บทความวิจัย

ผ้าจีวรเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมด้วยผงสีย้อมธรรมชาติ

สุดาพร ตังควนิช*
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 4535 2000 ต่อ 1425 อีเมล: tangkawa@yahoo.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.007
รับเมื่อ 13 กรกฎาคม 2561 แก้ไขเมื่อ 10 กันยายน 2561 ตอบรับเมื่อ 14 กันยายน 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 11 ธันวาคม 2561
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาผ้าจีวรเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมด้วยผงสีย้อมธรรมชาติ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ และศึกษาสมบัติการต้านเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และการต้านรังสียูวี พบว่า ผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์ สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งชนิดแกรมบวก และแกรมลบ ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมสีจากเปลือกหอมและเปลือกมะพูดเติมสารช่วยติดสีอัตราส่วนต่างๆ พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 3–4 (ปานกลาง-ดี) และความคงทนของสีต่อการซักล้างเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4–5 (ดี–ดีมาก) ความสามารถในการป้องกันรังสี UVA และ UVB ของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 0.01 : 0.49 มีค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีมากกว่า 50 คือ มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด (มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์) และมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตบี ≤2.5

คำสำคัญ: นาโนคาร์บอน, นาโนไททาเนียมไดออกไซด์, ผ้าฝ้าย, ผ้าไหม, รังสีอัลตราไวโอเลต

การอ้างอิงบทความ: สุดาพร ตังควนิช, "ผ้าจีวรเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมด้วยผงสีย้อมธรรมชาติ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้า 145–156, ม.ค.–มี.ค. 2562.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 1 ม.ค.–มี.ค. 2562
The Journal of KMUTNB., Vol. 29, No. 1, Jan.–Mar. 2019

Research Article

Dyeing of Nano Carbon and Titanium Dioxide Coated Monk Robes Using Natural Dye Powder

Sudaporn Tangkawanit*
School of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 4535 2000 Ext. 1425, E–mail: tangkawa@yahoo.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.007
Received 13 July 2018; Revised 10 September 2018; Accepted 14 September 2018; Published online: 11 December 2018
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research intends to developed nano carbon and titanium dioxide coated monk robes dyeing with natural dye powder. The physical property of cotton, silk and muslin fabrics coated with nano carbon and titanium dioxide were investigated. The antifungal, antibacterial and UV protection properties were also characterized. Cotton, silk and muslin fabrics coated with nano carbon and titanium dioxide could inhibited both gram-positive and gram-negative bacteria. Light fastness properties of cotton, silk and muslin fabrics without coated and coated with nano carbon and titanium dioxide dyed with Allium ascalonicum Linn. and Gareinia dulcis Kurz average level were 3–4 (moderate to good) and washing fastness properties average were 4–5 (good to very good). The ability to prevent UVA and UVB rays of cotton, silk and muslin fabrics coated with nano carbon and titanium dioxide with ratios 0.01 : 0.49 (g) reflected the UPF value of UV protection was more than 50, with the maximum UV protection (over 98 percent) and had percent transmittance of an ultraviolet B rays of ≤2.5.

Keywords: Nano Carbon, Nano Titanium Dioxide, Cotton, Silk, Ultraviolet Rays

Please cite this article as: S. Tangkawanit, "Dyeing of nano carbon and titanium dioxide coated monk robes using natural dye powder," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 1, pp. 145–156, Jan.–Mar. 2019 (in Thai).

1. บทนำ

พระสงฆ์มีความสำคัญยิ่งต่อสังคมไทยเนื่องจากพระสงฆ์เป็นผู้สืบทอดพระพุทธศาสนา เป็นผู้อบรมสั่งสอนให้ชาวพุทธประกอบกรรมดี เป็นศูนย์รวมแห่งความเคารพ เชื่อถือและศรัทธา [1] พุทธศาสนิกชนจึงควรปฏิบัติต่อพระสงฆ์ด้วยความเคารพยกย่อง ผ้าจีวรซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่จะนำมาถวายพระสงฆ์ควรจะต้องมีความปลอดภัย สวมใส่สบาย ผ้าที่ใช้ทอจีวรได้มี 6 ชนิด คือ 1) จีวรทำจากเปลือกไม้ 2) ฝ้าย 3) ไหม 4) ขนสัตว์ 5) ป่าน 6) เส้นใยผสมกัน [2] ผ้าจีวรตามท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นผ้าฝ้าย 100% ผ้ามัสลินและผ้าไหม การย้อมผ้าจีวรเพื่อให้ได้เฉดสีตรงตามความต้องการเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ ส่วนสีของผ้าจีวรที่พระสงฆ์ส่วนใหญ่ใช้ในปัจจุบันจะเป็นสีกรัก หรือสีแก่นขนุนเข้ม [3]

