



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายเพื่อปรับปรุงสมบัติ
ต้านทานเชื้อแบคทีเรียและป้องกันรังสียูวี

Development of immobilization of zinc oxide nanoparticles on cotton fabric
for improvement in antibacterial and UV-protection properties

ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TS
1582
2659ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 131121
วัน,เดือน,ปี 2.2...1แถ...2557

b. 12603612
1.....

ชื่อโครงการ การพัฒนาการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านทนเชื้อ
แบคทีเรียและป้องกันรังสียูวี

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 431,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง กันยายน 2555 ✓

นางสาว ปุณณมา สิริพันธ์ โนน สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ-
ทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano-ZnO) บนผ้าฝ้ายโดยใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิค-แอซิด (PSS) โดยเริ่มจากนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงให้มีประจุบวกด้วยสารละลาย 3-chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกมาทำการเคลือบผิวด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer technique, LbL) โดยจุ่มเคลือบในสารละลาย PSS ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประจุลบ และสารละลายซิงค์ไนเตรต-เฮกซะไฮเดรต ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่อุณหภูมิ $90^\circ C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งก่อให้เกิดการตรึงอนุภาค Nano-ZnO อยู่บนผ้าฝ้าย โดยปรับเปลี่ยนสภาวะในการปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้าย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย PSS (0.01, 0.05 และ 0.1 M) ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบ PSS (5, 10, 15, 30 และ 60 นาที) ความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (0.05, 0.1 และ 0.5 M) และระยะเวลาในการแช่ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที) พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย PSS และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ส่งผลต่อปริมาณ Nano-ZnO ที่ก่อตัวบนผ้าฝ้ายเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเพิ่มเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และระยะเวลาในการแช่ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จะทำให้ได้ปริมาณ Nano-ZnO เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวโดยการจุ่มเคลือบสารละลาย 0.1 M PSS เป็นเวลา 60 นาที แช่สารละลาย 0.5 M $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH จะก่อให้เกิดปริมาณ Nano-ZnO ที่ตรึงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายมากที่สุด คือ 122.38 ppm/g นอกจากนี้ได้ศึกษาการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเยอร์-บายเลเยอร์ ทำได้โดยนำผ้าฝ้ายที่ถูกทำให้มีประจุบวกมาจุ่มเคลือบสารละลาย 0.1 M PSS เป็นระยะเวลา 5 นาทีสลับกับสารละลาย 0.1 M $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นเวลา 5 นาที โดยปรับจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 2 4 และ 6 รอบ เพื่อให้ได้ชั้นเคลือบ PSS/Zn^{2+} แบบหลายชั้น แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH ที่อุณหภูมิ $90^\circ C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มชั้นเคลือบ PSS/Zn^{2+} จะทำให้ได้ปริมาณ ZnO มากขึ้น โดยการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 6 รอบ สามารถเพิ่มปริมาณอนุภาค ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายได้เป็น 727.35 ppm/g ผ้าฝ้ายที่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรึงอนุภาค Nano-ZnO ที่สภาวะต่าง ๆ ถูกนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าปริมาณ ZnO บนชิ้นผ้าฝ้ายตัวอย่างที่มากขึ้นจะให้สมบัติการต้านทานรังสียูวีและสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีขึ้น ภายหลังการทดสอบความทนทานต่อการซักล้างจนถึง 15 รอบ พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ยังคงความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PSS มีประสิทธิภาพที่ดีในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้าย

คำสำคัญ : อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, ผ้าฝ้าย, พอลิเอทิลีนไกลคอล, เทคนิคเลเซอร์บายเลเยอร์, ปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of immobilization of zinc oxide nanoparticles on cotton fabric for improvement in antibacterial and UV-protection

Researcher: Assist.Prof. Punnama Siriphannon

Faculty: Science

Department: Chemistry

ABSTRACT

This research studied on immobilization of ZnO nanoparticles (Nano-ZnO) on cotton fabric using poly-4-styrenesulfonic acid (PSS). Firstly, the cotton fabric was cationized using 3-chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride solution. The cationized cotton was coated using layer-by-layer (Lbl) technique by dipping the cationized cotton into anionic polyelectrolyte solution of PSS and then zinc nitrate hexahydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) solution. The coated cotton was hydrothermal reacted in ammonium hydroxide (NH_4OH) solution at 90°C for 24 hrs, resulting in the immobilization of Nano-ZnO particles on the cotton fabrics. The conditions of cotton surface treatment were varied, i.e. concentration of PSS solution (0.01, 0.05 and 0.1 M), time of PSS dip-coating (5, 10, 15, 30 and 60 min), concentration of $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.05, 0.1 and 0.5 M) and time of $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ soaking (5, 10, 15, 30, 60 and 120 min). It was found that the changes of PSS and $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ concentrations slightly effected on the amount of Nano-ZnO formed on the cotton surface. The increases of PSS dip-coating time and $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ soaking time could significantly increase the amount of Nano-ZnO. The cotton fabric, which was surface treated by dip-coating with 0.1 M PSS for 30 min and soaking in 0.5 M $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ for 60 min and then hydrothermal treating in NH_4OH solution, created the highest amount of Nano-ZnO particles immobilized on the cotton surface, that is 124 ppm/g. The morphological study indicated that the Nano-ZnO had a uniform distribution in which they partially immobilized in the fiber surface and partially grew from the fiber surface. Besides, an increment of ZnO content on the cotton fabrics was studied using 2 techniques, i.e. crystal regrowth and multilayer Lbl techniques. It was found that the crystal regrowth could increase the ZnO content on the cotton fabric to 701 ppm/g. In multilayer Lbl, the cationized cotton was stepwise dipped into 0.1 M PSS solution for 5 min and 0.5 M $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution for 5 min. The coating procedure was repeated 2, 4 and 6 times to obtain the PSS/ Zn^{2+} multilayers coated on the cotton fabrics. The treated cotton fabrics were hydrothermal treated in NH_4OH solution at 90°C for 24 hours. It was found that the higher number of PSS/ Zn^{2+} coating layers on the fabrics, the more ZnO content could be obtained. The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cotton fabric with 6 PSS/Zn²⁺ multilayers could increase the ZnO content on the cotton fabric to 712 ppm/g. Various properties of the Nano-ZnO immobilized cotton fabrics prepared by various conditions were tested. It was found that the more amount of ZnO on cotton fabric, the better UV protection and antibacterial activity were obtained. After 15 cycles of wash durability testing, the Nano-ZnO immobilized cotton fabrics still retained the antibacterial activity. In addition, the immobilized Nano-ZnO on the cotton fabrics with PSS did not affect the wettability, water vapor permeability and color of the cotton fabrics.

