคโตซานจากเปลือกที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด ได้แก่ ไคโตซานจากเปลือกปูฟองน้ำ ปูเป้ใหญ่ ปูฤาษีจุด ปูก้ามยาวขาว ปูดาว

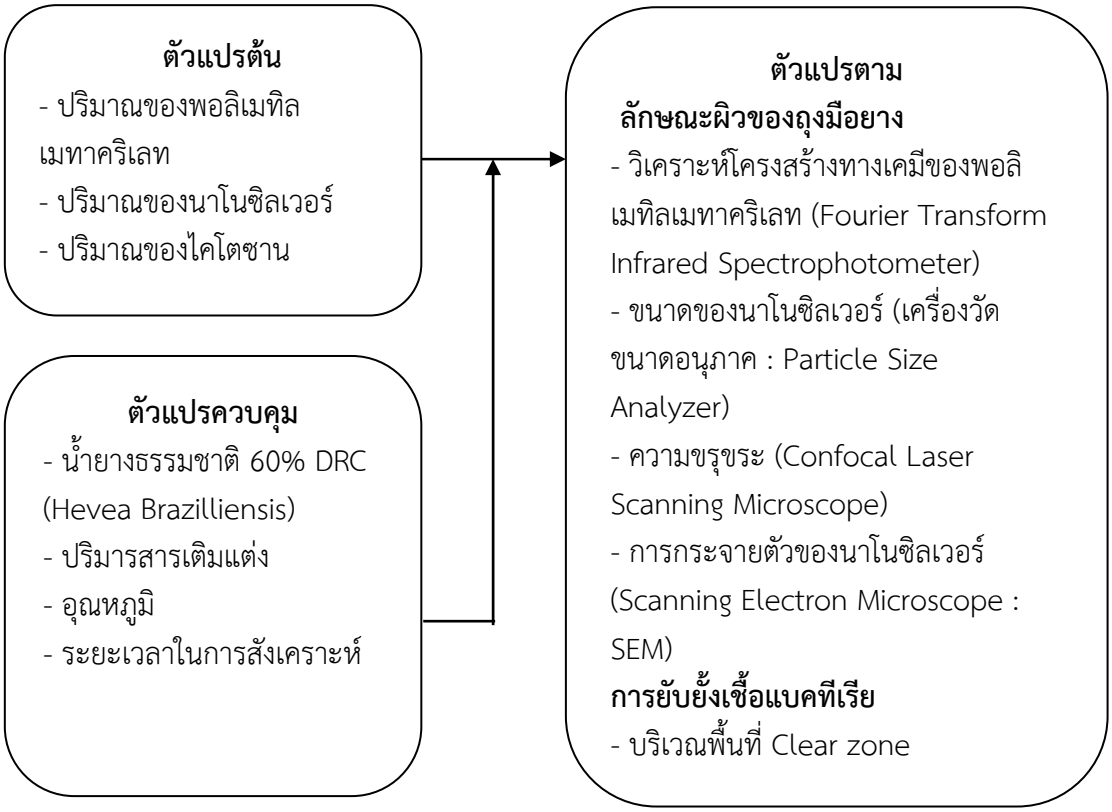
สมพร ประเสริฐส่งสกุล (2555) ได้มีการศึกษาการใช้ไคโตซานในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จากผลการศึกษาสมบัติทางด้านเคมีด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า สมบัติทางด้านเคมีของไคโตซานที่ผ่านการทรีทด้วยพลาสมาไม่เปลี่ยนแปลง และจากการวิเคราะห์ปริมาณไคโตซานที่ละลายน้ำแสดงให้เห็นถึงการทรีทไคโตซานด้วยพลาสมาโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดจะให้ปริมาณร้อยละผลผลิตไคโตซานที่ละลายน้ำสูงที่สุด

Sruanganurak Artit และ Tangboriboonrat Pramun (2007) ได้ร่วมกันศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของกำมะถันในน้ำยางธรรมชาติโดยทำเป็นแผ่นยางที่ผสมกับ อนุภาคของ PMMA

Thitinat Sukonket, Weerachon Phoohinkong & Nakarin Srisuwan (2015) ได้ร่วมกันศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมน้ำยางที่ผสม PMMA และซิลเวอร์นาโน ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำถุงมือยางสำหรับคนที่มีปัญหาการแพ้โปรตีนในน้ำยาง และบุคคลที่ทำงานด้านสุขภาพที่ต้องใช้ถุงมือยาง

2.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยจึงมีกรอบแนวความคิดซึ่งมีตัวแปรในการทำวิจัย ดังนี้



บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้สังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์สำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยาง ศึกษาอัตราส่วนของพอลิเมทิลเมทาคริเลต การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ การเตรียมอนุภาคไคโตซาน เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมสำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยาง การเตรียมยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน ศึกษาการขึ้นรูปถุงมือยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน ศึกษาคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะเป็นการทำวิจัยในลักษณะของงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ จะทำการสังเคราะห์ถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อลดผิวสัมผัสระหว่างผิวหนังกับถุงมือยางธรรมชาติและยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยศึกษาปริมาณ วิธีการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และผลิตถุงมือยาง จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์ผิวของถุงมือยาง ได้แก่ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมทิลเมทาคริเลตขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ความขรุขระของพื้นผิวของยางธรรมชาติ การกระจายตัวของยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งดิจิตอล (Balance) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง: ADAM รุ่น Digital Precision Balance
2. เครื่องชั่งดิจิตอล (Balance) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง: OHAUS รุ่น Pioneer (PA214)
3. เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนดิจิตอล (Hotplate and Magnetic Stirrer): Dragon Lab รุ่น MS-H-Pro+
4. ตู้ดูดไอสารเคมี (Fume Hood): New lab รุ่น NFH 120/150/200 INDUSTRIAL HOOD
5. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven): Jeiotech รุ่น OF-22G

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR): Shimadzu รุ่น IRT racer – 100
2. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer): Malvern Instrument รุ่น Zetasizer Nanoseries model S4700
3. เครื่อง Confocal Laser Scanning Microscope: Olympus รุ่น Lex Ols 4100
4. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 10, 25, 50, 250 และ 600 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวง (Graduated cylinder) ขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
4. ขวดใส่สารละลาย (Reagent bottle)
5. แท่งแก้วคน (Stirring rod)
6. ช้อนตักสาร (Spatula)
7. หลอดหยด (Dropper)
8. กรวย (Funnel)
9. กรวยแยก (Separating funnel)
10. คอลัมน์ (Columns)
11. จานเพาะเลี้ยงเชื้อ (Petri dish)
12. ขวดก้นกลม (Round - bottomed flask)
13. ขวด 5 คอ (Five - neck flask)
14. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
15. แม่พิมพ์สำหรับถุงมือแพทย์ ไซส์ M
16. ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gases)
17. เครื่องวัดอัตราการไหล (Flowmeter)
18. สายก๊าซ (Gas lines) ขนาด 5 มิลลิเมตร
19. ถังสแตนเลส (Stainless tanks) ปริมาตร 5 และ 8 ลิตร
20. หม้อต้มน้ำ (Pot)
21. ขาตั้ง (Metal stand)
22. อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)

23. พลาสติกแรป (Plastic wrap)
24. ถุงซิปล็อค (Zip lock bag)
25. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ส่วนผสมของน้ำยางคอมพาวด์

1.	น้ำยางธรรมชาติ (Latex) 60 %	167.0	กรัม
2.	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) 10 %	2.0	กรัม
3.	เทอริค 16 เอ 16 (Teric 16 a16) 10 %	0.2	กรัม
4.	กำมะถัน (Sulfur) 50 %	1.6	กรัม
5.	แซดดีอีซี (ZDEC) 50 %	0.8	กรัม
6.	แซดเอ็มบีที (ZMBT) 50 %	0.8	กรัม
7.	ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titamium dioxide) 50 %	2.0	กรัม
8.	วิงสเตย์แอล (Wingstay – L) 50 %	2.0	กรัม
9.	ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) 50 %	2.0	กรัม
10.	น้ำกลั่น	170.5	กรัม

ส่วนผสมของสารช่วยจับพิมพ์

1.	แคลเซียมไนเตรต (Calcium nitrate) 35 %	35	กรัม
2.	แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) 50 %	5.8	กรัม
3.	เทอริค 16 เอ 16 (Teric 16 A 16) 10 %	0.12	กรัม
4.	น้ำกลั่น	59.08	กรัม

ส่วนผสมในการกรองเมทิลเมทาคริเลตให้บริสุทธิ์และสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต

1.	เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (Methyl methacrylate monomer)	400	กรัม
2.	อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide)	200	กรัม
3.	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)	0.78	กรัม

ส่วนผสมของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

1. ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) 0.017 กรัม
2. โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodiun borohydride) 0.0189 กรัม
3. น้ำกลั่น 350 กรัม

ส่วนผสมของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

1. แกนหมึกกล้วย (Squid pens) บริษัท พรานทะเลมาร์เก็ตติ้ง จำกัด
2. กรดไฮโดรคลอลิก (HYDROCHLORIC ACID) LOT NO. K30667017 บริษัท MERCK ประเทศเยอรมันนี
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (SODIUM HYDROXIDE) ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
4. เมทานอล (METHANOL) บริษัท เคมีภัณฑ์, ประเทศไทย
5. อะซิโตน (ACETONE) บริษัท เคมีภัณฑ์, ประเทศไทย

วิธีการทดลอง

การเตรียมอนุภาคไคโตซาน

การสังเคราะห์ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึก ดัดแปลงมาจากวิธีของ พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์ และคณะ (2554) โดยนำแกนหมึกไปล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร

1. การเตรียมไคตินจากแกนหมึก เริ่มต้นด้วยกระบวนการกำจัดเกลือแร่ในแกนหมึก (Demineralization) โดยเติมกรดไฮดรอคลอริค 1 N ในอัตราส่วนแกนหมึกต่อกรดเท่ากับ 1 : 10 (w/v) แช่แกนหมึกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเทกรดทิ้งแล้วเติมกรดลงไปใหม่ แช่ต่ออีก 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนหมดฟอง และล้างตัวอย่างจน pH เป็นกลาง จากนั้นเข้าสู่กระบวนการกำจัดโปรตีน โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซค์ 1 N ลงไปในอัตราส่วนแกนหมึกต่อด่างเท่ากับ 1 : 10 (w/v) แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างตัวอย่าง และทำการกำจัดรงควัตถุ (Decolorization) โดยแช่ตัวอย่างในเมทธานอลในอัตราส่วนแกนหมึกต่อเมทธานอลเท่ากับ 1 : 10 (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเทเมทธานอลทิ้ง จากนั้นแช่ต่อด้วยอะซีโตนในอัตราส่วน และระยะเวลาเดียวกับเมทธานอล ล้างตัวอย่าง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา18 ชั่วโมง จะได้ไคติน

2. การเตรียมไคโตซาน นำไคตินที่เตรียมได้มาผ่านกระบวนการ Deacetylation โดยนำไปต้มในโซเดียมไฮดรอกไซค์ความเข้มข้น 50% (w/w) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนไคติน

ต่อด่างเท่ากับ 1 : 10 ใช้เวลาต้ม 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างตัวอย่างจนกระทั่ง pH เป็นกลาง นำตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะได้ไคโตซานจากแกนหมึก

การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้วิธีการสังเคราะห์รีดักชันทางเคมี

เตรียมสารลายโดยนำซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) ปริมาณ 0.017 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) ปริมาณ 0.0189 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร จากนั้นตวงสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เติมลงไปในขวดก้นกลมและนำแท่งแม่เหล็กคนลงไป จากนั้นนำขวดไปแช่ในอ่างน้ำแข็งที่วางอยู่บนเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนดิจิตอล (Hotplate and Magnetic Stirrer) รุ่น MS – H - Pro+ ทำการกวนโดยไม่ใช้ความร้อนและวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ เมื่ออุณภูมิภายในขวดเท่ากับ 2 ± 1 องศาเซลเซียส แล้วจึงหยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) ที่กำลังกวนอยู่ โดยใช้ความเร็วประมาณ 1 หยดต่อวินาที หยุดกวนทันทีเมื่อหยดซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) เสร็จสิ้น แล้วนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

2. ศึกษาการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของคลื่นแสง (Laser diffraction)

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้จากวิธีการรีดักชันทางเคมี นำสารคอลลอยด์สีเหลืองที่ได้จากการสังเคราะห์ไปตรวจวัดขนาดอนุภาคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) รุ่น Zetasizer Nanoseries model S4700 โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของคลื่นแสง (Laser diffraction) เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ จะเกิดการเลี้ยวเบนของแสงขึ้นในมุมต่างๆ ตามลักษณะขนาดของอนุภาคที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ โดยมุมของการเลี้ยวเบนของแสงจะแปรผกผันกับขนาดของอนุภาค ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่มุมของการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์จะแคบ แต่ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กมุมของการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์จากกว้าง ซึ่งความเข้มแสงที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ที่มุมต่างๆ จะถูกตรวจวัดด้วยหัวตรวจวัดของเครื่องวัดขนาดอนุภาคและถูกคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์และค่าของขนาดอนุภาคนั้นๆ รวมทั้งสามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคได้ ซึ่งสามารถวัดขนาดอนุภาคได้ตั้งแต่ 0.02 - 2000 ไมโครเมตร (μm)

การเตรียมน้ำยางคอมพาวด์สำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยาง

1. การสังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์

ทำการผสมน้ำยางธรรมชาติกับสารเคมีในอัตราส่วน ดังนี้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)
น้ำยางธรรมชาติ (Latex) 60 %	167.0
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) 10 %	2.0
เทคริด 16 เอ 16 (Teric 16 a16) 10 %	0.2
กำมะถัน (Sulfur) 50 %	1.6
แซดดีอีซี (ZDEC) 50 %	0.8
แซดเอ็มบีที (ZMBT) 50 %	0.8
ติตาเนียมไดออกไซด์ (Titamium dioxide) 50 %	2.0
วิงสเตย์แอล (Wingstay – L) 50 %	2.0
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) 50 %	2.0
น้ำกลั่น	170.5

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.