สีที่ใช้ในการย้อมจีวรแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สีธรรมชาติกับสีสังเคราะห์หรือสีเคมี สมัยก่อนผ้าจีวรจะย้อมสีจากธรรมชาติ เช่น สีที่ได้จากแก่นขนุน เข และประดู่มาย้อม ปัจจุบันพบว่าผู้ย้อมยังนิยมใช้สีสังเคราะห์ในการย้อม เนื่องจากง่าย สะดวก และประหยัดเวลา แม้สีเคมีอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองจากสารเคมีที่ตกค้างจากกระบวนการย้อม และอาจเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งอันตรายต่อผู้ผลิตผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ประกอบกับในท้องถิ่นมีพืชซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจำนวนมากที่สามารถนำมาย้อมผ้าได้โทนสีเหลือง และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเบื้องต้นพบว่า เฉดสีเหลืองจากธรรมชาติที่มีสีใกล้เคียงกับสีผ้าจีวร ได้แก่ แก่นขนุน เข ขี้เลื่อยไม้สัก ฝักคูณ เปลือกหอมแดง และมะพูด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีมากในท้องถิ่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเฉดสีจากเปลือกหอมแดงและมะพูด (รูปที่ 1) ให้สามารถนำมาย้อมสีให้ตรงกับสีผ้าจีวร ซึ่งจะทำให้ผู้ย้อมหรือผู้ผลิตหันมาใช้สีย้อมธรรมชาติในการย้อมผ้าจีวร ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าจีวรเป็นผ้าที่ไม่ต้องการซักบ่อยโดยเฉพาะพระธุดงค์ต้องใช้ผ้าจีวรอย่างระมัดระวัง การพัฒนาสมบัติการต้านเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และการต้านรังสียูวีของผ้าจีวรด้วยนาโนคาร์บอน/ไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติแบบผงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหา การเคลือบผิวเส้นใยด้วยอนุภาคนาโนมีผลทำให้สมบัติการติดสีย้อมดีขึ้น ความแข็งแรง การทนต่อการยับและการผ่านของอากาศดีขึ้น เนื่องจากอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว เป็นสารกึ่งตัวนำ ดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวี มีดัชนีหักเหแสงสูง มีเสถียรภาพทางเคมี มีความแข็งแรงสูง และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (Photocatalyst) ดังนั้นเมื่อนำอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาเคลือบบนผิวเส้นใยจะทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย ป้องกันรังสียูวี ทำความสะอาดตนเอง (Self-cleaning) และทนไฟ (Flame Retardeny) [4] นอกจากนี้นิยมนำไทเทเนียมไดออกไซด์ มาใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (Photocatalyst) [5] ที่สำคัญเนื่องจากเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง ไม่เป็นพิษ และทนต่อแสงในระยะยาว สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เป็นพิษย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ รวมถึงโมเลกุลของสีและเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย สีเอโซ (Azo dye) มีประจุลบของหมู่ซัลโฟเนต (Sulfonate) เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (Ti^{3+}) และประจุลบของสีทำให้เกิดการดูดซับและทำให้โมเลกุลของสีที่ไปสัมผัสกับ TiO_2-ผ้าฝ้าย เกิดการสลายตัว และผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วย 0.3%MWCNTs/0.7%TiO_2 แสดงการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงได้สูงที่สุด สี Direct Green 6 สลายตัวเนื่องจากโฟโตคะตะลิสต์จาก 60 เปอร์เซ็นต์ เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเคลือบด้วย 0.3%MWCNTs/0.7%TiO_2 ในขณะที่เคลือบด้วย

(ก) (ข)

รูปที่ 1 (ก) เปลือกหอมแดง (ข) เปลือกประโหด

TiO_2 โมเลกุลของ Direct Green 6 สลายตัวเล็กน้อย [6] และ Mukhlish *et al*. [7] รายงานว่าไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่ดี สามารถทำให้โมเลกุลของเมทิลลีนบลู (Methylene Blue) และคองโกเรด (Congo Red) ย่อยสลายและมีสีซีดลง คือ มีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลลีนบลูและคองโกเรดออกจากน้ำเสีย [7] อนุภาคนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุในระดับนาโนเมตรที่มีคาร์บอนเป็นหลัก อะตอมของคาร์บอนจะยึดกันเองหรือยึดติดกับอะตอมของธาตุอื่นด้วยพันธะโควาเลนซ์ซึ่งมีความแข็งแรง การยึดเกาะกันของอนุภาคคาร์บอนทำให้เกิดเป็นโมเลกุลหรือโครงสร้างใหญ่ขึ้นมาได้หลากหลาย เช่น โครงสร้างของเพชรและแกรไฟต์ ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรง การหักเหของแสงที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากรูปแบบการจัดเรียงอะตอมที่ต่างกัน [8] นาโนคาร์บอนมีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง ดูดซับได้ดี ระบายความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการดักจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นำไฟฟ้าได้ดีและมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง [6] จึงนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมหมึกพิมพ์และเคลือบ