Keywords : Zinc oxide nanoparticles, Cotton fabric, Polyelectrolytes, Layer-by-layer technique, Hydrothermal-reaction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 อีกทั้งได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยงานต่างๆ ดังรายนามต่อไปนี้

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการสนับสนุนงบประมาณในการไปนำเสนอผลงานวิจัย ณ ประเทศออสเตรเลีย

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการให้ความอนุเคราะห์ตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ปณณมา ศิริพันธ์ โนน
หัวหน้าโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	10
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	10
3.3 การทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก	11
3.4 การตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเยอร์	11
3.5 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ผ้าฝ้ายตัวอย่าง	12
3.6 การทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี	13
3.7 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	14
3.8 การทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง	14
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ปฏิกริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก	15
4.2 การตรึงอนุภาค Nano-ZnO ที่สถานะต่าง ๆ	15
4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาค Nano-ZnO ที่ตรึงบนผ้าฝ้าย	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี	27
4.5 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	29
4.6 ความทนทานต่อการซักล้าง	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การคำนวณค่า UPF ค่าคงที่ E และ S และค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบสมบัติในการป้องกันรังสียูวี	36
ภาคผนวก ข การคำนวณค่า %R และค่าจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายตัวอย่าง ที่ตรวจนับได้ จากการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	54
ประวัติผู้วิจัย	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 แผนภาพแสดงการเคลือบผิวด้วยเทคนิค Lbl	11
4.1 สมการเคมีของปฏิกิริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก (Hyde K. <i>et al.</i> , 2007)	15
4.2 ภาพจำลองแสดงการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผ้าฝ้ายในกระบวนการตรึงอนุภาค Nano-ZnO	16
4.3 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย PSS เข้มข้น 0.01 M (a) 0.05 M (b) และ 0.1 M (c)	17
4.4 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย PSS เป็นเวลา 5 นาที (d) 10 นาที (e) 15 นาที (f) 30 นาที (g) และ 60 นาที (h)	18
4.5 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.05 M (a) 0.1 M (b) และ 0.5 M (c)	20
4.6 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่แช่ด้วยสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นเวลา 5 นาที (a) 10 นาที (b) 15 นาที (c) 30 นาที (d) 60 นาที (e) และ 120 นาที (f)	22
4.7 แผนภาพแสดงอันตรกิริยาของสายโซ่ PSS กับไอออน Zn^{2+} เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	23
4.8 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จำนวน 2 รอบ (a) 4 รอบ (b) และ 6 รอบ (c)	25
4.9 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายเมื่อทำการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบ	25
4.10 XPS สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO	27

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีตามมาตรฐาน AS/NZ 4399	13
4.1 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PSS ที่มี ความเข้มข้นแตกต่างกัน	17
4.2 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PSS ที่ใช้ระยะเวลา ในการจุ่มเคลือบแตกต่างกัน	19
4.3 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	20
4.4 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่ใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน	22
4.5 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณ ZnO โดยวิธีการปรับเพิ่มจำนวนชั้น เคลือบในเทคนิคเลเซอร์บายเลเยอร์	26
4.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายตัวอย่าง	28
4.7 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายตัวอย่าง	30
4.8 ผลการทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง	31

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ZnO	:	Zinc oxide
PSS	:	Poly 4-styrenesulfonic acid
Lbl	:	Layer-by-layer
CHTAC	:	3-Chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride
NaOH	:	Sodium hydroxide
DI water	:	Deionized water
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	:	Zinc nitrate hexahydrate
NH ₄ OH	:	Ammonium hydroxide
SEM	:	Scanning electron microscope
AAS	:	Atomic absorption spectrometer
XPS	:	X-ray photoelectron spectrometer
UPF	:	Ultraviolet Protection Factor
%T	:	Percentage transmission
%R	:	Percentage reduction of bacteria

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งในการผลิตเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มและเป็นส่วนประกอบในการผลิตและตกแต่งสิ่งของ เครื่องใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากความจำเป็นและความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์สิ่งทอมีเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเพิ่มจำนวนประชากร เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอถูกพัฒนาจากหัตถกรรมในครัวเรือนไปสู่อุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ คือ “เส้นใย” ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

แรกเริ่มมนุษย์รู้จักการนำเอาเส้นใยธรรมชาติ เช่น ขนสัตว์ ฝ้าย หรือไหม มาทำเป็นเครื่องนุ่งห่มและเครื่องใช้ต่าง ๆ แต่ปริมาณเส้นใยธรรมชาติเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอับความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เพิ่มสูง อีกทั้งเส้นใยธรรมชาติยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น ยับและเปราะเป็องง่าย ดูแลรักษายาก เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการคิดค้นเส้นใยสังเคราะห์เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยธรรมชาติ แต่ผ้าที่ได้จากเส้นใยสังเคราะห์เนื้อผ้าจะระบายอากาศและดูดซับเหงื่อได้น้อยมาก ถ้าใส่อยู่ในที่แดดร้อนหรืออากาศอบอ้าวจะรู้สึกไม่สบายตัว อีกทั้งเส้นใยสังเคราะห์ย่อยสลายได้ยาก จึงอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมขึ้นภายหลัง ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติจึงยังเป็นที่นิยมใ้ช้อยู่ เนื่องจากผ้าที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติ เนื้อผ้าจะสวมใส่สบาย นุ่มเนียน ระบายอากาศดีทำให้เหงื่อสามารถซึมผ่านและระเหยไปอย่างรวดเร็ว ย้อมติดสีได้ง่าย และสามารถย่อยสลายได้

งานวิจัยจำนวนมากจึงสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพผ้าฝ้ายด้วยสารเคมีประเภทต่าง ๆ เพื่อให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติดีขึ้น โดยสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ เช่น ไคโตซาน (Abdel-Halim E.S. *et al.*, 2010) Monochlorotriazinyl- β -cyclodextrin (Abdel-Halim E.S. *et al.*, 2010) Poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) (Fahmy H.M. *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารอนินทรีย์ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วย เช่น อนุภาคนาโนซิลิกา (Bae G.Y. *et al.*, 2009) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Wu D. *et al.*, 2009) อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Ilic V. *et al.*, 2009) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ผ้าฝ้ายซึ่งเป็นผ้าที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติมาทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย โดยได้นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide nanoparticles) มาตรึงไว้บนผ้าฝ้าย เพื่อให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น สมบัติการป้องกันรังสียูวี และสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีสมบัติในการดูดกลืนรังสีในย่านยูวีเกือบทั้งหมด ซึ่งปัจจุบันรังสียูวีก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพผิวมากมาย เช่น ทำให้เกิดความผิดปกติของสีผิว เช่น ฝ้า กระ ทำให้ผิวไหม้เกรียม ทำให้ภูมิคุ้มกันที่ผิวลดลง เกิดการแพ้แดด ทำให้ผิวมีริ้วรอย เหี่ยวย่นแก่ก่อนวัย และทำให้เกิดมะเร็งของผิวหนัง เราจึงต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้มีสมบัติในการป้องกันรังสียูวี เพื่อปกป้องผิวหนังของเราจากอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญ ติเตเนาเบ้เซบระเฮงขนต่านกรรคค
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรังสียูวี นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีสมบัติอื่น ๆ เช่น มีความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ซึ่งผ้าที่มีการตรึงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ไว้บนพื้นผิวจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ได้ เช่น เสื้อผ้านักกีฬา ผ้าที่ใช้ในงานทางการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายโดยตรงอาจมีการยึดติดที่ไม่ดีนัก อาจเกิดการหลุดร่อนของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ออกไปทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้ไปเป็นระยะเวลานาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยนำพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุหรือแตกตัวเป็นประจุได้ มาช่วยในการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย เพื่อพัฒนาให้เกิดการยึดติดที่ดียิ่งขึ้น โดยเทคนิคที่งานวิจัยนี้ใช้ในการเคลือบพอลิอิเล็กโทรไลต์และการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย เรียกว่า เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-layer technique, Lbl) ซึ่งข้อดีของเทคนิคนี้คือ ขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน ประหยัดสารเคมี ประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย และเป็นเทคนิคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ส่วนปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal reaction) ซึ่งมีข้อดีคือ ทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายไม่สูง และสารเคมีที่ใช้ไม่เป็นพิษ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย โดยมีปัจจัยศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไสตริเรซัลโฟนิคแอซิด (PSS), ความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรท ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบ, จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ
2. ศึกษาสมบัติของผ้าฝ้ายตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายโดยใช้ PSS โดยเริ่มจากนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงให้มีประจุบวกด้วยสารละลาย 3-Chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกมาทำการเคลือบผิวด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ โดยจุ่มเคลือบในสารละลาย PSS ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประจุลบ และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่อุณหภูมิ $90\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อให้เกิดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตรึงอยู่บนผ้าฝ้าย โดยปรับเปลี่ยนสภาวะในการปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้าย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย PSS ความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบ และจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ ตัวอย่างผ้าฝ้ายที่สภาวะต่าง ๆ จะถูกนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ นอกจากนี้จะนำผ้าฝ้ายที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติการป้องกันรังสียูวีตามมาตรฐาน AATCC 183-2004 ด้วยเครื่องยูวีริ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน ASTM E2149-01 และทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมผ้าฝ้ายที่มีอนุภาคนาโนซึ่งค่ออกไซด์ตรงอยู่บนพื้นผิวได้ โดยผ้าฝ้ายที่เตรียมได้จะมีสมบัติในการป้องกันรังสียูวี และต้านทานเชื้อแบคทีเรียดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้
2. สามารถพัฒนาเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการตรึงอนุภาคอนินทรีย์ขนาดนาโนบนพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ฝ้าย (Cotton) (Josep M.L., 1986 และ Wakelyn P. J. *et al.*, 1998)