เมื่อทำการผสมสารเคมีทั้งหมด จึงทำการปั่นส่วนผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อบ่มเร่งน้ำยางที่ผสมสารเคมีให้เหมาะสม จากนั้นนำน้ำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

2. การทดสอบความเหมาะสมในการบ่มน้ำยางคอมพาวด์ด้วยการทดสอบจำนวนคลอโรฟอร์ม (Chloroform number)

ก่อนนำน้ำยางคอมพาวด์ไปใช้งาน จะต้องมีการตรวจสอบความเหมาะสมของการบ่มด้วยวิธีการทดสอบจำนวนคลอโรฟอร์ม (Chloroform number) ให้ได้เบอร์ 2 และ 3 ดังนี้

1) เติมคลอโรฟอร์มลงในน้ำยางคอมพาวด์ในปริมาณที่เท่ากัน 1 : 1

2) ใช้แท่งแก้วคนคลอโรฟอร์มกับน้ำยาง แล้วสังเกตการณ์จับตัวของน้ำยางคอมพาวด์

ตารางที่ 3.2 จำนวนคลอโรฟอร์ม (Chloroform number) กับลักษณะการจับตัวของยาง

จำนวนคลอโรฟอร์ม	**ลักษณะที่เกิด**
1	ก้อนเหนียวติดมือ ดึงยืดได้ยาว
2	ก้อนดึงขาดได้ง่าย
3	ก้อนเล็ก ๆ หลานก้อน ดึงขาดได้ง่าย
4	เม็ดร่วน

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.

เมื่อน้ำยางคอมพาวด์มีค่าการทดสอบจำนวนคลอโรฟอร์มเป็นเบอร์ 2 และ 3 เท่านั้น จึงนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมสำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยาง

1. ศึกษาการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมทิลมาทาคริเลทในน้ำยางธรรมชาติ

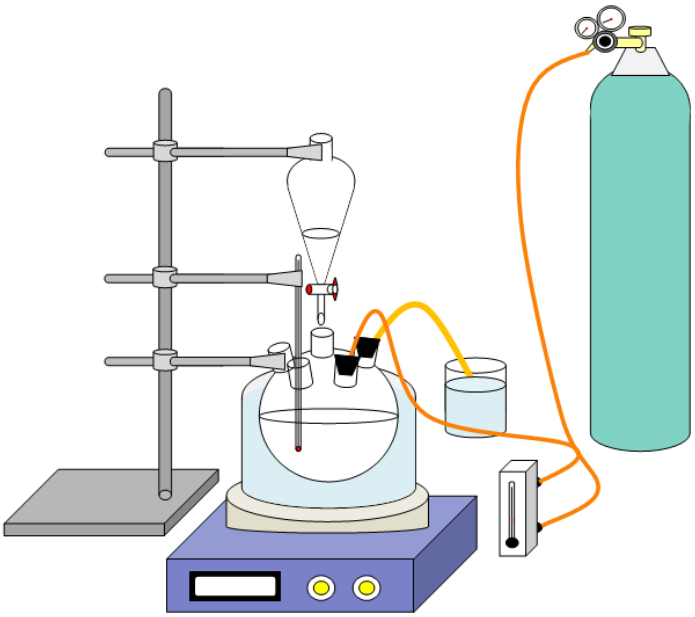
การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตเริ่มจากการกรองเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ให้มีความบริสุทธิ์ โดยนำแผ่นสำลีและผงอะลูมิเนียมออกไซด์ 200 กรัม มาบรรจุลงในขวดคอลัมน์ตามลำดับ จากนั้นชั่งเมทิลเมทาคริเลตให้ได้น้ำหนัก 400 กรัม แล้วนำมาใส่ในขวดคอลัมน์ที่บรรจุผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ทำการกรองเมทิลเมทาคริเลตให้เป็นเมทิลเมทาคริเลตที่บริสุทธิ์

นำน้ำยางคอมพาวด์มากวนด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนดิจิตอล (Hotplate and Magnetic Stirrer) รุ่น MS – H - Pro+ และให้ความร้อนภายในน้ำยางคอมพาวด์มีอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจนมีอัตราการไหลของแก๊ส 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที แล้วจึงใส่เมทิลเมทาคริเลตตามตัวอย่างที่กำหนดไว้ 3 ตัวอย่าง ดังนี้

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนน้ำยางคอมพาวด์ต่อเมทิลเมทาคริเลต

อัตราส่วนน้ำยางคอมพาวด์ (%)	อัตราส่วนเมทิลเมทาคริเลต (%)
95	5
90	10
85	15

โดยทำการหยดเมทิลเมทาคริเลตลงไปทีละหยดในแต่ละตัวอย่าง แล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณ 0.3 กรัม ต่อเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 100 กรัม (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.3 % w/w) แล้วทิ้งไว้ 10 นาที จึงหยุดการกวนและความร้อน



ภาพที่ 3.1 กระบวนการสังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมาทาคริเลต

2. ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมทิลมาทาคริเลทโดยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หาโครงสร้างเคมีของน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เตรียมได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น IRT racer – 100 โดยเทคนิคแบบฟิล์ม ทำโดยนำน้ำยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาทำเป็นฟิล์ม โดยนำมาเทลงบนจานเพาะเชื้อ จากนั้นนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อน 30 - 35 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่งโมง นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทำการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงเลขคลื่น 400 – 4000 หนึ่งต่อเซนติเมตร (cm^{-1})

การเตรียมยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคอนุภาคไคโตซานและนาโนซิลเวอร์

1. การสังเคราะห์น้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต และไคโตซาน การสังเคราะห์น้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต และไคโตซาน ทำโดยการชั่งน้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต ใส่ลงไปในบีก

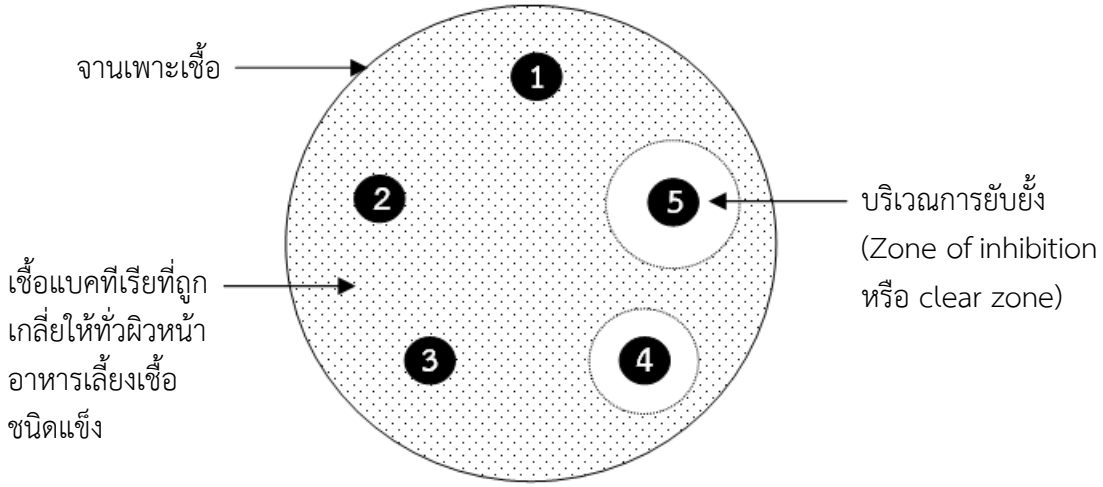
เกอร์ พร้อมกวนตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot plate stirrer) ที่ความเร็วรอบ 350 rpm ค่อยๆ ร่อนไคโตซานใส่ลงไปในอัตราส่วนน้ำยางที่มี พอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อไคโตซาน ร้อยละ 1, ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร กวนจนไคโตซานเข้ากับน้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต

2. การสังเคราะห์ยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ นำน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตในอัตราส่วน 95 : 5 มาผสมกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ความเข้มความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% ตามลำดับ โดยวิธีการกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนดิจิตอล (Hotplate and Magnetic Stirrer) รุ่น MS – H - Pro+ แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในการทดลองต่อไป

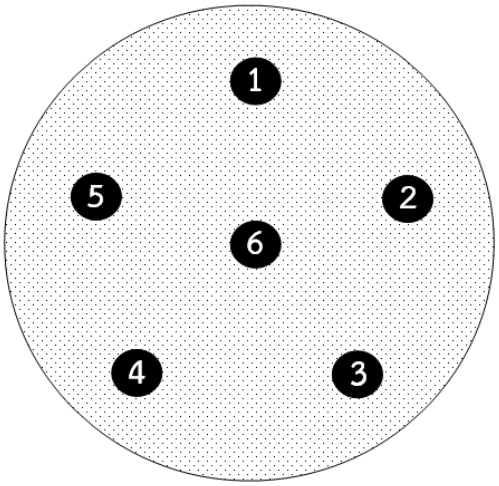
3. ศึกษาการประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion)

โดยทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Escherichia coli (E. coli) นำเชื้อแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้น 8 log CFU/mL นำมาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ น้ำยางคอมพาวด์, น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5, น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคไคโตซาน 1 %, น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคไคโตซาน 2 %, น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคไคโตซาน 3 % และอนุภาคไคโตซาน น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 %, น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3%, น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5 % อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Tadeg et al. (2005) คือ เทอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแต่ละชนิดลงในจานเพาะเชื้อภายในตู้ปลอดเชื้อแบบอากาศไหลเวียนปริมาตร 20 มิลลิลิตร ของทุกๆ เชื้อแบคทีเรีย เพื่อให้ความหนาของอาหารเลี้ยงเชื้อมีขนาดเท่าๆ กัน รอให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งประมาณ 15 นาที และทำให้ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อแห้งประมาณ 15 นาที ในตู้ปลอดเชื้อแบบอากาศไหลเวียนเช่นเดียวกัน จากนั้นทำการถู (Swab) เชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบด้วย Cotton swab ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยถูเชื้อแบคทีเรียลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง 3 ครั้ง เพื่อให้เชื้อกระจายอย่างสม่ำเสมอ รอจนแห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที และทำการเจาะหลุมด้วยหลอดแก้วที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ซึ่งมีเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของหลุมเท่ากับ 6 มิลลิเมตร จำนวน 3 เพลตต่อเชื้อแบคทีเรีย 1 ชนิด โดยให้มีระยะห่างระหว่างหลุมเท่าๆ กัน จากนั้นปิเปตตัวอย่างทดสอบที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลุมที่เจาะไว้ รอให้สารสกัดแพร่ผ่านวุ้นของอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง กลับจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส วัดผลโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างวิธีการทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion) เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเท่ากับ 6 มิลลิเมตร เชื้อแบคทีเรียเริ่มต้น 8 log CFU/mL



ภาพที่ 3.3 วิธีการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion)

หมายเลข 1 คือ น้ำยางคอมพาวด์
หมายเลข 2 คือ น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95:5
หมายเลข 3 คือ น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95:5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 % / อนุภาคไคโตซาน 1 %,
หมายเลข 4 คือ น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95:5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3 % อนุภาคไคโตซาน 2 %,
หมายเลข 5 คือ น้ำยางคอมพาวด์ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95:5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5 % อนุภาคไคโตซาน 3 %,
หมายเลข 6 คือ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ หรือไคโตซาน

ศึกษาการขึ้นรูปถุงมือยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1. ศึกษาการขึ้นรูปถุงมือยางด้วยวิธีการจุ่มจากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย

เตรียมน้ำยางคอมพาวด์ที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 2 - 3 วัน และสารช่วยให้ยางจับพิมพ์ เทใส่ถังสแตนเลสอย่างละ 1 ถัง ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นล้างพิมพ์ (Former) ให้สะอาด ไม่ให้มีฝุ่นผงเกาะ แล้วนำไปอบพิมพ์ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 45 - 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จึงนำพิมพ์มาจุ่มสารช่วยให้ยางจับพิมพ์ (Coagulant) เป็นเวลา 3 วินาที นำพิมพ์ขึ้นแล้วหมุนพิมพ์เป็นเวลา 2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้สารช่วยให้ยางจับพิมพ์แห้งมาดๆ อีก 3 นาทีแล้วค่อยๆ จุ่มพิมพ์โดยเอียงพิมพ์ประมาณ 45 องศา ลงในถังน้ำยางคอมพาวด์แล้วปรับพิมพ์ให้อยู่ในลักษณะที่ตั้งฉาก จุ่มพิมพ์ในน้ำยางคอมพาวด์เป็นเวลา 15 วินาที นำพิมพ์ขึ้นแล้วหมุนพิมพ์เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 3 นาที เมื่อยางเซทตัวจึงทำการม้วนขอบถุงมือยาง แล้วล้างพิมพ์ที่มียางเกาะติดอยู่ด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 นาที เพื่อชะล้างสารเคมีที่ตกค้างและชะล้างโปรตีนที่ละลายน้ำได้ออก ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติแล้วนำพิมพ์ไปอบให้ยางคงรูปในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำพิมพ์ออกจากตู้อบและถอดถุงมือออกจากพิมพ์