การเคลือบอนุภาคนาโนบนผ้าฝ้ายสามารถทำได้หลายวิธีและหลายเทคนิค เช่น ไมโครเวฟพลาสมา (Mw Plasma) การฉายรังสียูวี การจุ่มบีบอัดเคลือบ (Dip Pad Dry Cure) การจุ่มเคลือบ และการใช้สารครอสลิงก์ (Cross Link) เป็นต้น การใช้สารครอสลิงก์ เพื่อให้หมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่ สามารถเกิดพันธะกับผ้าฝ้ายและ TiO_2 ซึ่งสารครอสลิงก์จะเกิดพันธะโคเวเลนต์ คือ เกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของหมู่คาร์บอกซิลิกของสารครอสลิงก์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส และหมู่คาร์บอกซิลิกของสารครอสลิงก์อีก 1 หมู่ เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic Interaction) กับ TiO_2 เส้นใยฝ้ายเป็นเซลลูโลสที่ผิวหน้าจะมีหมู่ไดโฮดรอกซิลซึ่งมีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลลิก (Hydrophilic) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างเส้นใยและภายในโครงสร้างสามมิติ การมีหมู่ไฮโดรฟิลลิก สามารถทำให้เกิดนิวคลีเอชัน (Nucleation) และเกิดการเจริญเติบโต (Growth) ของสารอนินทรีย์ เช่น TiO_2 และ ZnO ที่ผิวหน้าของเซลลูโลส ซึ่งจะทำให้เกิดวัสดุนาโนคอมโพสิตที่มีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย และการต้านรังสียูวี [9]–[11] การเคลือบวัสดุนาโนบนเส้นใยจึงสามารถเพิ่มสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและป้องกันรังสียูวีได้ จากสภาพปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผ้าจีวรนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมด้วยผงสีย้อมธรรมชาติ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้ามัสลินและผ้าไหมที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ ศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการต้านรังสียูวี ซึ่งจะทำให้ได้ผ้าจีวรทั้งผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่มีสมบัติป้องกันรังสียูวี ต้านเชื้อแบคทีเรีย มีความคงทนของสีต่อแสงและซักล้าง ทำให้ได้สีผงธรรมชาติย้อมผ้าจีวรที่สะดวกต่อการงาน ใช้ง่ายและประหยัดเวลา มีหลากหลายเฉดสี มีความคงทนต่อแสงและการซักล้าง ได้นวัตกรรมใหม่ที่เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์และเป็นการพัฒนาต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นอีกทางหนึ่ง

2. วิธีการวิจัย

2.1 การผลิตผงสีย้อมธรรมชาติ

ชั่งพืช ได้แก่ เปลือกหอมแดง และเปลือกมะพูด มาในอัตราส่วนอย่างละ 50 กรัม ต่อน้ำ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนปริมาตรลดลง 1 ใน 3 ส่วน กรองด้วยผ้าขาวบาง นำไปทำให้แห้งและเป็นผง [12]

2.2 การเตรียมผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลิน

นำผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินมาฟอกให้สะอาด ล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง นำผ้ามาตัดให้ได้ขนาด 10 × 10 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.3 การเตรียมสารละลายครอสลิงก์ 1,000 มิลลิลิตร

เตรียมกรดซักซินิก 6 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ในสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต (NaH_2PO_4) 4 เปอร์เซ็นต์ (w/w) กรดซักซินิก $(CH_2COOH)_2$ บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย (AR Grade) เป็นสารครอสลิงก์และใช้โซเดียมไฮโปฟอสเฟต (NaH_2PO_2) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย (AR Grade) เป็นคะตะลิสต์ โดยชั่งสารโซเดียม

ไฮโปฟอสเฟต 40 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน (DI) 1,000 มิลลิลิตร ชั่งกรดซักซินิกมา 60 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 940 กรัม คนให้สารละลายเข้ากัน [9]

2.4 การเคลือบผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินด้วยสารละลายครอสลิงก์

ตวงสารละลายครอสลิงก์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทลงในบิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินแต่ละผืน จุ่มในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที และอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ผึ่งให้แห้ง [9]

2.5 การเคลือบอนุภาคนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์บนผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลิน

นาโนคาร์บอนที่ใช้ในการวิจัยขนาดอนุภาคเฉลี่ย 43 นาโนเมตร ไอโอดีนนัมเบอร์ (ASTM D1510) เท่ากับ 43 มิลลิกรัม/กรัม N2SA (ASTM D3037) เท่ากับ 42 มิลลิกรัม/กรัม การดูดซับ DBP (ASTM D2414) เท่ากับ 121 มิลลิลิตร/100 กรัม ASTM Classification (D1765) รหัสสินค้า N550 บริษัท Nanorabberchem.com และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ผงสีขาว ขนาดอนุภาค 30–50 นาโนเมตร ความบริสุทธิ์ 99.9 เปอร์เซ็นต์ สินค้า TiO_2-103 รหัส 1317-80-2 บริษัท gnm การเคลือบนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์บนผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลิน โดยอัตราส่วนที่ 1 (นาโน 1) คือ นาโนคาร์บอน 0.01 กรัม ต่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.49 กรัม อัตราส่วนที่ 2 (นาโน 2) คือ นาโนคาร์บอน 0.2 กรัม ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.3 กรัม เติมน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วให้ผสมกันและนำไปเขย่า (Sonicate) ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก นาน 1 ชั่วโมง จะได้สารแขวนลอย นำผ้าที่ผ่านการครอสลิงก์ แล้วจุ่มในสารแขวนลอยที่เตรียมไว้ นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกด้วยน้ำปราศจากไอออนนาน 10 นาที เพื่อล้างอนุภาคนาโนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง [9]