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบนบิดข้วนกันเป็นเกลียว ผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

ความยาวเส้นใย เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง 3 – 63 มิลลิเมตรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ฝ้าย สภาพดินฟ้าอากาศ และการเจริญเติบโต

สี ปกติฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพบเป็นสีครีมหรือน้ำตาล

ความมันเงา เส้นใยฝ้ายโดยทั่วไปจะมีความมันเงาน้อย ต้องเพิ่มความมันเงาด้วยการตกแต่ง

ความแข็งแรง ฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง เมื่อเปียกน้ำฝ้ายจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายแปรโดยตรงตามความยาวของเส้นใย เมื่อนำฝ้ายมาตีเกลียวเป็นด้าย เส้นใยยาวจะมีจุดสัมผัสและการเกาะกันมากกว่าเส้นใยสั้น ส่งผลให้ทนต่อแรงดึงสูง

การยืดตัว ฝ้ายยืดตัวได้ประมาณ 3 – 7 เปอร์เซ็นต์ จึงนำมาปั่นเป็นด้ายได้ง่าย

การคืนตัว ใยฝ้ายและผ้าฝ้ายคืนตัวได้ดี และยับง่ายมาก

การดูดความชื้น ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ ฝ้ายมีความสามารถดูดความชื้นได้สูงถึง 7 – 10 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถดูดซับความชื้นจากเหงื่อและน้ำได้ดีและสามารถระบายความชื้นได้เร็ว

การติดไฟและทนความร้อน ฝ้ายติดไฟง่ายและเร็ว เมื่อเผาจะมีกลิ่นเหมือนเผากระดาษ มีขี้เถ้าเล็กน้อย และมีสีเทานุ่ม ผ้าฝ้ายถ้าถูกความร้อนที่มีความร้อนสูงกว่า 149 องศาเซลเซียส นาน ๆ จะทำให้เส้นใยเสื่อมคุณภาพ จะไหม้เกรียมถ้ารีดด้วยความร้อนสูงมากและถ้ามีการลงแป้งจะทำให้ไหม้เกรียมง่ายขึ้น

สมบัติทางเคมี

กรด กรดอินทรีย์ เช่น กรดน้ำส้ม ไม่เป็นอันตรายต่อฝ้าย แต่ถ้าเป็นกรดแก่ประเภทกรดกำมะถันหรือกรดไฮโดร-คลอริกจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว

ด่าง ฝ้ายทนต่อสารละลายด่างได้ดี แมื่อด่างแก่ที่ใช้เป็นสบู่ในการซักล้างก็ไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย

สารซักฟอก สารซักฟอกทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดสามารถใช้ซักฟอกได้โดยไม่ทำลายผ้าฝ้าย แต่สารซักฟอกประเภทสารออกซิไดซ์ เช่น โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต และ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลทำให้ฟ้ายามีสมบัติเปลี่ยนไปคือมีความแข็งแรงลดลงจากเดิม ขาดง่ายเมื่อเปียกและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

สารละลายอินทรีย์ ฟ้ายสามารถซักแห้งได้ เนื่องจากมีความทนทานต่อสารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้ดีมาก

๒๑ ปกติผ้าฝ้ายเกิดราได้ง่าย เนื่องจากแบ่งที่ตกค้าง มาจากการลงแป้งทำให้เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของรา

การย้อมสี ผ้าฝ้ายสามารถย้อมติดสีได้หลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีไคเรก และสีเบสิก เป็นต้น แสง ผ้าฝ้ายถ้าตากแดดจัดไว้นานเกินไป จะทำให้กลายเป็นสีเหลืองและเสื่อมคุณภาพได้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานของฝ้ายไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง

การเก็บรักษา

ผ้าฝ้ายควรเก็บไว้ในที่แห้งและมีแสงสว่างน้อย ซึ่งจะทำให้ผ้าอยู่ในสภาพเดิมได้นาน อย่าเก็บผ้าฝ้ายไว้ในที่อับชื้นและอุ่นเพราะผ้าฝ้ายจะขึ้นราง่าย ซึ่งจะทำให้ผ้าเสื่อมคุณภาพและขาดเร็วกว่าปกติ

โดยปกติเส้นใยฝ้ายจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเคมีหลักถึงประมาณ 95% ซึ่งเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ คือ หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) สายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวแบบเหยียดตรง (Fully extended chains) ซึ่งจะมีแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่โมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีผลทำให้เกิดโครงสร้างผลึกขึ้น ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง นอกจากนี้เซลลูโลสเส้นใยฝ้ายยังมีองค์ประกอบเคมีย่อยจำพวกโปรตีน เพคติน แวกซ์ เป็นต้น

2.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductors) และ/หรือชนิดเอ็น (n-type semiconductors) ซึ่งมีความกว้างของช่องว่างแถบพลังงานที่กว้าง (Wide bandgap) ประมาณ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ มีความสามารถดูดกลืนรังสีที่อยู่ในย่านของรังสียูวีเกือบทั้งหมด มีสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง และมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Wang Z.L., 2004) อนุภาคซิงค์ออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการสังเคราะห์ผงเซรามิกส์ทั่วไป (Reed J.S., 1988) วิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method) เป็นหนึ่งในวิธีการสังเคราะห์ผงซิงค์ออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพ และมีจุดเด่น คือ กระบวนการสังเคราะห์ง่ายไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน สารตั้งต้นที่ใช้ไม่เป็นพิษ ค่าใช้จ่ายไม่สูง

วิธีการไฮโดรเทอร์มอลนี้ มักจะเป็นวิธีที่นำมาใช้กันมากในระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการเตรียมสารประกอบออกไซด์อย่างง่าย ซึ่งวิธีการนี้จะเกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่สารจำพวกเกลือของโลหะออกไซด์ โลหะไฮดรอกไซด์ หรือผงโลหะต่าง ๆ ที่อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะที่มีการให้อุณหภูมิและความดันในอโตคลอฟ (Autoclave) ที่ทำด้วยเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถทนอุณหภูมิได้สูงตามต้องการ การตกตะกอนภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ในลักษณะผงที่ปราศจากน้ำ มีลักษณะโดดเด่นเป็นพิเศษ คือ มีความสม่ำเสมอทั้งองค์ประกอบทางเคมีและขนาดของอนุภาคที่เล็กมาก ไม่จำเป็นต้องมีการเผาหรือการบดย่อยอีกต่อไป โดยทั่ว ๆ ไปจะมีขนาดประมาณ 10 – 12 นาโนเมตร มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size distribution) แคบ ปัจจัยที่จะต้องทำการควบคุมในการสังเคราะห์ผงเซรามิกส์โดยวิธีนี้ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา (Baruah S. and Dutta J., 2009)