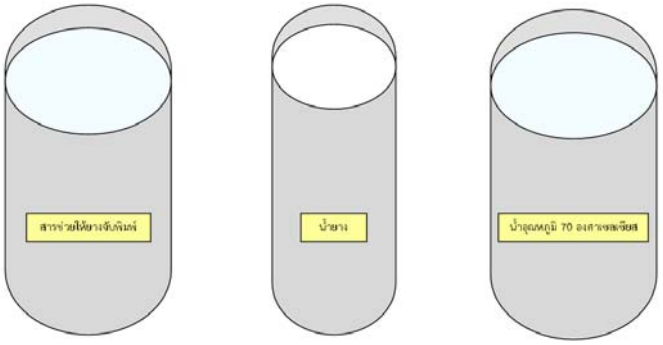
2. การเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์สำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยาง

นำน้ำยางคอมพาวด์ปริมาณ 4.940 กรัม มากวนด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนดิจิตอล (Hotplate and Magnetic Stirrer) รุ่น MS – H - Pro+ และให้ความร้อนภายในน้ำยางคอมพาวด์มีอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจนมีอัตราการไหลของแก๊ส 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที แล้วผสมเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 260 กรัม โดยทำการหยดเมทิลเมทาคริเลตลงไปทีละหยดในแต่ละตัวอย่าง แล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน

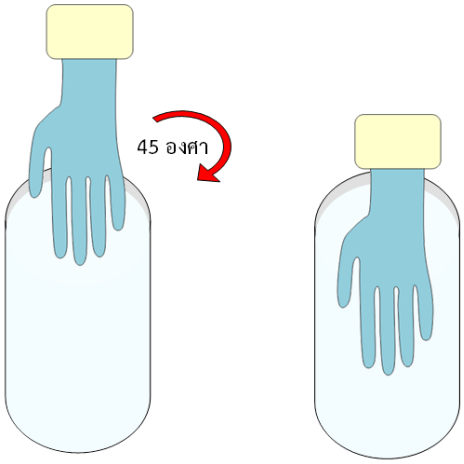
ปริมาณ 0.3 กรัม ต่อเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 100 กรัม (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.3 % w/w) แล้วทิ้งไว้ 10 นาที จึงหยุดการให้ความร้อน เมื่อน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีอุณหภูมิที่อุณหภูมิห้อง จึงทำการผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในความเข้มความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ในปริมาณ 1% ต่อน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตปริมาณ 100 กรัม (อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 % w/w)

3. การขึ้นรูปถุงมือยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยวิธีการจุ่ม

เตรียมถังถังสแตนเลส (Stainless tanks) ปริมาตร 5 และ 8 ลิตร จำนวน 3 ถังนำโดยถังที่ 1 บรรจุสารช่วยให้ยางจับพิมพ์ ปริมาตร 8 ลิตร ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน ถังที่ 2 บรรจุน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ปริมาตร 5 ลิตร ที่ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน และถังที่ 3 บรรจุน้ำอุ่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างพิมพ์ (Former) ให้สะอาดไม่ให้มีฝุ่นผงเกาะ แล้วนำไปอบพิมพ์ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 45 - 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จึงนำพิมพ์มาจุ่มสารช่วยให้ยางจับพิมพ์ (Coagulant) เป็นเวลา 3 วินาที นำพิมพ์ขึ้นแล้วหมุนพิมพ์เป็นเวลา 2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้สารช่วยให้ยางจับพิมพ์แห้งมาดๆ อีก 3 นาที แล้วค่อยๆ จุ่มพิมพ์โดยเอียงพิมพ์ประมาณ 45 องศา ลงในถังน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ แล้วปรับพิมพ์ให้อยู่ในลักษณะที่ตั้งฉาก จุ่มพิมพ์ในน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เป็นเวลา 15 วินาที นำพิมพ์ขึ้นแล้วหมุนพิมพ์เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 3 นาที เมื่อยางเซทตัวจึงทำการม้วนขอบถุงมือยาง แล้วล้างพิมพ์ที่มียางเกาะติดอยู่ด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 นาที เพื่อชะล้างสารเคมีที่ตกค้างและชะล้างโปรตีนที่ละลายน้ำได้ออก ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติแล้วนำพิมพ์ไปอบให้ยางคงรูปในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำพิมพ์ออกจากตู้อบและถอดถุงมือออกจากพิมพ์



(ก)



(ข)

(ค)

(ก) คือ ถังสแตนเลสที่บรรจุสารที่ใช้ในการจุ่มถุงมือยาง

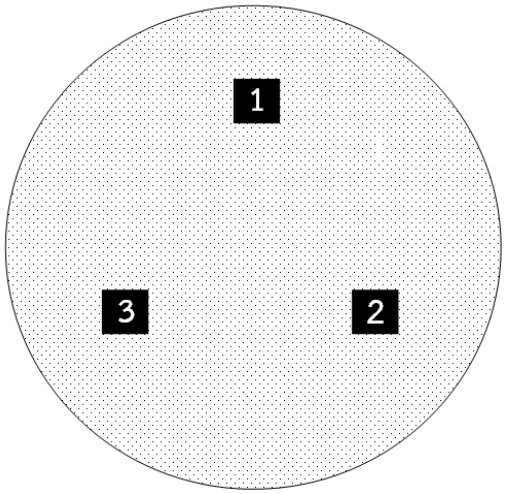
(ข) คือ การจุ่มถุงมือยาง

(ค) คือ การหมุนเหวี่ยงหุ่นมือเพื่อให้สารเซทตัว

ภาพที่ 3.4 กระบวนการขึ้นรูปถุงมือยาง

4. ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นฟิล์มโดยวิธีการแพร่ผ่านในวุ้น

โดยทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Escherichia coli (E. coli) นำเชื้อแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้น 8 log CFU/mL นำมาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียด้วยตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 และแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95 : 5 ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 % ด้วยวิธีการแพร่ผ่านในวุ้น โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Tadeg et al. (2005) คือ เทอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแต่ละชนิดลงในจานเพาะเชื้อภายในตู้ปลอดเชื้อแบบอากาศไหลเวียนปริมาตร 20 มิลลิลิตร ของทุกๆ เชื้อแบคทีเรีย เพื่อให้ความหนาของอาหารเลี้ยงเชื้อมีขนาดเท่าๆ กัน รอให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งประมาณ 15 นาที และทำให้ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อแห้งประมาณ 15 นาที ในตู้ปลอดเชื้อแบบอากาศไหลเวียนเช่นเดียวกัน จากนั้นทำการถู (Swab) เชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบด้วย Cotton swab ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยถูเชื้อแบคทีเรียลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง 3 ครั้ง เพื่อให้เชื้อกระจายอย่างสม่ำเสมอ รอจนแห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที และทำการตัดแผ่นฟิล์มของแต่ละตัวอย่าง ให้มีขนาด 6 x 6 มิลลิเมตร จำนวน 3 เพลตต่อเชื้อแบคทีเรีย 1 ชนิด จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่างวางลงบนเพลตให้มีระยะห่างเท่าๆ กัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง จึงกลับจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส วัดผลโดยวัดจากระยะห่างระหว่างแผ่นฟิล์มถึงบริเวณที่การยับยั้งเชื้อที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 3.5 วิธีการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นฟิล์มโดยวิธีการแพร่ผ่านในวุ้น

หมายเลขที่ 1 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ
หมายเลขที่ 2 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95:5
หมายเลขที่ 3 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน 95:5 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1%

5. ศึกษาการวิเคราะห์ความขรุขระพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (Confocal laser scanning microscope, CLSM)

ศึกษาการวิเคราะห์ความขรุขระพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (Confocal laser scanning microscope, CLSM) รุ่น Lex Ols 4100 ใช้สำหรับงานที่ต้องการภาพความละเอียดสูงและสามารถเก็บภาพชั้นความลึกที่ต้องการ ซึ่งคุณสมบัติหลักของกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกนคือ สามารถเก็บภาพเฉพาะบริเวณจุดโฟกัสโดยสามารถเลือกระดับความลึกได้ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การตัดด้วยแสง การบันทึกภาพของกล้องชนิดนี้เป็นการเก็บสัญญาณแสงจากจุดโฟกัสทีละจุดแล้วนำสัญญาณทั้งหมดมาสร้างเป็นภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยกระบวนการดังกล่าวทำให้สามารถสร้างภาพ 3 มิติ ของวัตถุที่ซับซ้อนขึ้นมาได้ โดยสำหรับวัตถุทึบแสงสามารถใช้กล้องชนิดนี้ศึกษาลักษณะของพื้นผิวได้ ในกรณีที่เป็นวัตถุโปร่งแสงสามารถถ่ายภาพโครงสร้างภายในของวัตถุได้ ซึ่งภาพที่ได้จะมีคุณภาพดีกว่าใช้กล้องทั่วไป เพราะภาพที่ได้จากระดับความลึกนั้นจะไม่ถูกซ้อนทับโดยภาพที่ระดับความลึกอื่น ในขณะที่ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาจะเป็นภาพของแสงสะท้อนทั้งหมดจากทุกชั้นความลึกที่แสงสามารถทะลุผ่านลงไปได้

6. ศึกษาการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

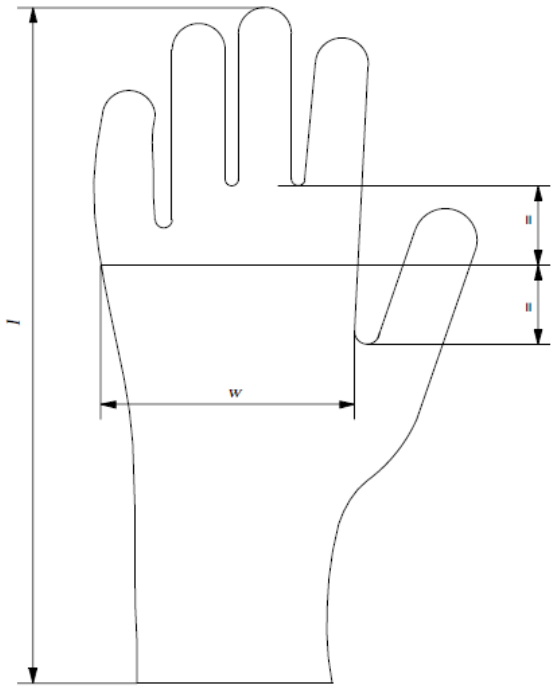
ศึกษาการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ใช้วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากการสังเคราะห์ถุงมือยาง จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งหลักการทำงานของ SEM เริ่มจากอิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) เคลื่อนผ่านเลนส์รวมแสง (Condenser lens) เป็นลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งลำแสงอิเล็กตรอนนี้จะผ่านเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดลงบนพื้นผิวของแผ่นฟิล์มเกิดเป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณภาพบนจอรับภาพ ภาพที่ได้จากเครื่องนี้เป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งมีกำลังขยายถึง 10 นาโนเมตร (nm)

ศึกษาการวิเคราะห์คุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 (ISO 11193 – 1 : 2008)

นำถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 (ISO 11193 – 1 : 2008) โดยส่งตัวอย่างทดสอบกับทางศูนย์วิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย โดยมีจำนวนตัวอย่างที่ส่งตัวอย่างทดสอบ ดังต่อไปนี้