2.6 ขั้นตอนการย้อม

นำผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลิน ที่ผ่านเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมไว้ไปแช่น้ำปราศจากไอออนนาน 1 ชั่วโมง บิดผ้าให้หมาด แล้วย้อมในน้ำย้อมผงสีย้อมธรรมชาติจากพืชแต่ละชนิด ได้แก่ เปลือกหอมแดงและมะพูด และเติมสารช่วยติดสีคือ อะลูมิเนียมซัลเฟต คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต และแทนนิน ตามลำดับ ในอัตราส่วนต่างๆ ย้อมในน้ำย้อม 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80–100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ได้เฉดสีผ้าจีวรที่ต้องการ

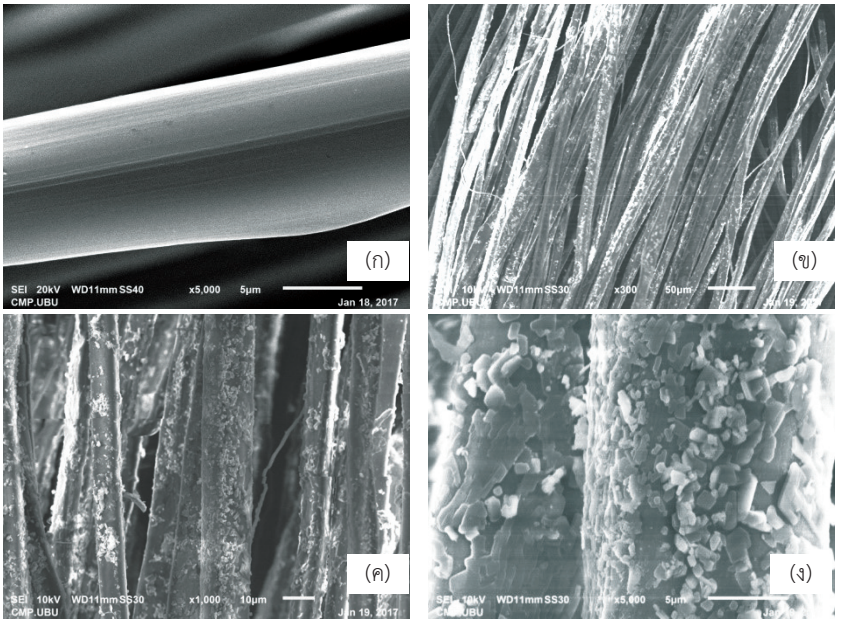
2.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้า

นำผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ไปทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) JEOL JSM-6010LV และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) รุ่น 45321 Spectrum 2000 บริษัท Perkin Elemer วัดค่าความเข้มสีด้วยเครื่องวัดสี Chroma Meter เพื่อหาค่า L*, a*, b* และ K/S ทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC TM147 โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* วิเคราะห์สมบัติการป้องกันรังสียูวี ด้วยเครื่อง UV-visble Spectrophotometer (UV) Lambda 35 ทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสง ตามมาตรฐาน ISO 105-BO2 : 1994 (E) และค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง ตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 3: 2552 วิธีที่ A(1) (40°C, 30 นาที)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผ้าไหมที่ไม่เคลือบนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์ พื้นผิว (Surface) ของผ้าจะเรียบ ส่วนผ้าฝ้ายและผ้าไหมที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์จะพบอนุภาคนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์กระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวซึ่ง



รูปที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของเส้นไหมที่ (ก) ไม่เคลือบที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ข) เคลือบนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่กำลังขยาย 300 เท่า (ค) เคลือบนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ง) เคลือบนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

เป็นการยืนยันว่ามีอนุภาคนาโนของคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์เกาะที่ผิวหน้าของเส้นใย (รูปที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับแถบการสั่นที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (ตารางที่ 1) IR Spectrum ของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าแถบการสั่นที่ตำแหน่ง 3276.62 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นของ N-H stretching [13] แถบการสั่นที่ตำแหน่ง 2919.31 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นของ CH_2 stretching [14] ที่ตำแหน่ง 1621.81 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นของ N-H bending แถบการสั่นที่ 1512.93 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นของ N-H Stretching ของ Amine [13] และที่ตำแหน่ง 546 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นของ Ti-O [15], [16] (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตำแหน่งการสั่นของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

