

การยับยั้งแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิไทโคซานและ
มอนต์-มอริลโลไนต์

Antibacterial Activity of Coated Cotton Fabrics with Chitosan-Montmorillonite Composites

สิรินันท์ วิริยะสุนทร^{1*} และปานิสรา ทองลิ้ม¹

Sirinun Wiriyaasontorn^{1*} and Panisara Thongluem¹

Received: September 3, 2021; Revised: February 21, 2022; Accepted: March 1, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการเตรียมผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิไทโคซาน (CS) และมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) เพื่อให้ผ้าฝ้ายมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เตรียมคอมพอลิไทโคซานและมอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน จากนั้นนำผ้าฝ้ายมาเคลือบด้วยคอมพอลิไทโคซาน โดยวิธีการจุ่มเคลือบด้วยจำนวนรอบในการเคลือบ 1 5 และ 10 รอบ วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิไทโคซานด้วยเทคนิค FT-IR และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิไทโคซานด้วยเทคนิค SEM พบว่าคอมพอลิไทโคซานสามารถยึดเกาะบนผ้าฝ้ายได้ดี การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยมาตรฐาน AATCC 100-2004 พบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบคอมพอลิไทโคซานจำนวน 5 และ 10 รอบ มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยให้ค่าการลดลงของเชื้อแบคทีเรียร้อยละ 95 - 99.9 และเมื่อทดสอบความคงทนต่อการซัก 5 รอบ พบว่าผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิไทโคซานสามารถยับยั้ง *Escherichia coli* ได้ร้อยละ 28 และ *Staphylococcus aureus* ได้ร้อยละ 35

คำสำคัญ : ผ้าฝ้าย; ไคโตซาน; มอนต์มอริลโลไนต์; คอมพอลิไทโคซาน; สารต้านเชื้อแบคทีเรีย

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

¹ Faculty of Science, Ubonratchathani Rajabhat University

* Corresponding Author, Tel. 08 9175 9938, E - mail: ing_sirinun25@hotmail.com

Abstract

The objective of the study was to prepare coated cotton fabrics with chitosan (CS) and montmorillonite (MMT) composites to improve the antibacterial activity. CS-MMT composites were prepared by ion exchange technique. Cotton fabrics were coated with CS-MMT composites by dipping and drying in hot air oven. Different numbers of coatings (1, 5 and 10) were then examined. The chemical composition of coated cotton fabric with CS-MMT composite was analyzed by FTIR and the morphology was observed by SEM. The results indicated that CS-MMT composite could be attached to cotton fabrics. The antibacterial activity was quantitatively assessed by using the AATCC 100: 2004 test method. The result revealed that the cotton coated with composites 5 and 10 cycles showed 95 - 99 % microbial reduction against. After 5 washing cycles, the CS-MMT composite retained on cotton fabric had an antibacterial activity up to 28 % for *Escherichia coli* and 35 % for *Staphylococcus aureus*.

Keywords: Cotton; Chitosan; Montmorillonite; Composites; Antibacterial

บทนำ

ผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่นิยมใช้กันมากในประเภทเส้นใยจากธรรมชาติ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีสามารถดูดซับน้ำ เหงื่อ ของเหลวได้รวดเร็ว ระบายอากาศได้ดีและสวมใส่สบาย แต่อย่างไรก็ตามผ้าฝ้ายที่เป็นเส้นใยจากธรรมชาติ ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสนั้นมีข้อเสีย เนื่องจากผ้าฝ้ายมีประสิทธิภาพในการดูดซับของเหลวที่ดี เมื่อเกิดความร้อน และชื้น จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การใส่เสื้อผ้าที่มีการระบายอากาศได้ดี และควรใส่เสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรียและเชื้อรา เป็นต้น นอกจากความจำเป็นต่อสุขภาพแล้ว ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้านเชื้อแบคทีเรียยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นกว่าผ้าทั่วไปด้วย เนื่องจากผ้าดังกล่าว จะไม่ถูกทำลายด้วยจุลินทรีย์ มีรายงานการใช้สารเคมีหลายชนิดเพื่อให้ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุสิ่งทอ เช่น เกลืออนินทรีย์ ฟีนอล ยาปฏิชีวนะ สารลดแรงตึงผิวฟอสโฟลิกซ์ และสารประกอบไนโตร เป็นต้น แต่สารเคมี เหล่านี้มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และไม่เสื่อมสลายไปในสภาพแวดล้อม ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ยังต้องการ ที่จะมองหากระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ที่จะมาทดแทนการใช้สารเคมีที่เป็นพิษ ไคโตซานจึงเป็น อีกตัวเลือกที่ดี สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากเป็นมิตรกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม [1] - [5]