2.1.3 พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes)

พอลิอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเฉพาะ คือ มีหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุหรือแตกตัวเป็นประจุได้ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าซึ่งอาจมีประจุบวก (Cationic polyelectrolytes) ประจุลบ (Anionic polyelectrolytes) หรือมีทั้งประจุบวกและลบ (Polyampholytes) และอาจไม่มีประจุหรือมีประจุน้อยมาก (Nonionic polyelectrolytes) เมื่อนำวัสดุซึ่งพื้นผิวมีประจุไปจุ่มในสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ พบว่าพฤติกรรมการดูดซับของพอลิอิเล็กโทรไลต์บนวัสดุที่มีประจุ สามารถเกิดได้หลายภาพแบบ ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ หลายประการ (Rembaum A. and Selegny E., 1975 และ Hara M., 1993) จากพฤติกรรมการดูดซับดังกล่าวจึงมีการนำสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์มาใช้เป็นสารเคลือบผิว (Coating material) และ/หรือสารยึดติด (Binder) เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการที่พื้นผิวของวัสดุประเภทต่างๆ เทคนิคในการเคลือบผิววัสดุต่างๆ ด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ คือ เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-layer technique, Lbl) ซึ่งเป็นเทคนิคที่อาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างวัสดุฐาน (Substrate) ที่พื้นผิวมีประจุกับสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงกันข้ามทำให้เกิดชั้นของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีความหนาของแต่ละชั้นอยู่ในระดับนาโนเมตร จุดเด่นของเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ ได้แก่ เป็นเทคนิคที่ง่าย ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดและลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน เป็นระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตราย ใช้สารเคมีปริมาณน้อย ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Dautzenberg H. *et al.*, 1994 และ Shi X. *et al.*, 2004)

จากข้อมูลทางทฤษฎีข้างต้นจึงเป็นที่มาให้งานวิจัยนี้สนใจที่จะนำจุดเด่นของซิงค์ออกไซด์ สารละลายพอลิ-อิเล็กโทรไลต์ เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ และปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของผ้าฝ้ายในระดับ นาโนเมตร ซึ่งผ้าฝ้ายที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวแล้วจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและผิวสัมผัส แต่จะมีสมบัติต้านทานเชื้อแบคทีเรียและป้องกันรังสียูวีที่ดีขึ้นกว่าผ้าฝ้ายธรรมดา

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Limsavarn L. และคณะ (Limsavarn L. *et al.*, 2007) ได้ทำการศึกษาการใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทำโดยใช้ poly(styrene sulfonate-co-maleic) ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประจุลบผสมกับสารละลายซิลเวอร์ในเตรทในปริมาณที่เท่ากันบั่นทอนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นใส่สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์แล้วทำการบั่นทอนที่ความเร็วรอบสูง สารละลายจะเปลี่ยนสีเป็นการยืนยันว่าเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขึ้น จากนั้นสารละลายจะถูกเก็บไว้ในที่มืด แล้วนำแผ่นกระจกที่ทำความสะอาดแล้วมาทำการจุ่มเคลือบ poly(diallyldimethylammonium chloride) ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก แล้วนำไปจุ่มในสารละลายที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมไว้ก่อนหน้าทำการจุ่มสลับระหว่าง poly(diallyldimethylammonium chloride) และ poly(styrene sulfonate-co-maleic) ที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่หลาย ๆ ชั้น จากนั้นตัวอย่างจะถูกนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) ผลที่ได้พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายตัวที่ดี และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย poly(styrene sulfonate-co-maleic) ค่าการดูดกลืนรังสียูวีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมีอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากขึ้น

งานวิจัยของ Polsongkram D. และคณะ (Polsongkram D. *et al.*, 2008) ได้ศึกษาผลของสภาวะในการก่อผลึกซิงค์ ออกไซด์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยนำแผ่นกระจกที่ทำความสะอาดแล้วใส่ในระบบที่มีสารละลายผสมระหว่าง Zinc nitrate hexahydrate ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) กับ Hexamethylene-tetramine ($C_6H_{12}N_4$) โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และเทคนิคไมโครรามานสเปกโทรสโคปี (Micro-raman spectroscopy) พบว่าการปรับเปลี่ยนสภาวะในการก่อผลึกซิงค์ออกไซด์มีผลต่อสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ได้ โดยที่ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จะมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ำหรือใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น

งานวิจัยของ Yu J. และคณะ (Yu J. *et al.*, 2008) ได้ทำการศึกษาผลของ poly(sodium 4-styrene sulfonate, PSS) ต่อสัณฐานวิทยาและสมบัติทางแสงของซิงค์ออกไซด์ ทำโดยนำ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$ ละลายในสารละลาย PSS โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย PSS ในช่วง 0 - 1 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำสารผสมใส่ในอโตเคลฟและคงอุณหภูมิไว้ที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บตะกอนสีขาวที่ได้ ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน 3 ครั้งแล้วทำให้แห้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) เทคนิคเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโคปี (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) เทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman spectroscopy)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry) และเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโฟโตเมทรี (Fluorescence spectrophotometry) จากผลการทดลองพบว่าโมเลกุลของ PSS จะยับยั้งการเติบโตของผลึกซิงค์ออกไซด์ที่ระนาบ (001) เนื่องจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างประจุบวกของซิงค์ออกไซด์ที่ระนาบ (001) กับประจุลบของ PSS การเพิ่มความเข้มข้นของ PSS จะเพิ่มแรงดึงดูดระหว่าง PSS กับซิงค์ออกไซด์ทำให้ได้ผลึกที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) ของผลึกซิงค์ออกไซด์มีค่าลดลง และจากเทคนิครามานสเปกโทรสโคปีพบว่าความสูงของพีกที่ได้จะลดลงเมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผลึกซิงค์ออกไซด์ลดลง และผลที่ได้จากเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PSS จะได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap) ที่กว้างมากขึ้นและความเข้มในการปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 394 นาโนเมตรมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 490 นาโนเมตรจะมีความเข้มในการปลดปล่อยลดลง

งานวิจัยของ Ilic V. และคณะ (Ilic V. *et al.*, 2009) ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่มีการย้อมสีต่อความสามารถในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ ทำโดยนำผ้าฝ้ายจุ่มลงในสารที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 10 และ 50 ppm แฉวนลยอยู่เป็นเวลา 5 นาทีแล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเชื้อที่ใช้ในการทดสอบมีเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก *S. aureus* และเชื้อรา *C. albicans* พบว่าตัวอย่างที่ได้จากอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 10 และ 50 ppm มีความสามารถในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ดี และการนำเอาตัวอย่างที่ได้จากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 50 ppm ไปย้อมสี พบว่าการย้อมสีไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ ต่อมานำตัวอย่างไปทดสอบความทนทานต่อการซัก โดยทำการซักแล้วนำตัวอย่างไปตรวจหาปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer, AAS) พบว่า ตัวอย่างที่ได้จากอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 10 ppm มีความทนทานต่อการซักที่ไม่ดี แต่ตัวอย่างที่ได้จากอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 50 ppm หลังจากผ่านการซักล้าง 5 ครั้งจะยังคงเหลือปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์เพียงพอที่จะมีความสามารถในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ได้