หมู่ฟังก์ชัน	อ้างอิง [13] (cm^{-1})	อ้างอิง [14] (cm^{-1})	อ้างอิง [15] (cm^{-1})	เส้นไหม	
				ไม่เคลือบ	เคลือบ
N-H stretching	3300–3500	-	3278.04	3275.04	3276.62
CH_2 stretching	-	2915	-	2929.79	2919.31
N-H bending	1580–1650	-	1617.50	1618.49	1621.81
N-H stretching ของ amine	1515	-	1515.96	1510.99	1512.93
C-H bending	1460	1372	1440	1440.80	1444.35
C-N stretching	1020–1250	-	-	1225.79	1227.38
C-C stretching	-	1058	-	1160.56	1065.29
Ti-O stretching	-	-	649-485	-	546

หมายเหตุ: a คือเส้นไหมที่ไม่เคลือบ b คือ เส้นไหมที่เคลือบนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์

3.2 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินเคลือบนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์

ผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่ไม่เคลือบนาโนคาร์บอนและนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เมื่อเคลือบผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินด้วยนาโนคาร์บอน และไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ โดยผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินเคลือบนาโน 1 สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Straphylococcus aureus* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Clear Zone เท่ากับ 9, 9 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Clear Zone เท่ากับ 9, 10 และ 11 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์เป็นนาโน 2 พบว่าผ้าฝ้ายสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Straphylococcus aureus* มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Clear Zone เท่ากับ 13 มิลลิเมตร และสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Clear Zone เท่ากับ 12 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนของนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับ Haghi *et al*. [17] ศึกษาการใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ด้วยเทคนิค Disc Diffusion Test โดยเติมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่านาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ เกิดบริเวณยับยั้งเชื้อมากที่สุดขนาด 5 มิลลิเมตร การทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (นาโน 1) Carbon 0.05 : TiO_2 0.49 (กรัม) และ (นาโน 2) Carbon 0.02 : TiO_2 0.3 (กรัม) พบว่าสังเกตเห็นการเจริญของเชื้อราได้ด้วยตาเปล่า (Macroscopic Growth) ทุกตัวอย่าง (ไม่ต้านเชื้อรา) เฉดสีของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินย้อมด้วยสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีต่างๆ ดังรูปที่ 3–รูปที่ 5

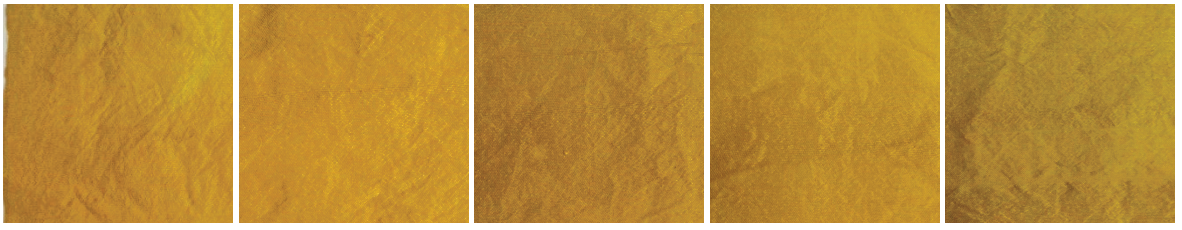
ผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีอัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่า L*, a*, b* และ K/S สูงสุดเท่ากับ 60.26, 50.06, 4.71 และ 4.71 ตามลำดับ (รูปที่ 6) ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อัตราส่วนที่ 1 มีค่า L*, a* b* และ K/S สูงสุดเท่ากับ 41.53, 0.73, 20.3, และ 4.60 ตามลำดับ (รูปที่ 7) ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อัตราส่วนที่ 2 มีค่า L*, a*, b* และ K/S สูงสุดเท่ากับ 23.85, 0.51, 2.03 และ 3.61 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Clear Zone ของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

ตัวอย่างผ้า	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Clear Zone (มิลลิเมตร)	
	Straphylococcus aureus	*Escherichia coli*
ผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบ	0	0
ผ้าฝ้ายเคลือบ (นาโน 1) C 0.05 : TiO_2 0.49 (กรัม)	9	9
ผ้าฝ้ายเคลือบ (นาโน 2) C 0.02 : TiO_2 0.3 (กรัม)	13	12
ผ้าไหมที่ไม่เคลือบ	0	0
ผ้าไหมเคลือบ (นาโน 1) C 0.05 : TiO_2 0.49 (กรัม)	9	10
ผ้ามัสลินที่ไม่เคลือบ	0	0
ผ้ามัสลินเคลือบ (นาโน 1) C 0.05 : TiO_2 0.49 (กรัม)	10	11

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ 3 เฉดสีผ้าฝ้ายย้อมสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีต่างๆ ในอัตราส่วนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต : อะลูมิเนียมซัลเฟต : แทนนิน (ก) 1 : 0 : 0, (ข) 0.5 : 1 : 0, (ค) 0.25 : 0.25 : 0.25, (ง) 0.5 : 4 : 0 และ (จ) 1 : 0 : 0 (กรัม)