1. มิติทางกายภาพ

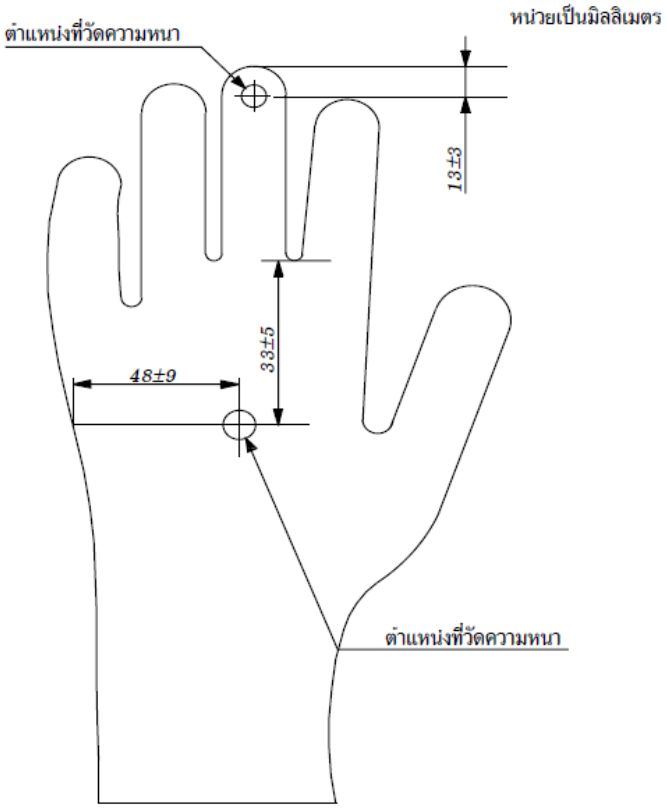
วัดถุงมือ ณ ตำแหน่งที่แสดงตามภาพที่ 3.1 วิธีการวัดความยาวของถุงมือให้วัดระยะที่สั้นที่สุดระหว่างปลายนิ้วกลาง และขอบของถุงมือ วิธีการวัดความกว้างให้วัดแนวกึ่งกลางระหว่างโคนนิ้วชี้ และโคนนิ้วหัวแม่มือ การวัดความกว้างต้องทำโดยวางถุงมือลงบนพื้นราบ วิธีการวัดความหนาให้เป็นไปตาม ISO 4648 โดยวัดความหนาถุงมือเต็มรูป (intact glove) ทั้ง 2 ชั้นใช้ความดันที่ตัวกดของเครื่องมือวัด 22 กิโลพาสคัล ± 5 กิโลพาสคัส ที่ตำแหน่งตามภาพที่ 3.2 คือ ตำแหน่งที่อยู่ต่ำจากปลายนิ้วกลางลงมา 13 มิลลิเมตร ± 3 มิลลิเมตร และตำแหน่งกึ่งกลางฝ่ามือโดยประมาณ ความหนาของขอบถุงมือที่วัดตาม ISO 4648 ไม่ควรเกิน 2.50 มิลลิเมตร



W คือ ความกว้าง
I คือ ความยาว

ภาพที่ 3.6 ตำแหน่งที่วัดความกว้างและความยาว

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548



หมายเหตุ ระยะ 48 มิลลิเมตร ± 9 มิลลิเมตร คือจุดกึ่งกลางฝ่ามือของถุงมือขนาดต่าง ๆ กัน

ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งที่วัดความหนา

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548

2. การรั่วซึมน้ำ

ทำโดยการสวมถุงมือตัวอย่างกับท่อสวมแมนเดรลแล้วยึดด้วยอุปกรณ์เหมาะสม เช่น วงแหวน (O-ring) โดยไม่ให้ขอบของถุงมือตัวอย่างสูงกว่าปลายท่อสวมแมนเดรลเกิน 40 มิลลิเมตร เติมน้ำที่อุณหภูมิไม่เกิน 36 องศาเซลเซียส ปริมาตร 1,000 ลบซม. ± 50 ลบซม. ลงในอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ เช็ดน้ำที่กระเซ็นเปียกบนถุงมือ ถ้าระดับน้ำสูงไม่ถึงระยะ 40 มิลลิเมตรจากขอบถุงมือให้ยกถุงมือขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าทุกส่วนของถุงมือได้รับการทดสอบ ยกเว้นส่วน 40 มิลลิเมตรจากขอบถุงมือ ตรวจว่ามีน้ำรั่วออกจากถุงมือหรือไม่ ถ้าไม่มีให้แขวนไว้ 2 นาที – 4 นาที นับตั้งแต่เทน้ำลงในถุงมือ ตรวจพินิจการรั่วซึมอีกครั้งหนึ่ง อาจเติมสีที่ละลายน้ำได้ลงในน้ำเพื่อให้สังเกตการรั่วซึมได้ชัดเจน

3. แรงดึง

1. การทดสอบ ให้ปฏิบัติตาม ISO 37 โดยใช้ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจากฝ่ามือ หรือ หลังของถุงมือแต่ละข้าง แล้วรายงานค่ามัธยฐาน (median value)

2. แรงดึงเมื่อขาดและความยืดเมื่อขาดก่อนบ่มเร่ง เมื่อทดสอบตาม ISO 37 โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์แบบที่ 2 ค่าแรงดึงเมื่อขาดและความยืดเมื่อขาดต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้ระดับการตรวจสอบและระดับคุณภาพที่ยอมรับตามที่กำหนด

3. แรงดึงเมื่อขาดและความยืดเมื่อขาดหลังบ่มเร่ง การทดสอบการบ่มเร่งให้ปฏิบัติตามวิธีที่ระบุใน ISO 188 หลังจากที่อบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง ± 2 ชั่วโมง แล้วค่าแรงดึงเมื่อขาดและความยืดต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้ระดับการตรวจสอบและระดับคุณภาพที่ยอมรับตามที่กำหนด

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดทดสอบถุงมือทางการแพทย์

รายการที่ทดสอบ	จำนวนชิ้น/ชุด	ค่าที่รายงาน	หน่วยที่รายงาน	ตามมาตรฐาน
มิติทางกายภาพ ถุงมือตรวจโรค ถุงมือศัลยกรรม	13	 กว้าง, ยาว, หนา กว้าง, ยาว, หนา	 มิลลิเมตร (mm) มิลลิเมตร (mm)	 ISO 11193 – 1: 2008 ISO 10282: 2002
สมบัติด้านการดึง ถุงมือตรวจโรค ก่อนและหลังบ่มเร่ง ถุงมือศัลยกรรม ก่อนบ่มเร่ง หลังบ่มเร่ง	13	 1. แรงดึงเมื่อขาด (Force at break) 2. ระยะยืดจนขาด (Elongation at break) 1. แรงดึงเมื่อขาด (Force at break) 2. ระยะยืดจนขาด (Elongation at break) 3. แรงดึงเมื่อมีการยืดร้อยละ 300 (300 % Modulus) 1. แรงดึงเมื่อขาด (Force at break) 2. ระยะยืดจนขาด (Elongation at break)	 นิวตัน (N) เปอร์เซ็นต์ (%) นิวตัน (N) เปอร์เซ็นต์ (%) นิวตัน (N) นิวตัน (N) เปอร์เซ็นต์ (%)	 ISO 37: Type 2
การรั่วซึม	200	จำนวนที่มีการรั่วซึม	ชิ้น	ISO 11193 – 1: 2008 ISO 10282: 2002
ปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำ	ตามจำนวนที่ส่งตรวจ	ปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำ	ไมโครกรัม/กรัม (µg/g)	Modified lowry method

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เตรียมอนุภาคไคโตซานและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ สังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์สำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยางด้วยการเติมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม ศึกษาสมบัติเชิงผิวของฟิล์มจากน้ำยางคอมพาวด์ การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ การเตรียมอนุภาคไคโตซาน การเตรียมยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน ศึกษาสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย การขึ้นรูปถุงมือยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน และศึกษาคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลวิเคราะห์สารสกัดไคโตซานจากแกนหมึก

4.1.1 ลักษณะสารสกัดไคโตซานจากแกนหมึก

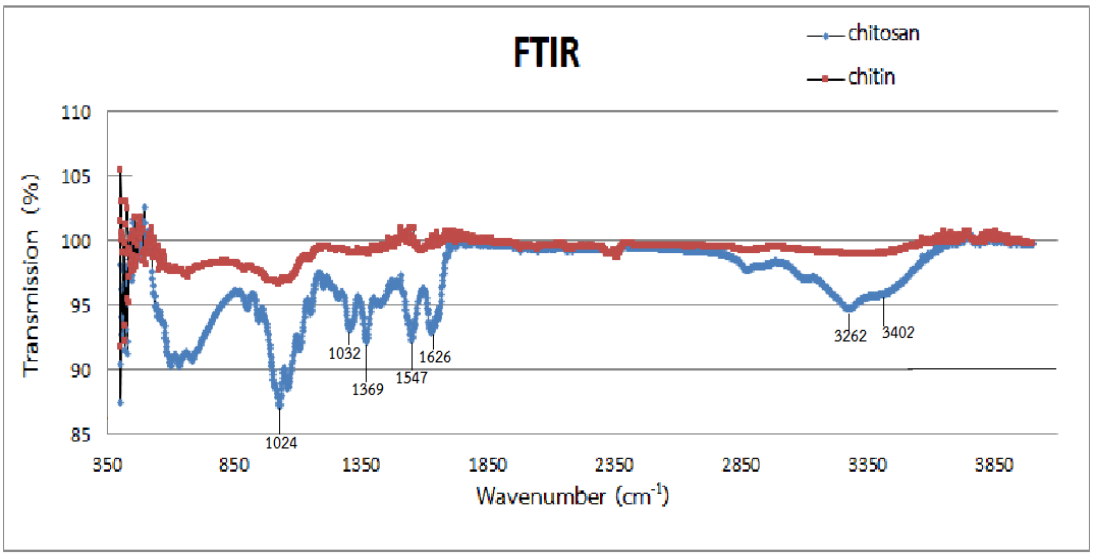
การสกัดไคโตซานจากแกนหมึก ทำการแยกเกลือแร่โดยแช่แกนหมึกลงในกรดไฮดรอคลอริกความเข้มข้น 1 N เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นเทกรดทิ้ง แล้วทำการกำจัดโปรตีนโดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซค์ 1 N นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วล้างออก จากนั้นกำจัดรงควัตถุโดยการแช่ในเมทธานอลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ต่อในอะซีโตนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะได้ไคติน นำไปให้ความร้อนในโซเดียมไฮดรอกไซค์ความเข้มข้น 50 % ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างตัวอย่างจนกระทั่ง pH เป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้ง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ไคโตซานจากแกนหมึก

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า สารที่ผลิตได้จากแกนหมึกหรือไคโตซานจากแกนหมึก จะมีสีขาวขุ่น มีลักษณะเป็นเกล็ด เมื่อทดสอบการละลาย พบว่า ไม่สามารถละลายในน้ำหรือเบสได้

4.1.2 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมี

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไคโตซานด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR) ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงผลการตรวจคุณสมบัติของไคโตซานด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR)

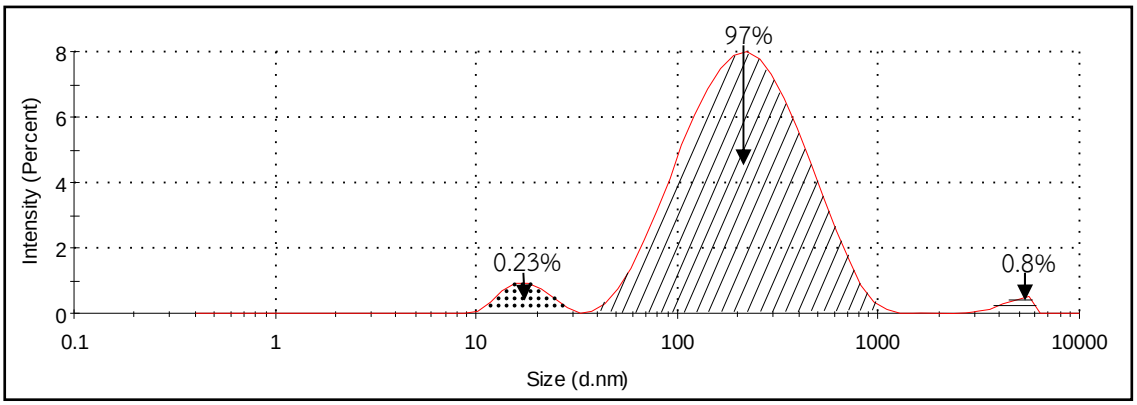
จากภาพที่ 4.2 พบว่า มีสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1369 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่เอมีน (NH), สเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1547 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่อะมิโน (NH_2) สเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1626 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่คาร์บอลนิล (C=O) และสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 3262 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งตรงตามโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้วิธีการรีดักชันทางเคมี ได้สารคอลลอยด์สีเหลือง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของคลื่นแสง (Laser diffraction) เพื่อนำไปผสมกับน้ำยางคอมพาวด์และพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อไป ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดและพื้นที่ใต้พีคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ช่วงที่	ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (nm)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีค (%)
1	11	2.23
2	259	97
3	3188	0.8



ภาพที่ 4.3 การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยของอนุภาค 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 11 นาโนเมตร ช่วงที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 259 นาโนเมตร และช่วงที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 3188 นาโนเมตร ซึ่งจากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ช่วงที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 259 นาโนเมตร มีปริมาณการกระจายตัวมากที่สุด คือ 97% ดังนั้น ขนาดอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่ที่ขนาด 259 นาโนเมตร