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพกลุ่มเดียวกับคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จาก เปลือกกุ้ง ปู แกนปลาหมึกหรือได้จากผนังเซลล์ของเชื้อรา และแมลง ไคโตซานมีมากเป็นอันดับสองของโลก รองจากเซลลูโลส (Cellulose) แต่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีคล้ายและแตกต่างกันกับเซลลูโลส [3] ไคโตซานได้จากการกระบวนการ Deacetylation โดยการกำจัดหมู่อะซิติล (Acetyl) ของ N-acetyl-D-glucosamine ในโครงสร้างของไคตินให้เปลี่ยนเป็น Glucosamine โดยไคโตซานเป็นพอลิเมอร์เส้นตรงต่อกันด้วยพันธะ 1,4- β -glycosidic กับ 2-amino-2-deoxy-D-glucose และ C ตำแหน่งที่ 2 จะอยู่ในรูปหมู่อะมิโน (NH_2) [2] และฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซานนั้นสามารถเกิดได้หลายกลไก โดยที่หมู่อะมิโนของ C ตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวน Pyranose ของไคโตซานจะเกิดโปรโตเนชัน (Protonation; $\text{NH}_2 \rightarrow \text{NH}_3^+$) เมื่อไคโตซาน เกิดโปรโตเนชันจะเกิดแรงไฟฟ้าระหว่าง Polycationic Chitosan กับผนังเซลล์จุลินทรีย์ จึงมีฤทธิ์ต้าน การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องมาจากประจุบวกของไคโตซานหลังผ่านกระบวนการโปรโตเนชันจะเกิด อันตรกิริยากับผนังเซลล์จุลินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุลบ [3] และทำให้ผนังเซลล์เสียหาย ทำให้เกิดการรั่วไหล

ของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีนรวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ นอกจากนั้นโมเลกุลของไคโตซานสามารถเกิดคีเลตกับไอออนของโลหะได้ สารคีเลตของไคโตซานกับไอออนของโลหะยังสามารถยึดเกาะกับผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้ไปรบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรีย โดยไคโตซานจะไปจับกับ DNA ภายในเซลล์ของแบคทีเรียส่งผลทำให้การสังเคราะห์ mRNA ถูกยับยั้ง และในที่สุดแบคทีเรียจะไม่สามารถสร้างโปรตีนได้จนทำให้เซลล์ตายในที่สุด จึงมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ ดังนั้นด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ของไคโตซานจึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาทำเป็นสารเคลือบด้านเชื้อแบคทีเรีย โดยค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงจากหมู่อะซิติกในโครงสร้างของไคตินเป็นหมู่เอมีโนของไคโตซานว่า Degree of Deacetylation หรือ % DD ซึ่งหากไคโตซานมี % DD สูง จะเป็นการเพิ่มหมู่เอมีโนซึ่งมีสภาพประจุบวกในโครงสร้างของพอลิเมอร์ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกธรรมชาติ (Cationic Polyelectrolyte) เนื่องจากหมู่เอมีโนในสารละลายกรด มีการรับโปรตอนอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน ($-NH_3^+$) ทำให้ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยการจับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ จึงทำให้เซลล์ถูกยับยั้งและไม่สามารถเจริญได้ [2] - [8]

มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินธรรมชาติกลุ่มสแมกไทต์ (Smectite) ที่มีลูมินา-ซิลิกา เป็นส่วนประกอบในลักษณะโครงสร้างซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ประกอบด้วย แผ่นซิลิกาสองแผ่น และอลูมินาหนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างแผ่นซิลิกาและเกาะยึดออกซิเจนร่วมกัน ผลึกจะเชื่อมต่อกันในแนวระดับเป็นชั้น ๆ และมีไอออนของโซเดียม แคลเซียม อยู่ด้วยในระหว่างชั้นโครงสร้าง คุณสมบัติคือ สามารถขยายตัวได้เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจน ทำให้ประจุบวกต่าง ๆ สามารถเข้าแทรกในระหว่างชั้นโครงสร้างได้ง่าย เมื่อตัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยไคโตซานที่มีประจุบวก จะทำให้สมบัติของมอนต์มอริลโลไนต์ดีขึ้น [9] - [10] ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลือบไคโตซานให้ติดกับผ้าฝ้ายได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสารที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเตรียมคอมพอสิตไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ โดยนำไปเคลือบบนผ้าฝ้าย ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญที่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไป

วิธีการวิจัย

1. วัสดุและสารเคมีในงานวิจัย

ไคโตซาน จากบริษัทอีเบส (ประเทศไทย) เป็นเกรดทางการค้า มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 50,000 ร้อยละการกำจัดหมู่อะซิติก (%DD) เท่ากับ 85 โซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ (Na-MMT) ชื่อทางการค้า คือ Mac-Gel จากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม (จังหวัดสมุทรสาคร ประเทศไทย) ผ้าฝ้ายทอลายขัดที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว (กรุงเทพมหานคร) สารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดวิเคราะห์

2. การเตรียมตัวอย่าง

2.1 การเตรียมสารละลายไคโตซาน เตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ละลายด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายจนกระทั่งไคโตซานละลายหมด [11]

2.2 การเตรียมสารแขวนลอยมอนต์มอริลโลไนต์ เตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [10]

2.3 การเตรียมคอมพอสิตไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ (CS-MMT) เตรียมคอมพอสิตไคโตซาน-มอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก [11] โดยนำสารแขวนลอยมอนต์มอริลโลไนต์ที่เตรียมจากข้อ 2.2 ได้มาปั่นกวน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่อย ๆ หยดสารละลายไคโตซานที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ลงในสารแขวนลอยมอนต์มอริลโลไนต์ ควบคุมอัตราการหยดประมาณ 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง [10] จากนั้นนำไปใช้ในขั้นตอนการเคลือบผ้าต่อไป

2.4 การเคลือบผ้าฝ้ายด้วยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ โดยวิธีการแบบจุ่มเคลือบตัดผ้าขนาด 30 x 30 เซนติเมตร นำไปซักด้วยสารซักล้างชนิด Non-Ionic Surfactant ทำให้ผ้าแห้งโดยการผึ่งให้แห้ง ซึ่งน้ำหนักของผ้า แล้วนำผ้าฝ้ายจุ่มลงในสารแขวนลอยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ได้จากข้อ 2.1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำผ้าไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำการเคลือบผ้าด้วยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ โดยจำนวนรอบในการเคลือบ ได้แก่ 1 5 และ 10 รอบ [5], [12] จากนั้นชั่งน้ำหนักของผ้าที่เคลือบ นำผ้าที่เคลือบไปทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

3. การทดสอบผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์

3.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ ด้วยเทคนิค **Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)** ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยเครื่อง FT-IR ยี่ห้อ Bruker Tensor II

3.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ ด้วย **Scanning Electron Microscope (SEM)** วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6335F

3.3 การหาปริมาณคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบอยู่บนผ้าฝ้าย (% **add-on**) การหาปริมาณของคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบบนผ้าฝ้าย หลังจากการเคลือบด้วยจำนวนรอบที่แตกต่างกัน โดยการชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบอยู่บนผ้าฝ้าย (% **add-on**) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) [13]

$$\% \text{ add-on} = (W_1 - W) / W \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

W หมายถึง น้ำหนักของผ้าที่ยังไม่ผ่านการเคลือบ (กรัม)

W₁ หมายถึง น้ำหนักของผ้าที่เคลือบผ้าด้วยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ตามจำนวนรอบ (กรัม)

4. การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้า (Antibacterial Activity)

การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้า ทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 100: 2004 (Antibacterial Finishing on Textile Materials) โดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* [2], [14] ด้วยวิธี Spread Plate Technique แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารวันเพาะเชื้อที่เวลาสัมผัสเท่ากับศูนย์ คำนวณค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction) ตามสมการที่ (2)

$$\% \text{ reduction} = (C - A) / C \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

% reduction หมายถึง ร้อยละการลงของแบคทีเรีย

C หมายถึง จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากชิ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ซึ่งมีเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์

A หมายถึง จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากชิ้นทดสอบที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ซึ่งบ่มเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

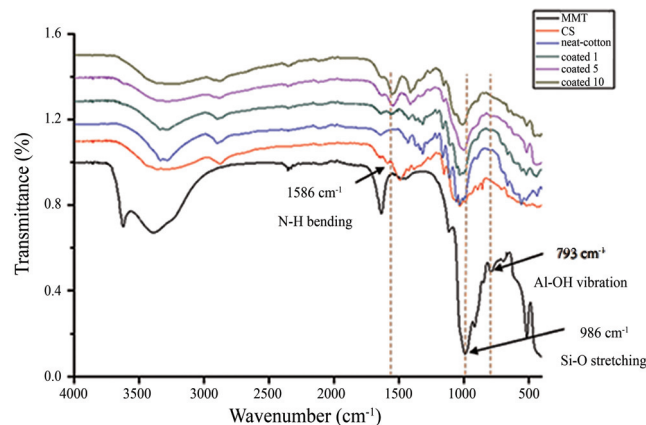
5. ทดสอบความคงทนของคอมพอลิเมอร์ผ้าฝ้ายต่อการซัก

ทดสอบความคงทนของคอมพอลิเมอร์ที่ยึดติดบนผิวผ้าฝ้ายต่อการซัก ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C06:2010 (E) METHOD B1M ใส่ผ้าชิ้นทดสอบและลูกเหล็กจำนวน 50 ลูก ทำการซักที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ล้างน้ำสะอาดเพื่อขจัดสารส่วนเกินออก นำไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง จำนวนรอบในการซักที่ศึกษา ได้แก่ 5 10 และ 20 ครั้ง ตามลำดับ แล้วนำผ้าที่ผ่านการซักไปทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้า

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR)

จากรูปที่ 1 เมื่อนำโคโคซาน มอนต์มอริลโลไนต์ ผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 15 10 รอบ ทำการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าสเปกตรัมของโคโคซานปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 1,586 1,556 1,575 และ 1,629 cm^{-1} เป็นช่วงการสั่นของ N-H Bending ของหมู่เอมีโน และเอมีน ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันหลักของโคโคซาน สเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 986 1,028 997 และ 1,016 cm^{-1} เป็นช่วงการสั่นของ Si-O Stretching และที่ตำแหน่ง 793 796 791 และ 794 cm^{-1} เป็นช่วงการสั่นของ Al-OH Vibration ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันหลักของมอนต์มอริลโลไนต์ และสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 3,333 cm^{-1} เป็นช่วงการสั่นของ O-H Stretching ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันหลักของผ้าฝ้าย จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่า องค์ประกอบทางเคมีของคอมพอลิเมอร์เส้นใยผ้าฝ้ายเคลือบมีหมู่เอมีโนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของโคโคซาน และมีหมู่ Al-OH และ Si-O ซึ่งเป็นส่วนที่มาจากมอนต์มอริลโลไนต์ [3], [9], [11], [15]

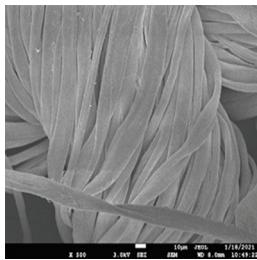


รูปที่ 1 FT-IR Spectra ของมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) โคโคซาน (CS) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบ (Neat-Cotton) และผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 1 รอบ (Coated 1) 5 รอบ (Coated 5) และ 10 รอบ (Coated 10)

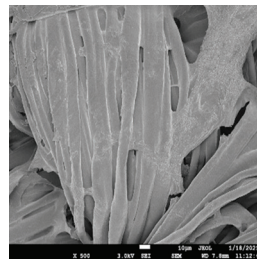
2. สันฐานวิทยาของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์โคโคซานและมอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope, SEM