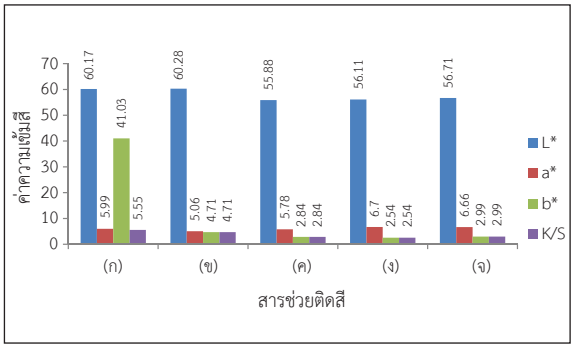
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ 4 เฉดสีผ้าไหมย้อมสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีต่างๆ ในอัตราส่วนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต : อะลูมิเนียมซัลเฟต : แทนนิน (ก) 1 : 0 : 0, (ข) 0.5 : 1 : 0, (ค) 0.25 : 0.25 : 0.25, (ง) 0.5 : 4 : 0 และ (จ) 1 : 0 : 0 (กรัม)

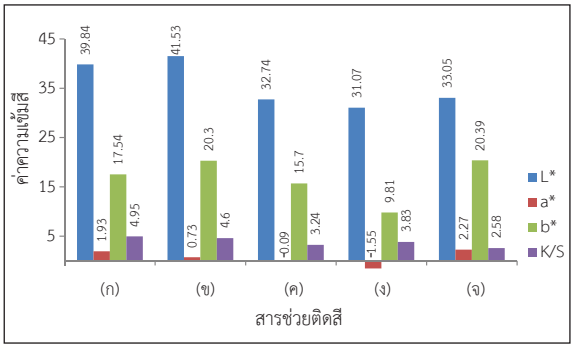
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ 5 เฉดสีผ้ามัสลินย้อมสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีต่างๆ ในอัตราส่วนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต : อะลูมิเนียมซัลเฟต : แทนนิน (ก) 1 : 0 : 0, (ข) 0.5 : 1 : 0, (ค) 0.25 : 0.25 : 0.25, (ง) 0.5 : 4 : 0 และ (จ) 1 : 0 : 0 (กรัม)

ตารางที่ 3 แสดงความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมสีจากเปลือกหอมและเปลือกมะพูด เติมสารช่วยติดสีอัตราส่วนต่างๆ พบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 3-4 ส่วนผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอน/นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (นาโน 1) มีค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4–5 และผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโน 2 มีค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 5 ผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมสีจากเปลือกหอม และเปลือกมะพูด มีค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4–5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงผิวผ้าฝ้ายโดยการเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์มีความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบซึ่งสอดคล้องกับ Alimohammadi



รูปที่ 6 ค่า K/S, L*, a* และ b* ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้เคลือบนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีอัตราส่วนต่างๆ ในอัตราส่วนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต : อะลูมิเนียมซัลเฟต : แทนนิน (ก) 1 : 0 : 0, (ข) 0.5 : 1 : 0, (ค) 0.25 : 0.25 : 0.25, (ง) 0.5 : 4 : 0 และ (จ) 1 : 0 : 0 (กรัม)



รูปที่ 7 ค่า K/S, L*, a* และ b* ของผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโนคาร์บอนกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (นาโน 1) ย้อมสีจากเปลือกหอมเติมสารช่วยติดสีอัตราส่วนต่างๆ ในอัตราส่วนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต : อะลูมิเนียมซัลเฟต : แทนนิน (ก) 1 : 0 : 0, (ข) 0.5 : 1 : 0, (ค) 0.25 : 0.25 : 0.25, (ง) 0.5 : 4 : 0 และ (จ) 1 : 0 : 0 (กรัม)

et al. [18] เคลือบพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยท่อนาโนคาร์บอน และใช้ 1, 2, 3, 4-butanetetracarboxylic Acid เป็นสารครอสลิงก์ (Cross-link Agent) และใช้โซเดียมไฮโปฟอสเฟตเป็นคะตะลิสต์ นำผ้าฝ้ายไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเทคนิค TGA พบว่าคาร์บอนนาโนทิวป์สามารถปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยและเพิ่มการทนต่อความร้อนของเส้นใยได้ และ Abbasipour *et al*. ได้ศึกษาการสะท้อนแสงของผ้าฝ้าย/โพลิเอสเทอร์พิมพ์ด้วยเม็ดสี (Pigment) และสีแวต (Vat Dye) โดยการผสมนาโนไทเทเนียมออกไซด์และคาร์บอนแบล็คในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่าผลิตภัณฑ์ปริ้นที่ใช้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์และคาร์บอนแบล็คมีความคงทนในระดับดีเยี่ยม (7–8) ความคงทนต่อการขัดถู และความคงทนต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 4–5 การเพิ่มความปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์และคาร์บอนแบล็คไม่มีผลต่อความคงทนของสี ซึ่งคาดว่าการเชื่อมโยงระหว่างเส้นใยและสีเกิดการดูดซับได้เพียงพอที่ความเข้มข้นต่ำ [19]