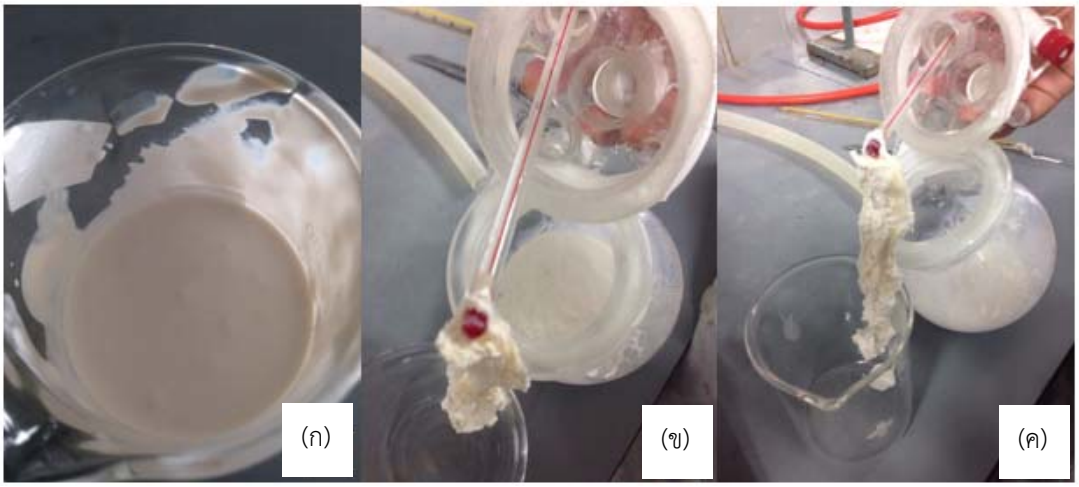
4.3 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต

4.3.1 ผลของอัตราส่วนพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางคอมพาวด์

จากการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เพื่อนำมาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมทิลมาทาคริเลทในน้ำยาง และนำไปศึกษาโครงสร้างทางเคมีของน้ำยางและพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยเทคนิค FTIR ต่อไป ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตในแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วนน้ำยางคอมพาวด์ต่อเมทิลเมทาคริเลต (%)	**ลักษณะที่เกิด**	
95 : 5		น้ำยางคงสถานะเป็นของเหลว
0 : 10		น้ำยางจับตัวกันเป็นก้อนประมาณ
85 : 15		น้ำยางจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่



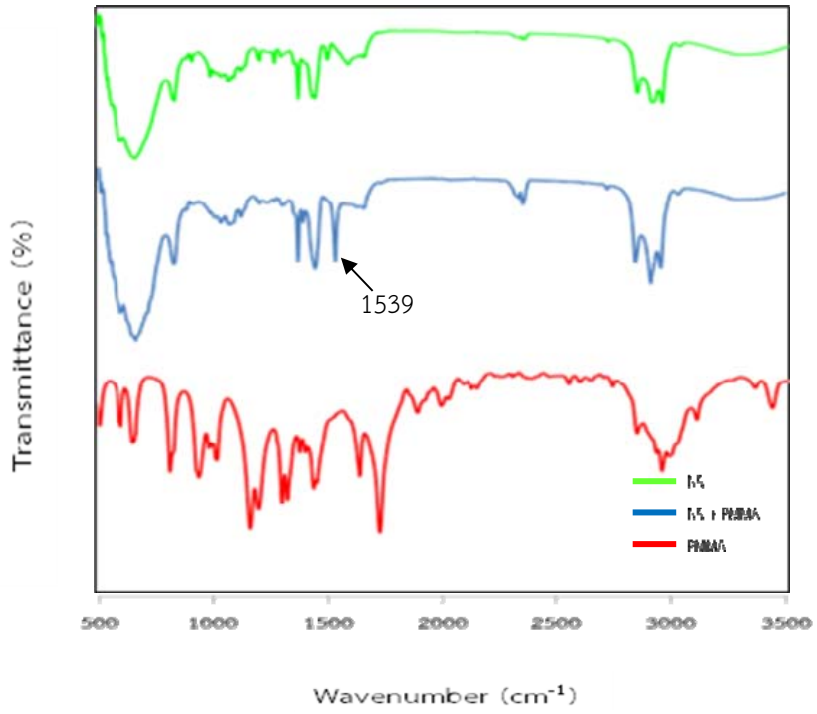
ภาพที่ 4.4 ลักษณะน้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่อัตราส่วนต่างๆ (ก) น้ำยางต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลต 95 : 5 (ข) น้ำยางต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลต 90 : 10 และ ค) น้ำยางต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลท 85 : 15

จากผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมทิลมาทาคริเลทในน้ำยางคอมพาวด์ แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตในอัตราส่วน 95 : 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า น้ำยางคงสถานะเป็นของเหลว แต่ในอัตราส่วน 90 : 10 เปอร์เซ็นต์

โดยน้ำหนัก น้ำยางมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนประมาณ 30% ของน้ำยาง และในอัตราส่วน 85 : 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำยางมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ประมาณ 70% ของน้ำยาง

4.3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมทิลมาทาคริเลทโดยเทคนิค FTIR

นำน้ำยางธรรมชาติ พอลิเมทิลเมทาคริเลต น้ำยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิค FTIR พบหมู่ฟังก์ชันดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 สเปคตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำยาง พอลิเมทิลเมทาคริเลต และน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต

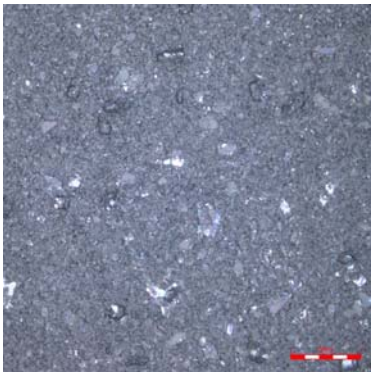
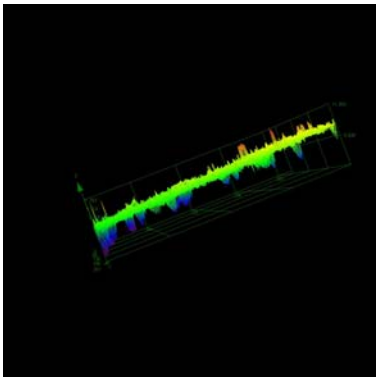
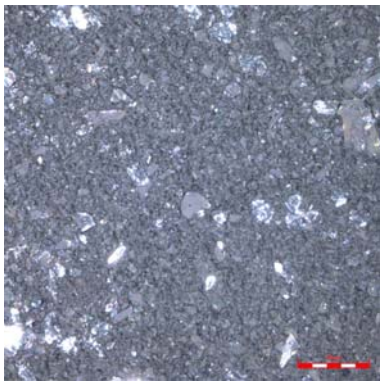
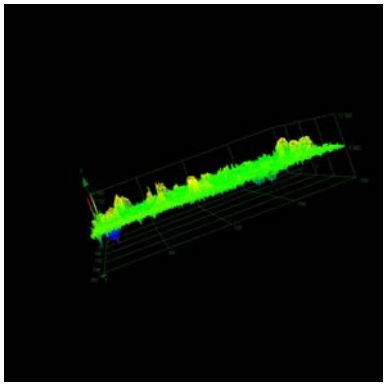
จากภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และพอลิเมทิลเมทาคริเลตมาวิเคราะห์โครงสร้างเคมี โดยยางธรรมชาติจะพบหมู่ฟังก์ชัน C=C และ CH=C ที่เลขคลื่น 1666 cm^{-1} และ 837 cm^{-1} พอลิเมทิลเมทำคริเลทจะพบหมู่ฟังก์ชัน C=O และ C-O ที่เลขคลื่นที่ 1729 cm^{-1} และ 1167 cm^{-1} และน้ำยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะพบพีคปรากฏที่เลขคลื่น 1539 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ซึ่งเกิดการ

เคลื่อนที่เล็กน้อย การแสดงหมู่ฟังก์ชัน C=O ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตในโครงสร้างของยางธรรมชาติ แสดงให้เห็นถึงการกราฟต์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตและยางธรรมชาติ

4.3.3 ผลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีต่อความขรุขระที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

นำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต และแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทำการตัดให้มีขนาด 10 x 10 เซนติเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์พื้นผิวความขรุขระของแผ่นฟิล์ม ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวความขรุขระของแผ่นฟิล์ม

ตัวอย่างวิเคราะห์	ภาพพื้นผิว 2 มิติ	ภาพพื้นผิว 3 มิติ	ค่าเฉลี่ยความขรุขระที่ผิว
NR			0.290
NR + PMMA			0.326

ผลการวิเคราะห์พื้นผิวความขรุขระของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ภาพถ่าย 2 มิติของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน จึงไม่สามารถระบุความแตกต่างที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์มได้ ซึ่งภาพถ่าย 3 มิติ จะสังเกตความแตกต่างของระดับพื้นผิวของแผ่นฟิล์มได้ พบว่า แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจะมีความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ย 0.306 ไมโครเมตร เมื่อผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ยมีค่า 0.326 ไมโครเมตร เมื่อผิวสัมผัสมีความขรุขระเพิ่มขึ้น จึงสามารถลดโอกาสในการสัมผัสระหว่างผิวหนังกับฟิล์มยางได้ ซึ่งสามารถลดโอกาสในการแพ้ยางธรรมชาติได้

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

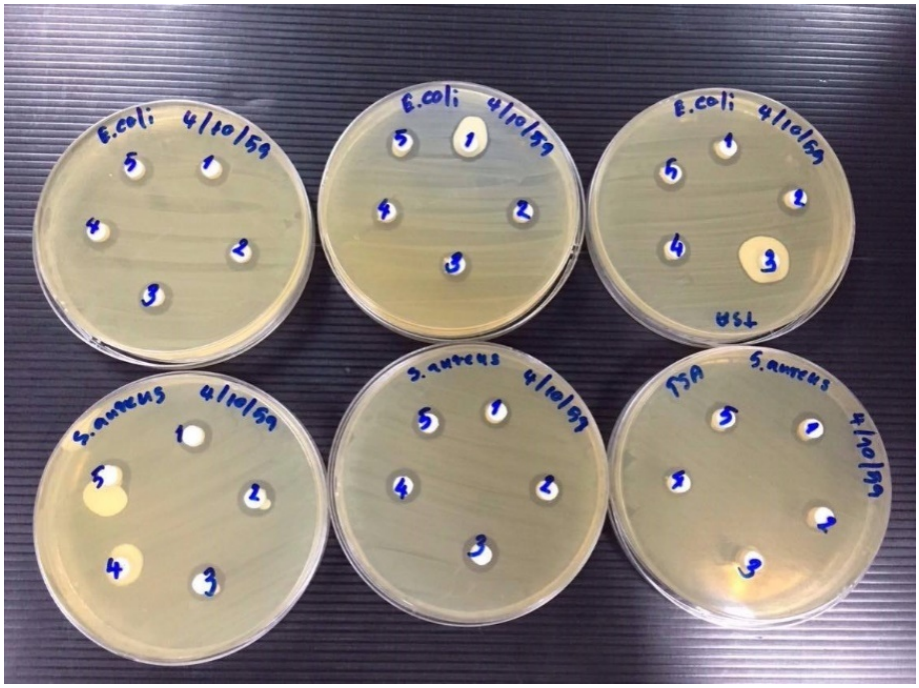
4.4.1 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคไคโตซาน โดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion)

การสังเคราะห์น้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลตและไคโตซาน ทำโดยการชั่งน้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต ใส่ลงไปในบีกเกอร์ กวนตลอดเวลา ที่ความเร็วรอบ 350 rpm ค่อยๆ ร่อนไคโตซานใส่ลงไปในอัตราส่วนน้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลตต่อไคโตซาน ร้อยละ 1, ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 จะได้น้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต และไคโตซานในอัตราส่วนต่างๆ และนำไปทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยการตรวจสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion) ของน้ำยางที่มีพอลิเมทิลเมทาคริเลต และไคโตซานที่อัตราส่วนต่างๆ

การหาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตซานด้วยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion) วัดผลโดยการคำนวณพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 แสดงพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone)

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณไคโตซาน (%)	พื้นที่ยับยั้งแบคทีเรีย (ตารางเซนติเมตร)	
		S. aureus	*E. coli*
4	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
8	1	0.52	0.47
	2	0.57	0.60
	3	0.35	0.56
24	1	0.52	0.47
	2	0.57	0.60
	3	0.35	0.56

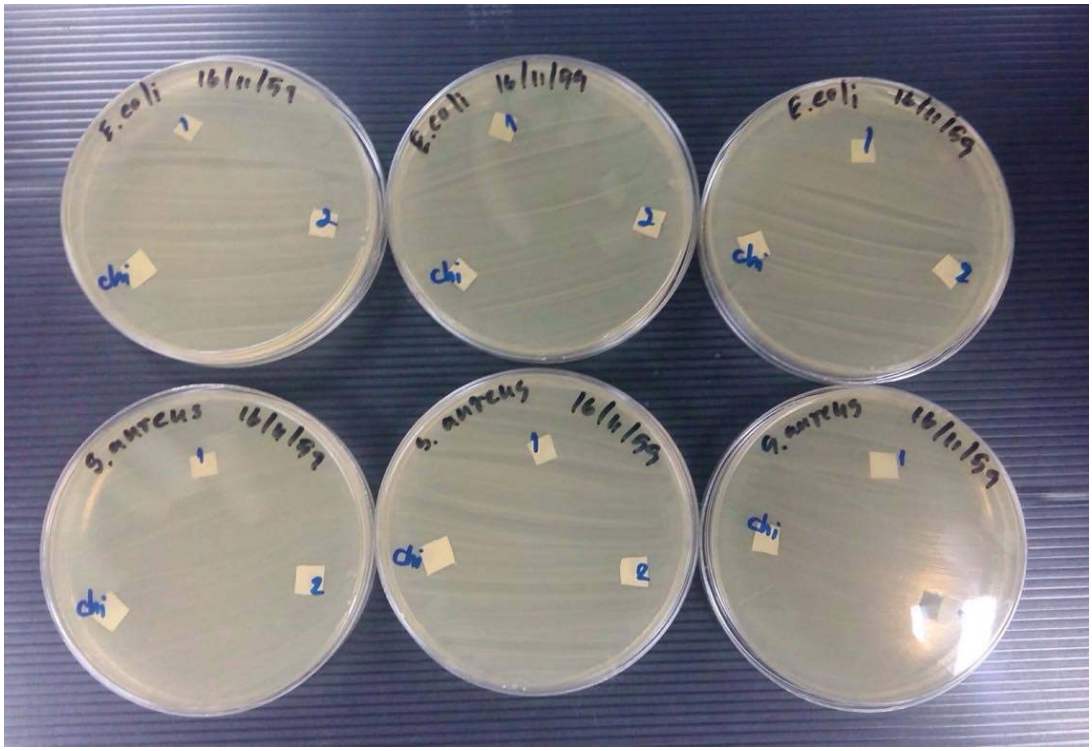


ภาพที่ 4.6 แสดงพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Clear zone) โดย 1 คือ น้ำยางธรรมชาติ 2 คือ น้ำยางธรรมชาติที่มี PMMA 3 คือ น้ำยางธรรมชาติที่มี PMMA และ 1% ไคโตซาน 4 คือ น้ำยางธรรมชาติที่มี PMMA และ 2% ไคโตซาน และ 5 คือ น้ำยางธรรมชาติที่มี PMMA และ 3% ไคโตซาน