งานวิจัยของ Wang Q. และ Hauser P.J. (Wang Q. and Hauser P.J., 2009) ได้ทำการศึกษาการก่อตัวของพอลิอิเล็กโตรไลต์แบบเลเยอร์บายเลเยอร์บนผ้าฝ้าย โดยนำผ้าฝ้ายมาทำให้เป็นประจุบวกจากนั้นนำมาจุ่มเคลือบพอลิอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์ 2 ชนิด คือ poly(sodium 4-styrene sulfonate) ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประจุลบ และ poly(diallyldimethylammonium chloride) ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก โดยทำการจุ่มสลับระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์ประจุลบกับบวกให้เกิดชั้นของพอลิอิเล็กโตรไลต์หลาย ๆ ชั้น จากนั้นชั้นงานที่ถูกเคลือบด้วยพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีจำนวนชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เอกสารนี้แล้วต้องแจ้งให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ กันจะถูกนำไปตรวจวัดการย้อมติดสี โดยวัดความเข้มของสีย้อมบนชิ้นผ้าตัวอย่าง ซึ่งสีย้อมที่ใช้ทดสอบมีสองชนิดคือ Methylene blue ซึ่งเป็นสีย้อมประจุบวก และ Direct red 80 ซึ่งเป็นสีย้อมประจุลบ จากนั้นชิ้นงานจะถูกนำไปทดสอบการดูดกลืนรังสียูวีด้วยเครื่องยูวีวิลิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) ซึ่งทั้ง poly(sodium-4-styrene sulfonate) และ poly(diallyldimethylammonium chloride) ให้การดูดกลืนรังสียูวีที่ความยาวคลื่น 226 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่าเมื่อจำนวนชั้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนรังสียูวีที่ความยาวคลื่น 226 นาโน-เมตรจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) พบว่าไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่มีและไม่มีพอลิอิเล็กโทรไลต์เคลือบอยู่ได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสารที่เคลือบลงไปมีปริมาณน้อยมากไม่เพียงพอที่เครื่องจะสามารถตรวจวิเคราะห์ได้

งานวิจัยของ Sivakumar P.M. และคณะ (Sivakumar P.M. *et al.*, 2010) ได้ทำการศึกษาผลของการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และ Chalcone ((E)-1-(3-hydroxyphenyl)-3-(4-methoxy-phenyl)prop-2-en-1-one) โดยใช้ Acacia เป็นสารเชื่อมประสาน ทำโดยสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์และ Chalcone จากนั้นนำผ้าฝ้ายมาจุ่มเคลือบด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Chalcone 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ Acacia 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาทำให้แห้ง พื้นผิวของตัวอย่างจะถูกตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดต่อกับหน่วยวิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (Scanning electron microscope with energy dispersive X-ray Spectrometer, SEM-EDX) จากนั้นนำไปทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ Staphylococcus aureus, Escherichia coli และ Pseudomonas aeruginosa ทำโดยนำชิ้นงานจุ่มลงในเชื้อแบคทีเรียแล้วดูจำนวนของแบคทีเรียที่มีชีวิตรอด ซึ่งพบว่าชิ้นงานตัวอย่างที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และ Chalcone ทำให้เชื้อแบคทีเรียตายไปมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ผ้าฝ้าย 100% ทอลายขัด (Plain weave) น้ำหนัก 75 กรัมต่อตารางเมตร
ห่างหูล้นส่วนจำกัด ช่วนฮั่ว
2. ทรืคลอโรโทไฮดรอกซีโพรพิวไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์
(3-chloro-2-hydroxypropyl)trimethylammonium chloride solution, CHTAC)
บริษัท ALDRICH เกรดวิเคราะห์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท LAB-SCAN เกรดวิเคราะห์
4. กรดอะซิติค (Acetic acid, CH₃COOH) บริษัท เกรดวิเคราะห์
5. พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (Poly(4-styrenesulfonic acid) solution, PSS)
บริษัท ALDRICH M_w ~75,000 เกรดวิเคราะห์
6. ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรท (Zinc nitrate hexahydrate, Zn(NO₃)₂ · 6H₂O)
บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์
7. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide, NH₄OH)
บริษัท LAB-SCAN เกรดวิเคราะห์
8. กรดไนตริก (Nitric acid, HNO₃) บริษัท SDFCL เกรดวิเคราะห์
9. น้ำปราศจากออน (DI water)
10. เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli*

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท
JEOL รุ่น JSM-5410LV
2. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer,
AAS) บริษัท Shimadzu รุ่น AA-680
3. เครื่องเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรมิเตอร์ (*X-ray photoelectron spectrometer, XPS*)
บริษัท Kratos Analytical รุ่น Amicus
4. เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) บริษัท PG Instrument
รุ่น T90
5. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument รุ่น Si-234
6. เครื่องให้ความร้อนชนิดแผ่นและปั่นกวน (Hot plate and stirrer) บริษัท IKA รุ่น basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นาเบเซบระโฮชนดานการคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

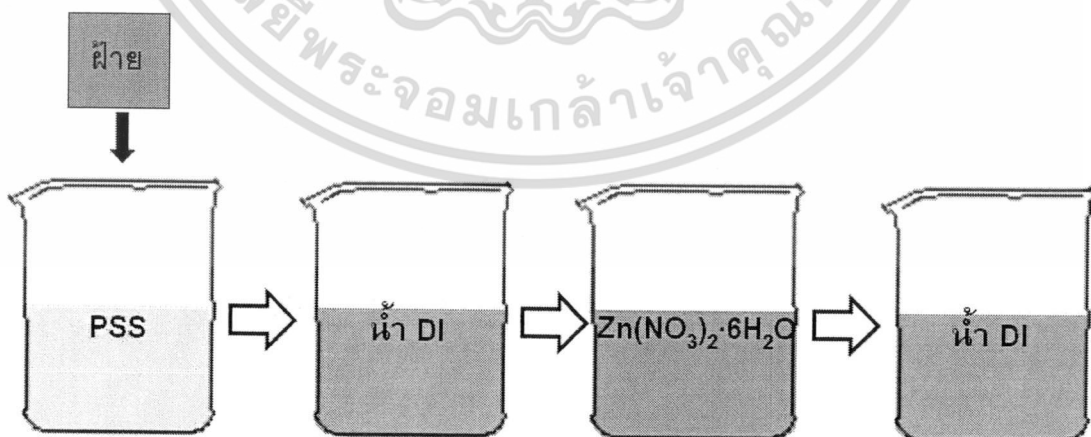
7. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath) บริษัท Memmert รุ่น WNB29
8. เครื่องอัลตราโซนิก บริษัท Cole-Parmer รุ่น 8832
9. ขวดแก้วระบบปิด
10. เครื่องซักผ้า LG รุ่น WP-710N

3.3 การทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก

1. เตรียมสารละลายผสมระหว่าง CHTAC กับ NaOH โดยชั่ง CHTAC 50 กรัม และ NaOH 18 กรัม ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำ DI ปริมาตร 1 ลิตร ปั่นกวนให้สารละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
2. นำผ้าฝ้ายแช่ในสารละลายผสมที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำออกจากสารละลายแล้วล้างด้วยน้ำ DI จากนั้นสะเทินด้วยกรดอะซิติกเจือจาง
4. ล้างด้วยน้ำ DI จนกระทั่งมีค่า pH เป็นกลาง