ตารางที่ 3 ความทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมสีจากเปลือกหอมและเปลือกมะพูดเติมสารช่วยติดสีในอัตราส่วนต่างๆ

สีย้อม	อัตราส่วนสารช่วยติดสีที่	ค่าความคงทน					
		สีต่อแสง			สีต่อการซักล้าง		
		ไม่เคลือบ	นาโน 1	นาโน 2	ไม่เคลือบ	นาโน 1	นาโน 2
เปลือกหอม	1	4	4	4	4-5	4	5
	2	4	4	5	4-5	4	5
	3	3	4	4	4-5	4	5
	4	3	5	5	4-5	5	5
	5	4	5	5	4-5	5	5
เปลือกมะพูด	1	4	5	5	4-5	5	5
	2	4	4	5	4-5	5	5
	3	4	5	5	4-5	5	5
	4	4	4	5	4-5	5	5
	5	4	5	5	4-5	5	5

ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราส่วน 0.01 : 0.49, 0.2 : 0.3 และ 0.03 : 0.47 (กรัม) ผ้าไหมที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราส่วน 0.01 : 0.49 (กรัม) และผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราส่วน 0.01 : 0.49 และ 0.2 : 0.3 (กรัม) (ตารางที่ 4) มีค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีมากกว่า 50 คือมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด (มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์) และมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตบี ≤2.5 (ตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับ Karimi *et al*. [9] ศึกษาการเคลือบผ้าฝ้ายด้วยท่อนาโนคาร์บอนและไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองและการป้องกันรังสียูวีโดยใช้กรดซักซินิกเป็นสารครอสลิงก์ แล้วนำไปย้อมด้วยสี Direct Green 6 พบว่า การดูดซับสี ความคงทนต่อการขัดข่วนเพิ่มขึ้น ลดอัตราการรวมของอิเล็กตรอนโฮล (Electron Hole) และการเคลือบอนุภาคนาโนไททาเนียม-ไดออกไซด์เพื่อป้องกันรังสียูวี ช่วยป้องกันมะเร็งผิวหนังและทำให้เสื้อผ้าสีไม่ซีดง่าย [6] ผลการทดสอบเสถียรภาพของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผ้าฝ้ายโดยใช้เทคนิคการเผา พบว่าการเคลือบนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักของผ้า (O.W.F) ก่อนซักด้วยอัลตราโซนิกแล้วนำไปเผา พบไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.81 เปอร์เซ็นต์ หลังซักด้วยอัลตราโซนิกพบไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.7 เปอร์เซ็นต์ และหากไม่ใช้กรดซักซินิกเป็นสารครอสลิงก์หลังซักพบไทเทเนียมไดออกไซด์เพียง 0.48 เปอร์เซ็นต์ และสามารถต้านรอยขีดข่วนได้ 87.45 เปอร์เซ็นต์ [9]

ตารางที่ 4 ค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวี และความสามารถในการป้องกันรังสี UVA และ UVB ของผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน C : TiO_2 (กรัม)	UPF	UVA	UVB
ผ้าฝ้ายไม่ได้เคลือบ	-	5.35	17.06	23.31
ฝ้าย	0.01 : 0.49	62.61	1.33	2.38
ฝ้าย	0.2 : 0.3	57.65	1.70	1.85
ฝ้าย	0.03 : 0.47	94.10	0.94	1.31
ฝ้าย	0 : 0.5	34.69	1.69	7.21
ไหม	0.01 : 0.49	55.23	1.84	1.97
ไหม	0.2 : 0.3	37.37	2.50	2.97
มัสลิน	0.01 : 0.49	61.86	1.35	2.41
มัสลิน	0.2 : 0.3	149.96	0.82	0.60

ตารางที่ 5 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวี

ช่วงค่า UPF	ระดับการป้องกันรังสียูวี	เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตบี
<15	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้น้อย (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้อยู่ต่ำกว่า 93.3 เปอร์เซ็นต์)	>6.7
15–24	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้อยู่ในช่วง 93.3–95.9 เปอร์เซ็นต์)	6.7–4.2
25–39	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดีมาก (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้อยู่ในช่วง 96.0–97.4 เปอร์เซ็นต์)	4.1–2.6
40–50, 50+	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด (ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์)	≤2.5

ที่มา: Grifoni, 2014 [20]

4. สรุป

ผ้าผ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่ไม่เคลือบนาโนคาร์บอนและนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เมื่อเคลือบผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง *Straphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอน/ไทเทเนียมไดออกไซด์ย้อมสีจากเปลือกหอมและเปลือกมะพูด เติมสารช่วยติดสีอัตราส่วนต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4–5 ผ้าฝ้าย ผ้าไหมและผ้ามัสลินที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราส่วน 0.01 : 0.49 (กรัม) มีค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีมากกว่า 50 คือ มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุดมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Suwannapa. (2017, May). Buddhism and Thai culture. Maha Chulalongkhon Ratchawitayalia. Bangkok. Thailand [Online]. Available: http://www.mcu.ac.th/(in thai)

[2] Trigiworn. (2017, May 17). Trigiworn. [Online]. Available: http://th.wikipedia.org/wiki/ไตรจีวร (in thai)

[3] What is the color of the robe?.(2018, Nov. 27). [Online]. Available: http://www.ch3thailand.com/news/scoop/13534 (in thai)

[4] A. Yadav, V. Prasad, and A. Kathe, "Functional finishing in cotton fabrics. using zinc oxides nanoparticles," *Bulletin of Materials Science*, vol. 29, no. 6, pp. 614–645, 2006.