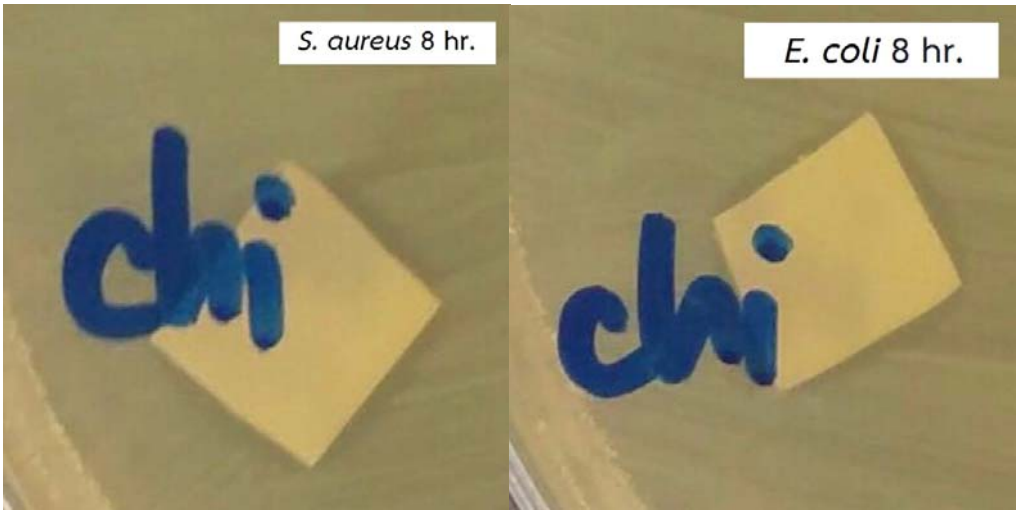
จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.6 จะพบว่า พื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) ของเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 2% ยับยั้งเชื้อ S.aureus และเชื้อ E.coli ได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.57 ($p > 0.05$) และ 0.60 ($p > 0.05$) ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.2 ผลตรวจสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของแผ่นฟิล์มยางที่มีอนุภาคไคโตซานโดยวิธีการแพร่ผ่านในวุ้น

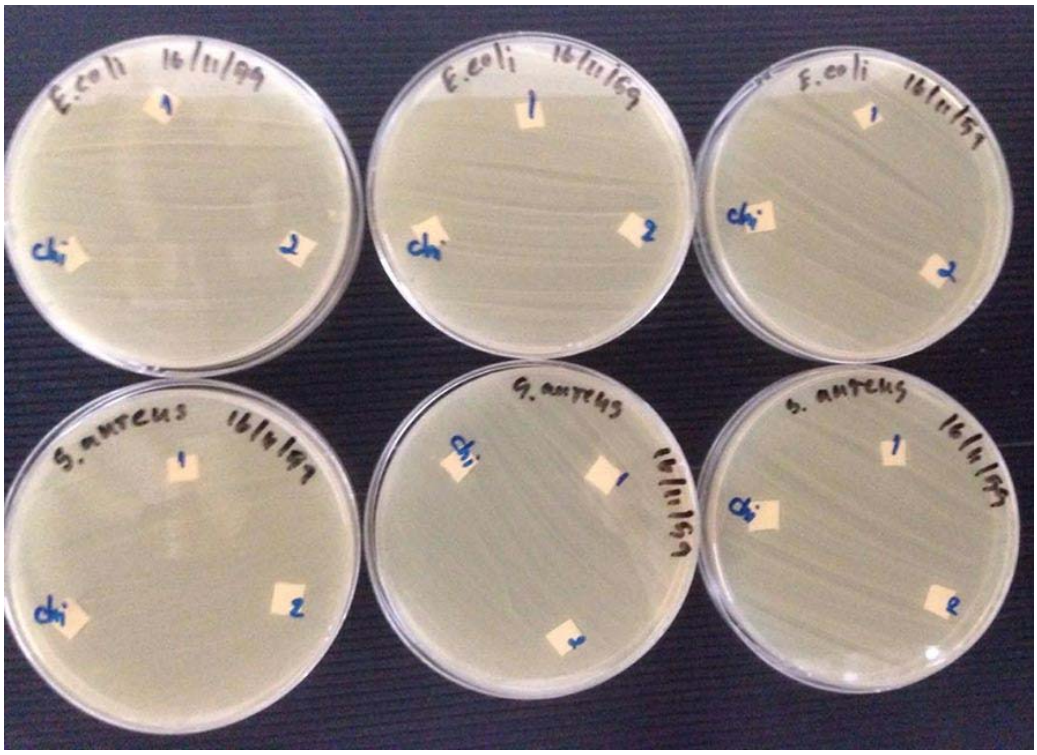
เมื่อทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์มยางมีอนุภาคไคโตซาน โดยการตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 6 x 6 มิลลิเมตร เพื่อทำการทดสอบเชื้อแบคทีเรีย โดยสังเกตพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) ที่ 8 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4.7- 4.10



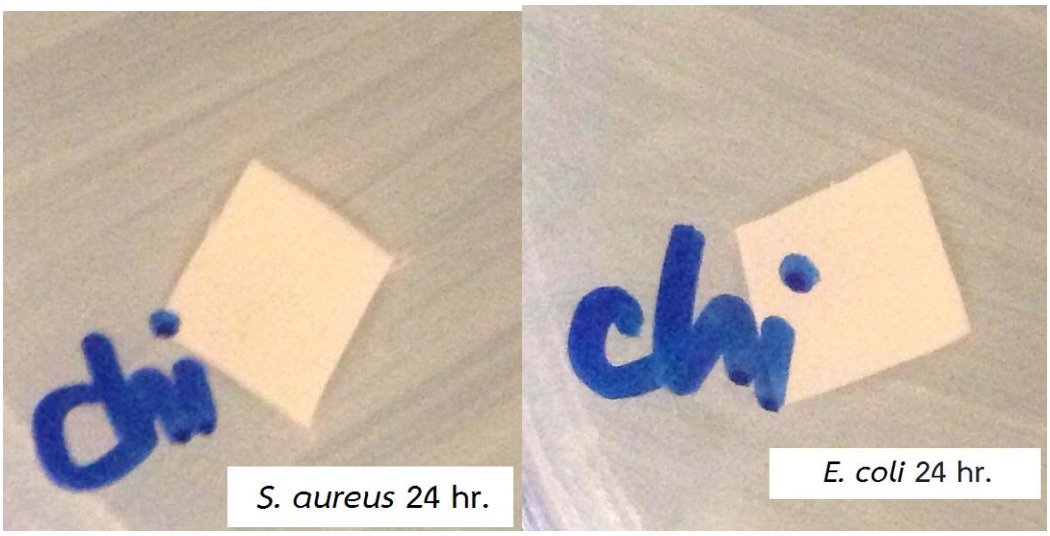
ภาพที่ 4.7 แสดงพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) ที่ 8 ชั่วโมง โดย 1 คือ ฟิลม์ยางธรรมชาติ 2 คือ ฟิลม์ยางที่มี PMMA และ 3 คือ ฟิลม์ยางที่มี PMMA และไคโตซาน



ภาพที่ 4.8 แสดงพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ (clear zone) ที่ 8 ชั่วโมง ของฟิลม์ยางที่มี PMMA และไคโตซาน



ภาพที่ 4.9 แสดงพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) ที่ 24 ชั่วโมง โดย 1 คือ ฟิลม์ยางธรรมชาติ 2 คือ ฟิลม์ยางที่มี PMMA และ 3 คือ ฟิลม์ยางที่มี PMMA และไคโตซาน



ภาพที่ 4.10 แสดงพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น (Zone of inhibition หรือ clear zone) ที่ 24 ชั่วโมง ของฟิลม์ยางที่มี PMMA และไคโตซาน

พบว่า ฟิลม์ยางที่มี PMMA และไคโตซาน จะเกิดการยับยั้งแบคทีเรียที่เวลา 8 ชั่วโมง (หมายเหตุ: ไม่สามารถวัดพื้นที่ของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากมีพื้นที่เล็กเกินไป)

4.4.3 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion)

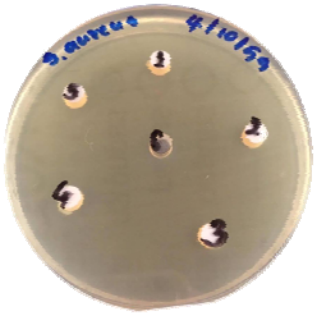
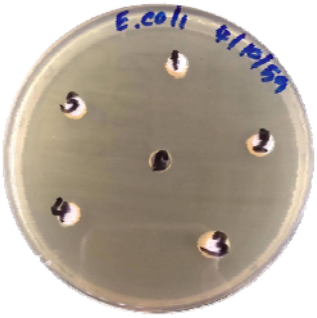
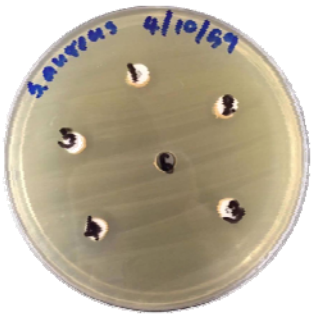
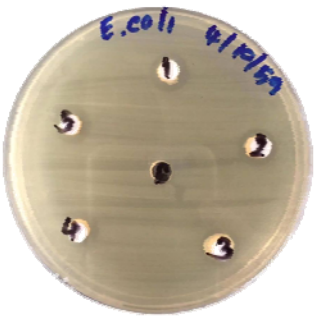
การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion) ด้วยเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Escherichia coli (E. coli) โดยมีตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

โดย หมายเลข 1 คือ น้ำยางคอมพาวด์
หมายเลข 2 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลมาทาคริเลท
หมายเลข 3 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1%
หมายเลข 4 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3%
หมายเลข 5 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5%
หมายเลข 6 คือ อนุภาคนาโนซิลเวอร์

หลังจากทำการหยดตัวอย่างแล้ว รอให้ตัวอย่างแพร่ผ่านวุ้นของอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง จึงกลับจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ทำการวัดผลโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น ในเวลา 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลทกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในแต่ละช่วงเวลา

เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)	**เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ**	
	Staphylococcus (S. aureus)	Escherichia coli (E. coli)
4		
6		
8		
24		

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของน้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในแต่ละช่วงเวลา

เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (ตารางมิลลิเมตร)	
	Staphylococcus (S. aureus)	Escherichia coli (E. coli)
4	เชื้อยังไม่เจริญ	เชื้อยังไม่เจริญ
6	เริ่มสังเกตเห็นพื้นที่การยับยั้งเชื้อ แต่ยังไม่สามารถวัดผลได้	เริ่มสังเกตเห็นพื้นที่การยับยั้งเชื้อ แต่ยังไม่สามารถวัดผลได้
8	หมายเลข 1 เท่ากับ 0.59 หมายเลข 2 เท่ากับ 0.56 หมายเลข 3 เท่ากับ 1.01 หมายเลข 4 เท่ากับ 1.11 หมายเลข 5 เท่ากับ 1.00 หมายเลข 6 เท่ากับ -	หมายเลข 1 เท่ากับ 0.86 หมายเลข 2 เท่ากับ 0.75 หมายเลข 3 เท่ากับ 0.95 หมายเลข 4 เท่ากับ 0.97 หมายเลข 5 เท่ากับ 1.07 หมายเลข 6 เท่ากับ -
24	หมายเลข 1 เท่ากับ 0.80 หมายเลข 2 เท่ากับ 0.76 หมายเลข 3 เท่ากับ 1.27 หมายเลข 4 เท่ากับ 1.25 หมายเลข 5 เท่ากับ 1.29 หมายเลข 6 เท่ากับ -	หมายเลข 1 เท่ากับ 1.17 หมายเลข 2 เท่ากับ 0.77 หมายเลข 3 เท่ากับ 1.01 หมายเลข 4 เท่ากับ 1.07 หมายเลข 5 เท่ากับ 1.09 หมายเลข 6 เท่ากับ -

จากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ภาพถ่ายการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด เมื่อระยะเวลาการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียผ่านไป 4 ชั่วโมง ไม่สามารถมองเห็นบริเวณพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ยังไม่เจริญเติบโต เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มสังเกตเห็นพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด แต่ยังไม่สามารถวัดพื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียยังไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง พื้นที่บริเวณกำรยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชัดเจนมากขึ้น จึงทำการวัดค่าพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดังนี้ ความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อ Escherichia coli (E. coli) โดย หมายเลข 1 คือ น้ำยางคอมพาวด์มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 0.59 และ 0.86 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 2 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 0.56 และ 0.75

ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 3 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.01 และ 0.95 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 4 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3% มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.11 และ 0.97 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 5 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5% มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.00 และ 1.07 ตารางมิลลิเมตร และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เมื่อระยะเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้นจึงทำการวัดค่าพื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังนี้ ความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อ Escherichia coli (E. coli) โดย หมายเลข 1 คือ น้ำยางคอมพาวด์มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 0.80 และ 1.17 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 2 คือ น้ำยำงคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีพืนที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 0.76 และ 0.77 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 3 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% มีพืนที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.27 และ 1.01 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 4 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3% มีพืนที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.25 และ 1.07 ตารางมิลลิเมตร หมายเลข 5 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5% มีพื นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.29 และ 1.09 ตารางมิลลิเมตร และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่มีพืนที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5% ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด แต่มีค่าเฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใกล้เคียงกับน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทำคริเลทและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% และ 3% ดังนั้นจึงเลือกน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใกล้เคียงกัน จึงใช้ปริมาณที่น้อยกว่า และคุ้มค่าต่อต้นทุนที่ใช้ในการผลิตอนุภาคนาโนซิลเวอร์

4.4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นฟิล์ม โดยวิธีการแพร่ผ่านในวุ้น

เมื่อทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์มยาง จึงทำการตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 6 x 6 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Agar well diffusion) ด้วยเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย Escherichia coli (E. coli) โดยมีตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

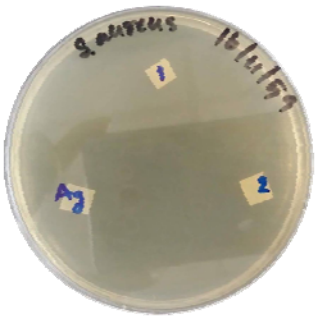
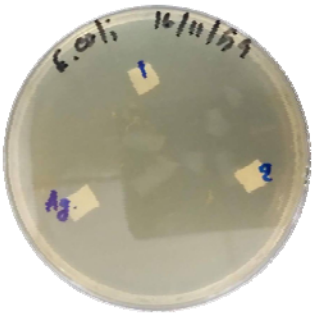
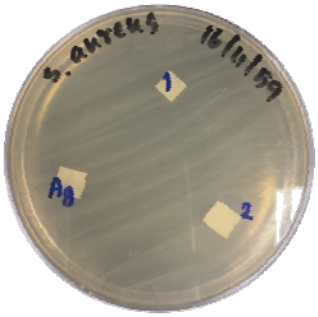
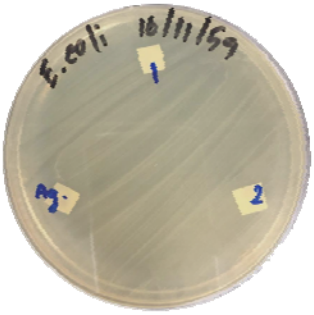
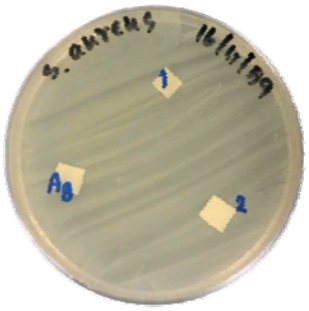
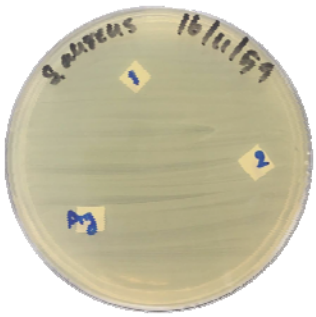
โดย หมายเลข 1 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

หมายเลข 2 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต

หมายเลข 3 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1%

หลังจากทำการหยดตัวอย่างแล้ว กลับจานเพาะเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ทำการวัดผลโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้งที่เกิดขึ้น ในเวลา 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในแต่ละช่วงเวลาของแผ่นฟิล์ม

เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)	เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ	
	Staphylococcus (S. aureus)	Escherichia coli (E. coli)
4		
6		
8		
24		

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในแต่ละช่วงเวลาของแผ่นฟิล์ม

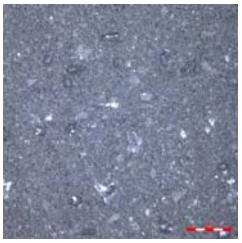
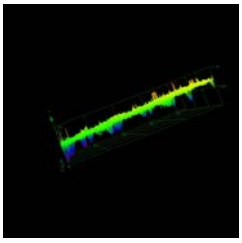
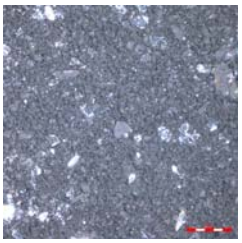
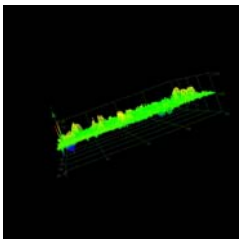
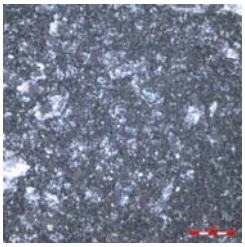
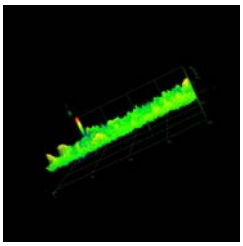
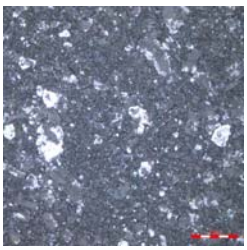
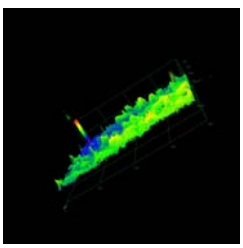
เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	
		Staphylococcus (S. aureus)	Escherichia coli (E. coli)
4		เชื้อยังไม่เจริญ	เชื้อยังไม่เจริญ
6		เริ่มสังเกตเห็นพื้นที่การยับยั้งเชื้อ แต่ยังไม่สามารถวัดผลได้	เริ่มสังเกตเห็นพื้นที่การยับยั้งเชื้อ แต่ยังไม่สามารถวัดผลได้
8	1	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ
	2	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ
	3	1.17	1.23
24	1	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ
	2	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ	ไม่มีการยับยั้งเชื้อ
	3	1.26	1.52

จากตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ภาพถ่ายการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด เมื่อระยะเวลาการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียผ่านไป 4 ชั่วโมง ไม่สามารถมองเห็นบริเวณพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ยังไม่เจริญเติบโต เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง เริ่มสังเกตเห็นพื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด บริเวณที่มีการสัมผัสโดยตรงกับหมายเลข 3 คือ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 % แต่ยังไม่สามารถวัดพื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากพื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียยังไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง พื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชัดเจนมากขึ้น จึงทำการวัดค่าพื้นที่บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังนี้ ความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อ Escherichia coli (E. coli) โดยหมายเลข 3 คือ น้ำยางคอมพาวด์ที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 % มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.17 และ 1.23 ตารางมิลลิเมตร เมื่อระยะเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า หมายเลข 3 มีพื้นที่เฉลี่ยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 1.26 และ 1.52 ตารางมิลลิเมตร

4.5 ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซานที่มีต่อความขรุขระของผิวฟิลม์ยาง

การตรวจสอบพื้นที่ผิวโดยใช้ Laser microscope เพื่อดูความขรุขระของผิวฟิลม์ยาง และดูการกระจายตัวของ Chitosan และPMMA บนฟิลม์ยางธรรมชาติ, ฟิลม์ยางธรรมชาติที่มี PMMA และฟิลม์ยางธรรมชาติที่มี PMMA และไคโตซาน จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9

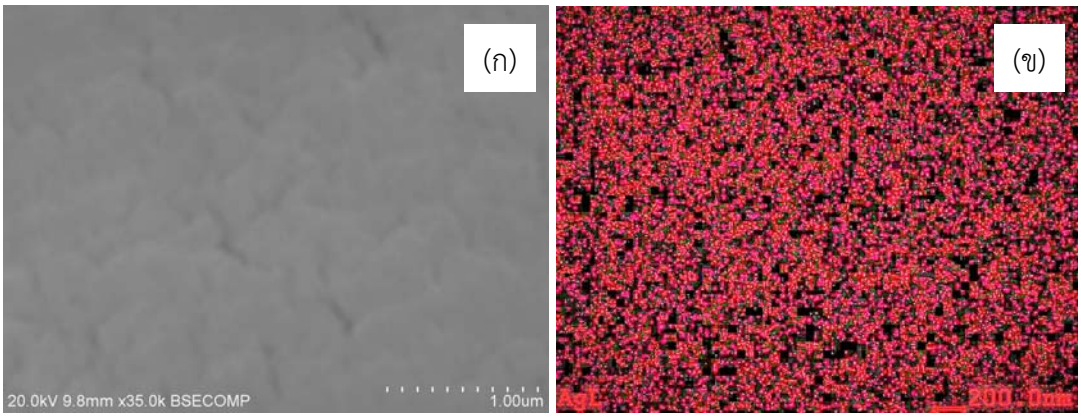
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวความขรุขระของแผ่นฟิล์มที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน

ตัวอย่างวิเคราะห์	ภาพพื้นผิว 2 มิติ	ภาพพื้นผิว 3 มิติ	ค่าเฉลี่ยความขรุขระที่ผิว
NR			0.290
NR + PMMA			0.326
NR + PMMA +Nano Silver			0.378
NR + PMMA +Chitosan			0.499

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ภาพถ่าย 2 มิติของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และแผ่นฟิล์มยางธรรมชำติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคไคโตซาน มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน จึงไม่สามารถระบุความแตกต่างที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์มได้ ซึ่งภาพถ่าย 3 มิติ จะสังเกตความแตกต่างของระดับพื้นผิวของแผ่นฟิล์มได้ พบว่า แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติจะมีความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ย 0.306 ไมโครเมตร เมื่อผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ยเป็น 0.326 ไมโครเมตร เมื่อเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก็จะมีความขรุขระพื้นผิวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.378 ไมโครเมตร และเมื่อเติมอนุภาคไคโตซานก็จะมีความขรุขระพื้นผิวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.499 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมาทาคริเลตจะมีค่าเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวมากขึ้นฟิล์มยางธรรมชาติจาก 12.41 % แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะมีค่ำเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น 16% และแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคไคโตซานจะมีค่ำเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น 53.06 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมาทาคริเลต

4.6 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1 % มาวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM) แสดงดังภาพที่ 4.11



(ก) คือ ภาพถ่ายพื้นผิวแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์1 % กำลังขยาย x 35k เท่า สเกล 1.00 ไมครอนเมตร

(ข) คือ กระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลทและอนุภาคนาโนซิลเวอร์1 % กำลังขยาย x 35000k เท่า สเกล 200 ไมครอนเมตร

ภาพที่ 4.11 ภาพถ่ายพื้นผิวและการกระจายตัวของแผ่นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์กระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายพื้นผิวและการกระจายตัวของแผ่นฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า มีกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สม่ำเสมอและไม่มีการรวมตัวกันในแผ่นฟิล์มยาง

4.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548

4.7.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติมิติทางกายภาพและสมบัติด้านการดึง

จากการขึ้นรูปถุงมือยางโดยวิธีการจุ่มแล้ว จึงนำถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคไคโตซานมาทดสอบคุณสมบัติมิติทางกายภาพและสมบัติด้านการดึงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 ได้ผลดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติมิติทางกายภาพและสมบัติด้านการดึงของถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ประเภท	สมบัติ	เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ
มิติทางกายภาพ				
	ความกว้าง	≥ 95 ± 5 มิลลิเมตร	95.15	ผ่าน
	ความยาว	≥ 230 มิลลิเมตร	227.15	ไม่ผ่าน
	ความหนา			
	บริเวณปลายนิ้ว	≥ 0.08 มิลลิเมตร	0.29	ผ่าน
	บริเวณกึ่งกลางฝ่ามือ	≤ 2.00 มิลลิเมตร	0.28	ผ่าน
สมบัติด้านการดึง				
	ก่อนบ่มเร่ง			
	แรงดึงเมื่อขาด	ต่ำสุด 7.0 นิวตัน	23.76	ผ่าน
	ความยืดเมื่อขาด	ต่ำสุด 650 ร้อยละ	688.33	ผ่าน
	หลังบ่มเร่ง			
	แรงดึงเมื่อขาด	ต่ำสุด 6.0 นิวตัน	29.13	ผ่าน
	ความยืดเมื่อขาด	ต่ำสุด 500 ร้อยละ	713.33	ผ่าน