3.4 การตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์

1. นำผ้าฝ้ายที่ทำให้มีประจุบวกแล้วมาจุ่มเคลือบในสารละลาย PSS จากนั้นนำไปจุ่มล้างในน้ำ DI แล้วนำไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ แล้วจุ่มล้างในน้ำ DI อีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาในการจุ่มเคลือบ
2. นำตัวอย่างผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลโดยใส่ชิ้นผ้าลงในขวดแก้วที่มีสารละลาย NH_4OH ปิดผนึกฝาขวดแก้วให้สนิท แล้วนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. นำตัวอย่างผ้าที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น ตากให้แห้ง แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ต่าง ๆ ต่อไป



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเคลือบผิวด้วยเทคนิค Lbl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้จะทำการปรับเปลี่ยนสภาวะในการเคลือบผิว ดังนี้

- ความเข้มข้นของสารละลาย PSS
- ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS
- ความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$
- ระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$
- จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ

3.5 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ผ้าฝ้ายตัวอย่าง

3.5.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

นำผ้าฝ้ายเริ่มต้น ผ้าที่ผ่านการทำให้มีประจุบวก ผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย PSS ผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สภาวะต่าง ๆ และผ้าตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการต่าง ๆ มาตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยนำชิ้นงานไปเคลือบทองก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์

3.5.2 อะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer, AAS)

นำผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สภาวะต่าง ๆ และผ้าตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของซิงค์ (Zn) ด้วยเครื่อง AAS ทำโดยนำผ้าตัวอย่างเผาไฟแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 5 นาที กรองแล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Zn บนพื้นผิวเส้นใยจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลของสภาวะที่ใช้ในการเคลือบผิวเส้นใยด้วยเทคนิค Lbl

3.5.3 เอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรมิเตอร์ (X-ray photoelectron spectrometer, XPS)

ตรวจวิเคราะห์สภาวะทางเคมีของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง XPS โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

X-Ray Gun

Acc HT	:	8 kV
Emission current	:	30 mA
Source	:	Mg

Ion Gun

Beam Voltage	:	0.5 kV
Emission current	:	30 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี

นำผ้าฝ้ายเริ่มต้น ผ้าที่ผ่านการทำให้มีประจุบวก ผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย PSS ผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สถานะต่าง ๆ และผ้าตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการต่าง ๆ มาตรวจวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน (%T) ที่ความยาวคลื่น 280 ถึง 400 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน AATCC 183-2004 โดยทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน แล้วนำมาคำนวณหาค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF) ตามสมการที่ 3.1

$$UPF = \frac{\sum_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta\lambda} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

โดย E = relative erythral spectral effectiveness
 S = solar spectral irradiance ($\text{Wm}^{-2} \text{nm}^{-1}$)
 T = ค่าการทะลุผ่านเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้จาก ชั้นผ้าตัวอย่างที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ
 $\Delta\lambda$ = ช่วงความยาวคลื่นที่ทำการตรวจวัด (nm)
 λ = ความยาวคลื่น (nm)

โดยค่า UPF คือค่าที่บอกลถึงประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีที่หมายรวมทั้งรังสียูวีเอและยูวีบี ซึ่งค่า UPF ที่ได้สามารถนำไปจัดระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีตามมาตรฐาน AS/NZ 4399

ค่า UPF	ระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวี
15 - 24	ดี
25 - 39	ดีมาก
40 - 50 , 50+	ดีเยี่ยม

3.7 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

นำผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สภาวะต่าง ๆ และผ้าตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการต่าง ๆ มาทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้มาตรฐาน ASTM E2149-01 โดยใช้แบคทีเรีย *Escherichia coli* ในการทดสอบ ทำโดย

1. เตรียมสารแขวนลอยเชื้อตั้งต้น ความเข้มข้น 10^6 cfu/ml ลงในขวดภาพชมฟู
2. นำชิ้นผ้าตัวอย่างที่ต้องการทดสอบแช่ลงในสารแขวนลอยเชื้อที่เตรียมไว้ แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. คูดสารแขวนลอยเชื้อภายหลังจากการแช่ชิ้นผ้าตัวอย่างถ่ายลงสู่จานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วเกลี่ยให้ทั่ว นำเข้าสู่อบินคิวเบเตอร์ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมานับจำนวนแบคทีเรียที่รอดชีวิต แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย (*Percentage reduction of bacteria, %R*) ตามสมการที่ 3.2

$$\% R = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

โดย %R คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%)
 A คือ จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายก่อนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ตรวจนับได้ (cfu/ml)
 B คือ จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ตรวจนับได้ (cfu/ml)

3.8 การทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง

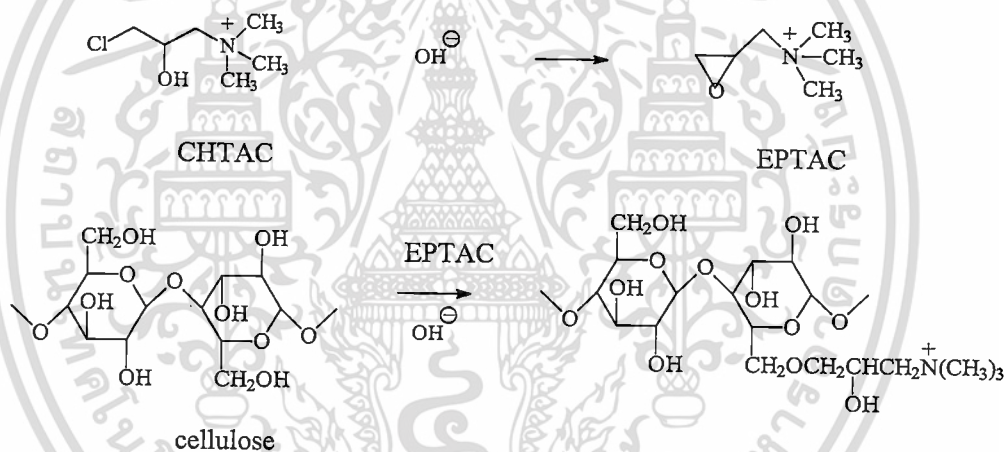
1. นำชิ้นผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาทำการซักและตากให้แห้ง เป็นจำนวน 3, 5, 10 และ 15 รอบ
2. นำผ้าฝ้ายตัวอย่างข้างต้นไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Zn ที่เหลืออยู่บนชิ้นผ้าด้วยเครื่อง AAS จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้มาตรฐาน ASTM E2149-01 แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%R) ของตัวอย่างก่อนการซักและภายหลังการซักที่จำนวนรอบต่าง ๆ

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ปฏิกริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก

โดยปกติผ้าฝ้ายธรรมชาติมักจะมีการยึดติดกับสารปรับปรุงสมบัติและสารปรับแต่งสมบัติต่าง ๆ ได้ไม่ตึงนัก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้ผ้าฝ้ายมีประจุบวก เพื่อให้เกิดการยึดติดสารเคลือบผิวในขั้นตอนถัดไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยการแช่ผ้าฝ้ายในสารละลายผสมระหว่าง 3-chloro-2-hydroxypropyl)trimethylammonium chloride (CHTAC) กับ NaOH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายดังปฏิกิริยาที่แสดงในภาพที่ 1