[5] K. Maabong, C. M. Muiva, P. Monowe, T. S. Sathiaraj, M. Hopkins, L. Nguyen, K. Malungwaand, and M. Thobega, "Natural pigments as photosensitizers for dye-sensitized solar cells with TiO_2 thins films," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 5, no. 1, pp. 501–506, 2015.

[6] L. Karimi, S. Zohoori, and A. Amini, "Multi-wall carbon nanotube and nano titanium dioxide coated on cotton fabric for superior self-cleaning and UV blocking," *New Carbon Material*, vol. 29, no. 5, pp. 380–385, 2014.

[7] M. Z. B. Mukhlish, F. Najnin, M. M. Raman, and M. J. Uddin, "Photocatalytic degradation of different dyes using TiO_2 with high surface area: A kinetics study," *Journal of Scientific Research*, vol. 5, no. 2, pp. 301–314, 2013.

[8] Thai Encyclopedia for Youth. (2018, October). Nanomaterials. Thai Junior Encyclopedia Project By Royal Command Of H.M. The King. Bangkok. Thailand [Online]. Available: http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=32&chap=8&page=t32-8-infodetail04.html (in thai)

[9] L. Karimi, M. Mirjalili, and M. E. Yazdanshenas, "Effect of nano TiO_2 on self-cleaning property of cross-link cotton fabrics with succinic acid under UV irradiation," *Photochemistry and Photobiology*, vol. 86, no. 5, pp. 1030–1037, 2010.

[10] G. Goncalves, P. A. A. P. Marques, R. J. B. Pinto, T. Trindade, and C. P. Neto, "Surface modification of cellulosic fibres for multi-purpose TiO_2 based nanocomposites," *Computer Science Technology*, vol. 69, no. 7–8, pp. 1051–1056, 2009.

[11] Q. Li, S. L. Chen, and W. C. Jiang, "Durability of nano ZnO antibacterial cotton fabric to sweat," *Journal of polymer Science*, vol. 103, pp. 412–416, 2007.

[12] S. Tangkawanit, M, Chantarangsee, B. Tangkanobon, and C.Supasorn, "Development of natural dyes powder for cotton and silk industrial in Ubon Ratchatani," Ubon Ratchathani Rajabhat University, Thailand, Research Report, pp. 1–212, 2008 (in thai).

[13] R. M. Silverstein and F. X. Webster, *Spectroscopic Identification of OrganicCompounds*. John Wiley & Sons Inc., 1998, pp. 214.

[14] W. Hongguang, G. Xian, and H. Li, "Grafting of nano-TiO_2 onto flax fibers and the enhancement of the mechanical properties of the flax fiber and flax fiber/epoxy composite," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 76, pp. 172–180, 2015.

[15] G. Wang, "Enhanced photocatalytic activity of TiO_2 Powders (P25) via calcination treatment," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2012, pp. 1–9, 2012.

[16] S. Wang, Q. Ma, H. Liu, K.Wang, L. Ling, and K. Zhang, "Robust electrospinning cellulose acetate@TiO_2 ultrafine fibers for dyeing water treatment by photocatalytic reactions," *The Royal Society of Chemistry*, vol. 5, no. 1, pp. 40521–40530, 2015.

[17] M. H. Haghi, B. J. Mohammad, S. Saman, M. Kazem, F. Farzad, and S. G. Marjan. "Antibacterial effect of TiO_2 nanoparticle on pathogenic strain of E. coli.," *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, vol. 3, pp. 621–624, 2012.

[18] F. Alimohammadi, M. P. Gashti, and A. Shamei, "A novel method for coating of carbon nanotube on cellulose fiber using 1,2,3,4-butanetetracarboxylic acid as a cross-linking agent," *Progress in Organic Coatings*, vol. 7, no. 3, pp. 470–478, 2012.

[19] M. Abbasipour and M. K. Mehrizi, "Investigation to changes of reflective behavior of cotton/polyester fabric by TiO_2 and carbon black nanoparticles," *Scientia Iranica*, vol. 19, no. 3, pp. 954–957, 2012.

[20] D. Grifoni, L. Bacc, S. Di, L. Patrizia, Pi. Arianna, S. Francesca, C. Francesco, S. Gaetano, and Z. A. Romani. "UV protective properties of cotton and flax fabrics dyed with multifunctional plant extracts," *Dyes Pigments*, vol. 105, pp. 89–96, 2014.