รูปที่ 2(ก) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ เส้นใยบิดตามธรรมชาติ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบก่อนซัก รูปที่ 2(ข) และ (ค) จะปรากฏลักษณะของการติดของคอมพอลิเมอร์ผ้าได้อย่างชัดเจนอยู่บริเวณผิวเส้นใยค่อนข้างหนา มีความขรุขระบนพื้นผิว อันเกิดจากคอมพอลิเมอร์เคลือบอยู่บนผิวเส้นใย และปริมาณความขรุขระจะเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2(ข) และ (ค) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบ 5 และ 10 รอบก่อนซัก จะปรากฏลักษณะของการติดของคอมพอลิเมอร์

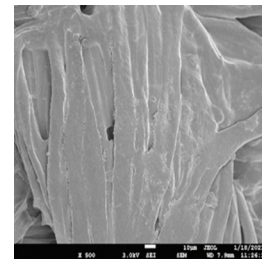
บนผ้าได้อย่างชัดเจนอยู่บริเวณผิวเส้นใยค่อนข้างหนา มีความขรุขระบนพื้นผิว และมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบในการเคลือบเท่ากับ 10 รอบ ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณร้อยละของคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบบนผ้าฝ้าย (% add-on) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบในการเคลือบเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบหลังซัก 5 10 และ 20 ครั้ง ดังรูปที่ 2(ง) - (จ) ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการหลุดของสารเคลือบคอมพอลิเมอร์และการฉีกขาดของเส้นใย เนื่องมาจากการขัดถูระหว่างการซัก อย่างไรก็ตามยังคงมีปริมาณของคอมพอลิเมอร์เกาะติดอยู่บนผิวเส้นใย มีความขรุขระบนพื้นผิวแต่น้อยกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบก่อนซัก



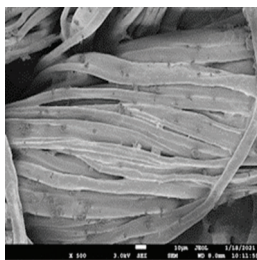
(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบ



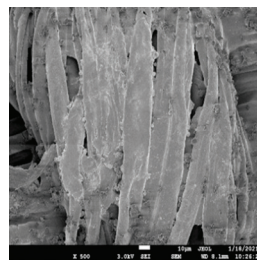
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 5 รอบ ก่อนซัก



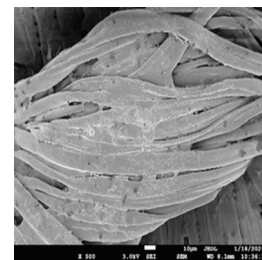
(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 10 รอบ ก่อนซัก



(ง) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 5 รอบ หลังซัก 5 ครั้ง



(จ) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 5 รอบ หลังซัก 10 ครั้ง



(ฉ) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ 5 รอบ หลังซัก 20 ครั้ง

รูปที่ 2 รูปถ่าย SEM (500x) ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบและไม่ผ่านการเคลือบ

3. การหาร้อยละของคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบบนผ้าฝ้าย (% add-on)

ตารางที่ 1 ร้อยละของคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบบนผ้าฝ้าย

ผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์	% add-on
เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 1 รอบ	17.50
เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบ	43.87
เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 10 รอบ	79.02

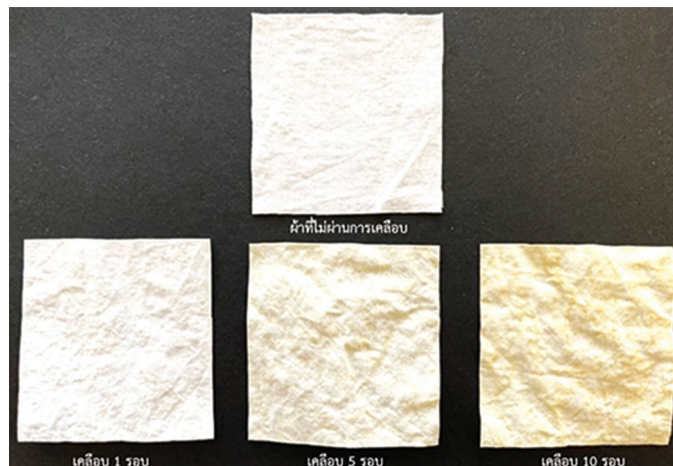
การคำนวณร้อยละของคอมพอลิเมอร์ที่เคลือบบนผ้าฝ้ายแสดงดังตารางที่ 1 พบว่ามีค่าร้อยละของน้ำหนักคอมพอลิเมอร์ (% add-on) เพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบในการเคลือบที่แตกต่างกัน โดยการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 1 รอบ มี % add-on เท่ากับ 17.50 การเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบ มี % add-on เท่ากับ 43.87 และการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 10 รอบ มี % add-on เท่ากับ 79.02

4. ผลการวัดสีผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ โดยใช้ Colorimeter ระบบ CIE Lab Scale (L^* - a^* - b^*)

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*
ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านเคลือบ	77.73	0.42	-1.18
ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 1 รอบ	76.20	-0.28	0.98
ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบ	73.66	-1.74	10.76
ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 10 รอบ	70.41	-0.95	16.63

ผลการทดสอบความขาวของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3 พบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบมีค่า L^* สูงสุด จึงมีค่าความขาวที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบคอมพอลิเมอร์จำนวน 1 5 และ 10 รอบ จะเห็นได้ชัดเลยว่าค่า L^* ลดลงตามจำนวนรอบในการเคลือบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงผ้ามีความขาวลดลง นอกจากนั้นค่า a^* ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบคอมพอลิเมอร์มีค่าติดลบ ซึ่งหมายถึงผ้ามีเจดสีออกปาทองสีเขียวมากขึ้น และค่า b^* มีค่าบวก หมายถึงผ้ามีเจดสีออกปาทองสีเหลืองมากขึ้น ดังนั้นผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบคอมพอลิเมอร์จำนวนรอบเพิ่มขึ้น จะมีความขาวลดลงและมีความเหลืองมากขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณคอมพอลิเมอร์ เนื่องจากเมื่อโคโคซานถูกละลายด้วยกรด จะเป็นสารละลายที่มีสีเหลือง และเมื่อเคลือบบนผ้าฝ้ายด้วยจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ผ้าฝ้ายมีความเหลืองเพิ่มขึ้น [3], [5]



รูปที่ 3 รูปถ่ายของผ้าฝ้ายก่อนและหลังเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ด้วยจำนวนรอบต่าง ๆ

5. การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ ก่อนซัก

ผลการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ก่อนซัก ด้วยวิธีวัดผลร้อยละการลดลงของจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100: 2004 โดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกคือ *S. aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบคือ *E. coli* แสดงดังตารางที่ 3 จากผลการทดสอบพบว่า ผ้าฝ้ายที่เคลือบคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 และ 10 รอบ มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิด ประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ก่อนซัก พบว่าการเคลือบคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 และ 10 รอบ ให้ประสิทธิภาพการลดลงของแบคทีเรีย *E. coli* สูงถึงร้อยละ 95.5 และ 99.7 และสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้สูงถึงร้อยละ 99.7 และ 99.9 ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 ปริมาณของจุลินทรีย์ที่นับได้หลังจากสัมผัสกับผ้าที่เคลือบสารต้านจุลินทรีย์ที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) และเวลาสุดท้าย (24 ชั่วโมง)

ตัวอย่าง	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction)	
	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านเคลือบ	0	0
ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 1 รอบ	0	50
ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบ	95.5	99.7
ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 10 รอบ	98.1	99.9

จากผลการทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังกล่าว ผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ สามารถยับยั้งเชื้อ *E.Coli* ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าเนื่องจาก *E.Coli* เป็นกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบ จะมีผนังเซลล์ที่บางกว่ากลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ กลุ่มของแบคทีเรีย *S.aureus* ทำให้ผนังเซลล์ของ *E.Coli* จึงถูกทำลายได้ง่ายกว่าผนังเซลล์ถูกทำลายเกิดจากไคโตซานเกิดแรงไฟฟ้าระหว่างหมู่อะมิโนของไคโตซานที่เกิดโปรตอนชั้นกลายเป็น $(-NH_3^+)$ ทำให้เกิดสภาพประจุบวกบนสายโซ่ จึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับผนังเซลล์แบคทีเรียซึ่งประกอบด้วยไลพอพอลิแซคไครด์ และโปรตีนซึ่งมีขั้วลบ โดยทำให้เกิดความเสียหายต่อผนังเซลล์แบคทีเรีย ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียถูกยับยั้งและไม่สามารถเจริญได้ [5], [8], [14] โดยประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ 5 และ 10 รอบ มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์หลังจาก จึงนำผ้าเคลือบคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

6. การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์หลังจาก

ผลการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบ แล้วนำไปชักตามมาตรฐาน ISO 105-C06:2010 (E) METHOD B1M ด้วยจำนวนครั้งในการชัก ได้แก่ 5 10 และ 20 ครั้ง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณของจุลินทรีย์ที่นับได้หลังจากสัมผัสกับผ้าที่เคลือบสารต้านจุลินทรีย์ที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) และเวลาสุดท้าย (24 ชั่วโมง)

ตัวอย่าง	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction)	
	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านเคลือบ	0	0
ชัก 5 ครั้ง	28	35
ชัก 10 ครั้ง	0	13
ชัก 20 ครั้ง	0	2

จากการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์หลังจาก พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยคอมพอลิเมอร์หลังจาก ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียมีค่าลดลง เนื่องจากผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการชักจะมีผลทำให้สารเคลือบหลุดออกจากผ้าฝ้าย โดยฤทธิ์และกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซานตลอดจนอนุพันธ์และคอมพอลิเมอร์ของไคโตซาน พบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ของไคโตซานควรต่ำกว่าค่า pKa ของไคโตซาน ($pH < 5.5$) และกระบวนการชักจะมีการเติมสารชักล้างที่เป็นด่าง ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนจากไคโตซานประจุบวก

(NH₃⁺) เป็นไคโตซานอิสระไม่มีประจุ (NH₂) ดังนั้นประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไคโตซานจึงแปรผันตามการเกิดโปรโตเนชันของหมู่อะมิโน จึงทำให้ไคโตซานไม่แสดงฤทธิ์ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่เคลือบคอมพอลิเมอร์จึงมีค่าลดลง [2],[8]

บทสรุป

การเตรียมผ้าฝ้ายที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธีการเคลือบวัสดุคอมพอลิเมอร์ไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์ โดยใช้อัตราส่วนไคโตซาน:มอนต์มอริลโลไนต์ คือ 2:1 (โดยน้ำหนัก) วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ และสัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายเคลือบคอมพอลิเมอร์ แสดงให้เห็นว่าคอมพอลิเมอร์สามารถยึดเกาะบนผ้าฝ้ายได้ดี และมีสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 และ 10 รอบ มีประสิทธิภาพการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* และ *S.aureus* ได้สูงถึงร้อยละ 95.5 - 99.7 เนื่องจากหมู่อะมิโนในไคโตซานที่สามารถทำลายผนังเซลล์แบคทีเรียได้ ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์ จะมีความขรุขระ และมีความเหลืองเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบในการเคลือบเพิ่มขึ้น การศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายเคลือบด้วยคอมพอลิเมอร์จำนวน 5 รอบ หลังการซักพบว่าความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียมีค่าลดลง เมื่อจำนวนรอบการซักเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี งบประมาณรายได้ ประจำปี 2563