ผลการทดสอบคุณสมบัติมิติทางกายภาพและสมบัติด้านการดึง ถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 พบว่า คุณสมบัติมิติทางกายภาพ ได้แก่ ความกว้างมีค่าเฉลี่ย 95.15 มิลลิเมตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความยาวมีค่าเฉลี่ย 227.15 มิลลิเมตร ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ความหนาบริเวณปลายนิ้วมีค่าเฉลี่ย 0.29 มิลลิเมตร และความหนาบริเวณกึ่งกลางฝ่ามือมีค่าเฉลี่ย 0.28 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คุณสมบัติด้านการดึงก่อนบ่มเร่ง ได้แก่ แรงดึงเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 23.76 นิวตัน ความยืดเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 688.33% และคุณสมบัติด้านการดึงหลังบ่มเร่ง ได้แก่ แรงดึงเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 29.13 นิวตัน ความยืดเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 713.33% ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการตรวจมิติทางกายภาพของถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคไคโตซาน

ประเภท	สมบัติ	เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ
มิติทางกายภาพ				
	ความกว้าง	≥ 95 ± 5 มิลลิเมตร	94.85	ผ่าน
	ความยาว	≥ 230 มิลลิเมตร	224.6	ไม่ผ่าน
	ความหนา			
	บริเวณปลายนิ้ว	≥ 0.08 มิลลิเมตร	0.4	ผ่าน
	บริเวณกึ่งกลางฝ่ามือ	≤ 2.00 มิลลิเมตร	0.39	ผ่าน
สมบัติด้านการดึง				
	ก่อนบ่มเร่ง			
	แรงดึงเมื่อขาด	ต่ำสุด 7.0 นิวตัน	35.9	ผ่าน
	ความยืดเมื่อขาด	ต่ำสุด 650 ร้อยละ	758.7	ผ่าน
	หลังบ่มเร่ง			
	แรงดึงเมื่อขาด	ต่ำสุด 6.0 นิวตัน	42.9	ผ่าน
	ความยืดเมื่อขาด	ต่ำสุด 500 ร้อยละ	717.3	ผ่าน

ผลการทดสอบคุณสมบัติมิติทางกายภาพและสมบัติด้านการดึง ถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคไคโตซาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 พบว่า คุณสมบัติมิติทางกายภาพ ได้แก่ ความกว้างมีค่าเฉลี่ย 94.85 มิลลิเมตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความยาวมีค่าเฉลี่ย 224.6 มิลลิเมตร ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ความหนาบริเวณปลายนิ้วมีค่าเฉลี่ย 0.4 มิลลิเมตร และความหนาบริเวณกึ่งกลางฝ่ามือมีค่าเฉลี่ย 0.39 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คุณสมบัติด้านการดึงก่อนบ่มเร่ง ได้แก่ แรงดึงเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 35.9 นิวตัน ความยืดเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 758.7% และคุณสมบัติด้านการดึงหลังบ่มเร่ง ได้แก่ แรงดึงเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 42.9 นิวตัน ความยืดเมื่อขาดมีค่าเฉลี่ย 717.3% ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4.7.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำ

จากการขึ้นรูปถุงมือยางโดยวิธีการจุ่ม จึงนำถุงมือยางมาทดสอบคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 ทำการทดสอบตัวอย่างจำนวน 6 ชิ้น โดยเติมน้ำลงในถุงมือยาง จากนั้นนำถุงมือไปแขวนในแนวดิ่ง แล้วทำการตรวจสอบการรั่วซึมน้ำที่เวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับได้ผลดังตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำของถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ตัวอย่าง ชิ้นที่	**ระยะเวลา (นาที)**			
	1	2	3	4
1	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
2	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
3	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
4	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
5	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
6	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำของถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคไคโตซาน

ตัวอย่างชิ้นที่	**ระยะเวลา (นาที)**			
	1	2	3	4
1	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
2	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
3	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
4	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
5	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม
6	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม	ไม่รั่วซึม

ผลการทดสอบคุณสมบัติการรั่วซึมน้ำของถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคไคโตซาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 พบว่า ถุงมือยางที่ใช้ในการทดสอบเมื่อเวลาผ่านไปครบ 4 นาที ไม่มีตัวอย่างใดรั่วซึมน้ำ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้สังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์สำหรับการสังเคราะห์ถุงมือยางด้วยการเติมพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม ศึกษาสมบัติเชิงผิวของฟิล์มจากน้ำยางคอมพาวด์ การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ การเตรียมอนุภาคไคโตซาน การเตรียมยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน ศึกษาสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย การขึ้นรูปถุงมือยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน และศึกษาคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตในน้ำยางคอมพาวด์ พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ น้ำยางคอมพาวด์ต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลต 95:5 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีลักษณะคงสถานะเป็นของเหลวไม่จับตัวกันเป็นก้อน จึงนำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมทิลมาทาคริเลท โดยเทคนิค FTIR พบว่า เมื่อเทียบกับหมู่ฟังก์ชันกับยางธรรมชาติและพอลิเมทิลเมทาคริเลต ยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลต จะมีพีคปรากฏที่เลขคลื่น 1539 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชัน C=O แสดงให้เห็นว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตกราฟต์อยู่ในยางธรรมชาติ

การผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตลงในน้ำยางธรรมชาติจะส่งผลให้พื้นผิวมีความขรุขระพื้นผิวเฉลี่ยของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น 12.41 % เมื่อเทียบกับฟิล์มยางธรรมชาติ เมื่อผิวสัมผัสมีความขรุขระเพิ่มขึ้น จึงสามารถลดโอกาสในการสัมผัสระหว่างผิวหนังกับฟิล์มยางได้ ซึ่งสามารถลดโอกาสในการแพ้ยางธรรมชาติได้

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้วิธีการรีดักชันทางเคมี จะได้สารคอลลอยด์สีเหลือง มีขนาดอนุภาคนาโนซิลเวอร์เฉลี่ย 259 นาโนเมตร และการสังเคราะห์ไคโตซานจากแกนหมึก พบว่า ได้ผลผลิตที่มีสีขาวขุ่น มีลักษณะเป็นเกล็ด ไม่สามารถละลายในน้ำ หรือเบสได้ เมื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไคโตซานด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR) จะพบสเปกตรัม ที่ความยาวคลื่น 1369 cm^{-1}, 1547 cm^{-1}, 1626 cm^{-1} และ 3262 cm^{-1} ซึ่งเป็นสเปกตรัมตามโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน คือ หมู่เอมีน (NH), หมู่อะมิโน (NH_2), หมู่คาร์บอลนิล (C=O) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ตามลำดับ ซึ่งตรงตามโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่า น้ำยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% และ 5% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ทั้ง Staphylococcus (S. aureus) และ Escherichia coli (E. coli) ได้ชัดเจน เมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยบริเวณพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 1 และ 1.07 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใกล้เคียงกัน ดังนั้นปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เหมาะสมคือ 1% ซึ่งคุ้มค่าต่อต้นทุนที่ใช้ในการผลิตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่มีอนุภาคไคโตซาน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอนุภาคไคโตซาน พบว่า น้ำยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคไคโตซาน 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดีที่สุด ทั้ง Staphylococcus (S. aureus) และ Escherichia coli (E. coli) เมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า มีกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สม่ำเสมอและไม่มีการรวมตัวกันในแผ่นฟิล์มยาง และเมื่อทดสอบความขรุขระที่ผิวของยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน พบว่า แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซานจะมีค่าเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น 16% และ 53.06 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมาทาคริเลต

เมื่อทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 พบว่า ถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซาน มีคุณสมบัติมิติทางกายภาพ สมบัติด้านการดึงก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่ง และสมบัติการรั่วซึมน้ำ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานยกเว้นมิติทางกายภาพประเภทความยาวที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

ถุงมือยางธรรมชาติผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซานลดโอกาสในการสัมผัสระหว่างผิวหนังกับฟิล์มยางได้ ซึ่งสามารถลดโอกาสในการแพ้ยางธรรมชาติได้ นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย มีสมบัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สามารถนำผลิตภัณฑ์นี้ไปต่อยอดการผลิตเชิงพาณิชย์ได้

5.2 อภิปรายผล

จากการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตในน้ำยางคอมพาวด์ พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ น้ำยางคอมพาวด์ต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลต 95:5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Thitinat S., Weerachon P.,

and Nakarin S. (2015) ซึ่งที่ใช้อัตราส่วน 90:10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อทำการสังเคราะห์น้ำยางคอมพาวด์ต่อพอลิเมทิลเมทาคริเลต 90:10 น้ำยางมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนประมาณ 30% ของน้ำยาง ซึ่งไม่เหมาะสำหรับนำมาขึ้นรูปเป็นถุงมือยาง

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่า น้ำยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5% มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่น้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใกล้เคียงกัน จึงเลือกน้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thitinat S., Weerachon P., & Nakarin S. (2015) ซึ่งใช้น้ำยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1% จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของน้ำยางและแผ่นฟิล์มยาง พบว่า น้ำยางมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Staphylococcus (S. aureus) และเชื้อ Escherichia coli (E. coli) ได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มยาง เนื่องจากน้ำยางมีสถานะเป็นของเหลว จึงสามารถแพร่กระจายในวุ้นได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มยางที่มีสถานะเป็นของแข็ง

จากงานวิจัยของ Nuttakun K., Duangporn P., Kulachart J. & Pramuan T. (2013) ได้ใช้ไคโตซานร้อยละ 1 ละลายใน acetic acid ความเข้มข้น 0.1 M แต่สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ใช้ไคโตซานร้อละ 2 เนื่องจากเมื่อนำไปทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ ไคโตซานร้อยละ 2 สามารถยับยั้งเชื้อได้ดีกว่า และในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ละลายใน acetic acid เนื่องจากในการนำไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติจะทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับ acetic acid อย่างชัดเจน จากการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยวิธีการแพร่ผ่านหลุมวุ้น (Agar well diffusion) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ เพราะสามารถเห็นพื้นที่ของการยับยั้งเชื้อได้ชัดเจน เนื่องจากวิธีการ Swab test เป็นการทดสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ใช้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดพื้นที่ผิวสัมผัสอาหาร (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2556) ในการวิจัยครั้งนี้มีการใช้อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อ PMMA ที่อัตราส่วน 95:5 ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Thitinat S., Weerachon P. & Nakarin S. (2015) ที่ใช้อัตราส่วน 90:10 เนื่องจากในอัตราส่วน 90:10 เมื่อทำการสังเคราะห์น้ำยางจะจับตัวเป็นก้อนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำมาขึ้นรูปเป็นถุงมือยาง ผลการทดสอบสมบัติของถุงมือยางตามมอก. 1056 - 2548 พบว่า มีค่าความยาวเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐาน เนื่องจากในขั้นตอนการจุ่มถุงมือยางมีการจุ่มให้ความยาวไม่เพียงพอแก่การม้วนขอบ ทำให้ถุงมือบางชิ้นอาจสั้นกว่ามาตรฐาน และในขั้นตอนการอบเพื่อให้ยางสุกอาจทำให้ยางหดจึงทำให้มีความยาวต่ำกว่ามาตรฐาน

จากผลการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548 พบว่า คุณสมบัติมิติทางกายภาพ ประเภทความยาวเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากได้ทำการทดลองจุ่มถุงมือยางที่ระดับความลึกต่างๆ

เมื่อนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป แล้วนำชิ้นงานมาวัดความยาวโดยวางถุงมือลงบนพื้นราบโดยใช้ไม้บรรทัดวัดความยาว แต่ศูนย์บริการทดสอบรับรองภาคกลาง ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางการยางแห่งประเทศไทย ทำการทดสอบโดยการแขวนถุงมือบนแมนเดรล (mandrel) เนื่องจากมีวิธีการวัดที่แตกต่างกันจึงทำให้ความยาวของถุงมือยางแตกต่างกัน ดังนั้น ถุงมือยางธรรมชาติที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุภาคไคโตซานที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นถุงมือสำหรับตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว สามารถลดผิวสัมผัสระหว่างผิวหนังกับถุงมือยางและเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

นำสูตรการสังเคราะห์ถุงมือยางที่ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.4.1 ควรศึกษากระบวนการพอลิเมอไรเซชัน และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้เหมาะสม ในการขึ้นรูปถุงมือโดยวิธีการจุ่ม

5.4.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

5.4.3 ในการพัฒนาครั้งต่อไป ควรศึกษาการละลายของไตโตซาน และวิธีการผสมไคโตซานกับน้ำยางธรรมชาติให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อที่จะสามารถผลิตถุงมือที่มีพื้นผิวขรุขระน้อยลง

5.4.4 ในการพัฒนาครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านการขึ้นรูปถุงมือยาง เ
มิติความยาวถุงมือยางตรงตามมาตรฐานมอก.1056-2548