References

- [1] Fang, F., Chen, X., Zhang, X., Cheng, C., Xiao, D., Meng, Y., Ding, X., Zhang, H., and Tian, X. (2016). Environmentally Friendly Assembly Multilayer Coating for Flame Retardant and Antimicrobial Cotton Fabric. **Progress in Organic Coatings**. Vol. 90, pp. 258-266. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2015.09.025
- [2] Rajendran, R., Radhai, R., Balakumar, C., Hasabo A. M. A., Vigneswaran, C., and Vaideki, K. (2012). Synthesis and Characterization of Neem Chitosan Nanocomposites for Development of Antimicrobial Cotton Textiles. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**. Vol. 7, No. 1, pp. 136-141. DOI: 10.1177/155892501200700116
- [3] Bhuiyan, M. A. R., Islam, A., Islam, S., Hossain, A., and Nahar, K. (2017) Improving Dyeability and Antibacterial Activity of *Lawsonia inermis* L on Jute Fabrics by Chitosan Pretreatment. **Textiles and Clothing Sustainability**. Vol. 3, pp. 1-10. DOI: 10.1186/s40689-016-0023-4
- [4] Rehan, M., El-Naggara, M. E., Mashalyb, H. M., and Wilkenc, R. (2018). Nanocomposites Based on Chitosan/Silver/Clay for Durable Multi-Functional Properties of Cotton Fabrics. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 182, pp. 29-41. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.11.007
- [5] Shirvan, A. R., Nejad, N. H., and Bashari, A. (2014). Antibacterial Finishing of Cotton Fabric Via the Chitosan/TPP Self-Assembled Nano Layers. **Fibers and Polymers**. Vol. 15, No. 9, pp. 1908-1914. DOI: 10.1007/s12221-014-1908-y

- [6] Lin, K. F., Hsu, C. Y., Huang, T. S., Chiu, W. Y., Lee, Y. H., and Young, T. H. (2005). A Novel Method to Prepare Chitosan/Montmorillonite Nanocomposites. **Journal of Applied Polymer Science**. Vol. 98, pp. 2042-2047
- [7] Rhim, J. W., Hong, S. I., Park, H. M., and Ng, P. K. W. (2006). Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Vol. 54, pp. 5814-5822. DOI: 10.1021/jf060658h
- [8] Chaisrihwun, B., Rakkapao, N., Phatthiya, A., Pechwang, J., and Werapun, U. (2017). Anti-Microbial Activity and Mechanisms of Chitosan along with Chitosan Based Derivatives and Composites. **Srinakharinwirot Science Journal**. Vol. 33, No. 1, pp. 297-315 (in Thai)
- [9] Haerudin, H., Pramono, A. W., Kusuma, D. S., Jenie, A., Voelcker, N. H., and Gibson, C. (2010). Preparation and Characterization of Chitosan/Montmorillonite (MMT) Nanocomposite Systems. **International Journal of Technology**. Vol. 1, No. 1, pp. 65-73. DOI: 10.14716/ijtech.v1i1.33
- [10] Wiriyaasontorn, S. and Sripalang, S. (2015). Preparation of Cassava Starch/Poly (vinyl alcohol)/ Montmorillonite Nanocomposites for Coating Controlled-Release Fertilizer. **KKU Science Journal**. Vol. 43, pp. 503-514 (in Thai)
- [11] Wang, S. F., Shen, L., Tong, Y. J., Chen, L., Phang, I. Y., Lim, P. Q., and Liu, T. X. (2005). Biopolymer Chitosan/Montmorillonite Nanocomposites: Preparation and Characterization. **Polymer Degradation and Stability**. Vol. 90, Issue 1, pp. 123-131. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.03.001
- [12] Kabiri, K., Mirzadeh, H., and Zohuriaan-Mehr, M. J. (2010). Chitosan Modified MMT-Poly(AMPS) Nanocomposite Hydrogel: Heating Effect on Swelling and Rheological Behavior. **Journal of Applied Polymer Science**. Vol. 116, Issue 5, pp. 2548-2556. DOI: 10.1002/app.31727
- [13] Kundu, C. K., Wang, W., Zhou, S., Wang, X., Sheng, H., Pan, Y., Song, L., and Hu, Y. (2017). A Green Approach to Constructing Multilayered Nanocoating for Flame Retardant Treatment of Polyamide 66 Fabric from Chitosan and Sodium Alginate. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 166, pp 131-138. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.02.084
- [14] Masae, M., Pitsuwan, P., Sriwang, T., Sukwisut, S., and Choopool, P. (2018). Hydrophobicity and Antibacterial Activity of Coated Cotton Fabrics With Chitosan, TiO₂ and SiO₂. **Srinakharinwirot University, Journal of Science and Technology**. Vol. 11, No. 21, pp. 165-178
- [15] Paluszkievicz, C., Stodolak, E., Hasika, M., and Blazewicz, M. (2011) FT-IR Study of Montmorillonite-Chitosan Nanocomposite Materials. **Spectrochimica Acta Part A** 79. pp. 784-788