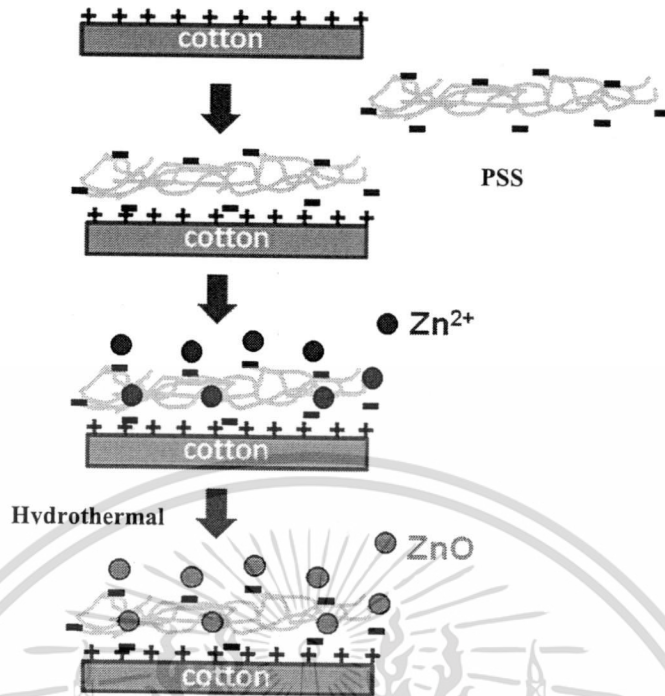
โดย CHTAC จะไปทำปฏิกิริยากับ OH^- จาก NaOH ได้เป็น 2,3 epoxy propyl trimethylammonium chloride (EPTAC) จากนั้น EPTAC จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเซลลูโลส ได้หมู่ฟังก์ชันที่มีประจุบวกเกาะอยู่บนโครงสร้างของเซลลูโลสดังแสดงในสมการ



ภาพที่ 4.1 สมการเคมีของปฏิกิริยาการทำผ้าฝ้ายให้มีประจุบวก (Hyde K. *et al.*, 2007)

4.2 การตรึงอนุภาค Nano-ZnO ที่สภาวะต่าง ๆ

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกบนพื้นผิว มาจุ่มเคลือบในสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ PSS พื้นผิวของผ้าฝ้ายจะถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ PSS ซึ่งมีประจุเป็นลบ ต่อมาเมื่อนำผ้าฝ้ายไปแช่ในสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ไอออนของ Zn^{2+} จะเข้าไปเกาะบนชั้น PSS เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ในสารละลาย NH_4OH จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้ไอออนของ Zn^{2+} กลายเป็นอนุภาค Nano-ZnO ตรึงอยู่บนพื้นผิวผ้าฝ้าย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผ้าฝ้ายตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ภาพจำลองแสดงการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของผ้าฝ้ายในกระบวนการตรึงอนุภาค Nano-ZnO

เมื่อนำเอาผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกมาทำการตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยปัจจัยศึกษาสถานะในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO มีดังนี้

- ความเข้มข้นของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์
- ความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต
- ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบ
- จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ

4.2.1 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์

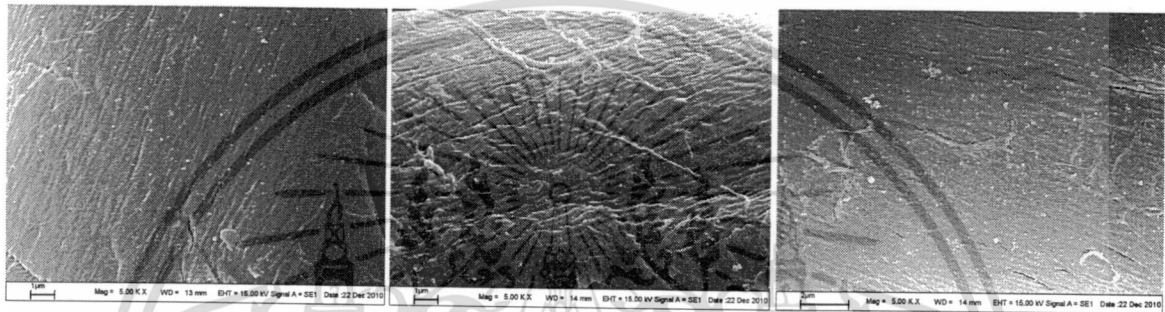
ในการศึกษาผลของความเข้มข้นในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS ต่อการตรึงอนุภาค Nano-ZnO จะทำการจุ่มเคลือบผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกในสารละลาย PSS เข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 M เป็นระยะเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 60 นาที และทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.3 (a) – (c) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลาย PSS ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 M แล้วนำไปตรึงอนุภาค Nano-ZnO พบว่าบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายทุกตัวอย่างจะมีอนุภาคขนาดเล็กก่อตัวขึ้น ซึ่งอนุภาคดังกล่าว คือ อนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของ Zn^{2+} ใน NH_4OH อย่างไรก็ตามจากภาพ SEM ไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตเห็นความแตกต่างของปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่ก่อตัวบนผ้าฝ้ายตัวอย่าง แม้ตัวอย่างดังกล่าวจะผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PSS ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

เมื่อนำตัวอย่างผ้าฝ้ายข้างต้นไปวิเคราะห์ปริมาณ Zn ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย PSS ที่ใช้จะมีผลให้ปริมาณ Zn ที่อยู่บนผ้าฝ้ายตัวอย่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลจากภาพ SEM อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารละลาย PSS ที่ความเข้มข้น 0.1 M ในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยในการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ต่อไป



(a) [PSS] 0.01 M

(b) [PSS] 0.05

(c) [PSS] 0.1 M

ภาพที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย PSS เข้มข้น 0.01 M (a) 0.05 M (b) และ 0.1 M (c)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PSS ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้						ปริมาณ Zn (ppm/g)
	PSS		Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		NH ₄ OH		
	[PSS] M	เวลาที่ใช้ (min)	[Zn ²⁺] M	เวลาที่ใช้ (min)	[NH ₄ OH] M	เวลาที่ใช้ (hr)	
c-p0.01M	0.01	30	0.5	60	0.5	24	117.98 ± 7.83
c-p0.05M	0.05						120.74 ± 6.47
c-p0.1M*	0.1						121.48 ± 9.09

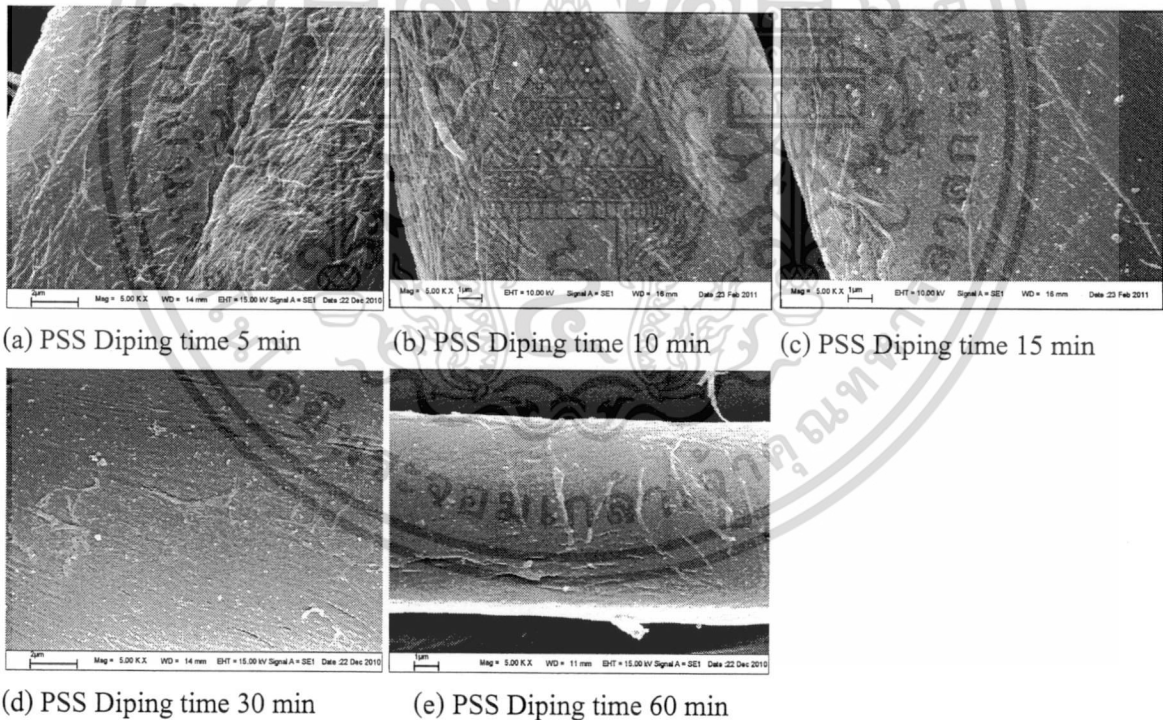
* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS

ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS ต่อการตรึงอนุภาค Nano-ZnO จะทำการจุ่มเคลือบผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกในสารละลาย PSS เข้มข้น 0.1 M เป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 60 นาที และทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อนำผ้าฝ้ายตัวอย่างข้างต้นไปตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วย SEM ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.4 พบว่าชั้นผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO จะมีอนุภาค Nano-ZnO ก่อตัวขึ้นบนเส้นใยทำให้ลักษณะบนพื้นผิวเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป จากภาพที่ 4.4 (a) พบว่าจะสามารถสังเกตเห็นผลึก Nano-ZnO ที่ก่อตัวขึ้นได้แม้ผ้าตัวอย่างดังกล่าวจะผ่านการจุ่มเคลือบในสารละลาย PSS เพียง 5 นาที และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS เป็น 10, 15, 30 และ 60 นาที จะพบว่าผลึก Nano-ZnO ที่ก่อตัวขึ้นปกคลุมพื้นผิวผ้าฝ้ายตัวอย่างมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่ทำการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS เป็นเวลา 5 นาที โดยตัวอย่างที่ทำการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS เป็นเวลา 15, 30 และ 60 นาทีจะมีปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 (c) – 4.4 (e)



ภาพที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย PSS เป็นเวลา 5 นาที (d) 10 นาที (e) 15 นาที (f) 30 นาที (g) และ 60 นาที (h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 การเพิ่มขึ้นของปริมาณ Zn ในชั้นผ้าฝ้ายตัวอย่างสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ PSS ที่เคลือบบนผ้าฝ้ายตัวอย่าง จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS จาก 5 นาที เป็น 10 นาที และจาก 10 นาที เป็น 15 ปริมาณ Zn ในชั้นผ้าฝ้ายตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นประมาณ 6 - 7 % แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการจุ่มเคลือบเป็นจาก 15 นาที เป็น 30 พบว่า Zn มีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 3 % และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการจุ่มเคลือบจาก 30 นาที เป็น 60 นาที ปริมาณ Zn มีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 1 % ปริมาณของ Zn ในตัวอย่างทั้งสาม (c-p15min, c-p30min และ c-p60min) ถือว่าไม่ต่างกันมากนัก แสดงว่าปริมาณของ PSS บนผ้าฝ้ายทั้ง 3 ตัวอย่างน่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องจากในช่วง 5 - 10 นาทีแรกสายโซ่ PSS น่าจะเกิดอันตรกิริยากับประจุบวกส่วนใหญ่บนผ้าฝ้ายและปกคลุมพื้นผิวเกือบทั้งหมดของเส้นใย อีกทั้งสารละลาย PSS ที่ใช้จัดอยู่ในระดับความเข้มข้นสูง โครงภาพ (Conformation) ของสายโซ่ PSS ที่เกิดอันตรกิริยากับผ้าฝ้ายจึงน่าจะก่อให้เกิดความเกะกะ (Steric effect) เป็นผลให้เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการจุ่มเคลือบเป็น 15, 30 และ 60 นาที PSS ไม่สามารถเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับผ้าฝ้ายได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลดังกล่าวข้างต้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS เป็น 30 นาที สำหรับการเตรียมตัวอย่างในการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ต่อไป

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PSS ที่ใช้ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบแตกต่างกัน

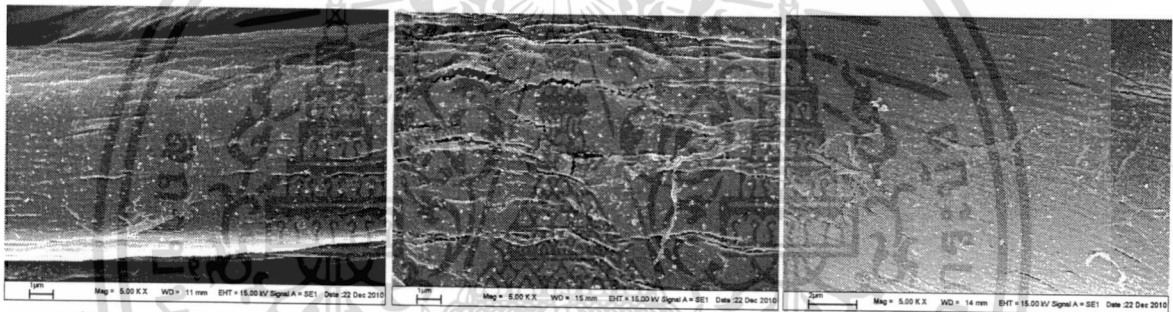
ตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้						ปริมาณ Zn (ppm/g)
	PSS		Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		NH ₄ OH		
	[PSS] M	เวลาที่ใช้ (min)	[Zn ²⁺] M	เวลาที่ใช้ (min)	[NH ₄ OH] M	เวลาที่ใช้ (hr)	
c-p5min	0.1	5	0.5	60	0.5	24	103.40 ± 4.98
c-p10min		10					110.71 ± 8.48
c-p15min		15					117.46 ± 5.79
c-p30min*		30					121.48 ± 9.09
c-p60min		60					122.38 ± 7.69

* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน

4.2.3 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จะนำผ้าฝ้ายตัวอย่างที่จุ่มเคลือบ PSS เข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 30 นาทีมาแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5 M เป็นเวลา 60 นาที และทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.5 (a) – 4.5 (c) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายตัวอย่างที่เตรียมด้วยสภาวะข้างต้น พบว่ามีอนุภาค Nano-ZnO จำนวนมากก่อตัวขึ้นและกระจายอยู่บนพื้นผิวเส้นใยในลักษณะและปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3 โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณ Zn จากเทคนิค AAS ในทั้งสามตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่ใช้ในช่วง 0.05 - 0.5 M ไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Nano-ZnO ที่เกิดขึ้น

(a) $[Zn^{2+}]$ 0.05 M(b) $[Zn^{2+}]$ 0.1 M(c) $[Zn^{2+}]$ 0.5 M

ภาพที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของผ้าที่เตรียมด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.05 M (a) 0.1 M (b) และ 0.5 M (c)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้						ปริมาณ Zn (ppm/g)
	PSS		$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$		NH_4OH		
	[PSS] M	เวลาที่ใช้ (min)	$[Zn^{2+}]$ M	เวลาที่ใช้ (min)	$[NH_4OH]$ M	เวลาที่ใช้ (hr)	
c-z0.05M	0.1	30	0.05	60	0.05	24	116.19 ± 8.86
c-z0.1M			0.1		0.1		119.25 ± 6.29
c-z0.5M*			0.5		0.5		121.48 ± 9.09

* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

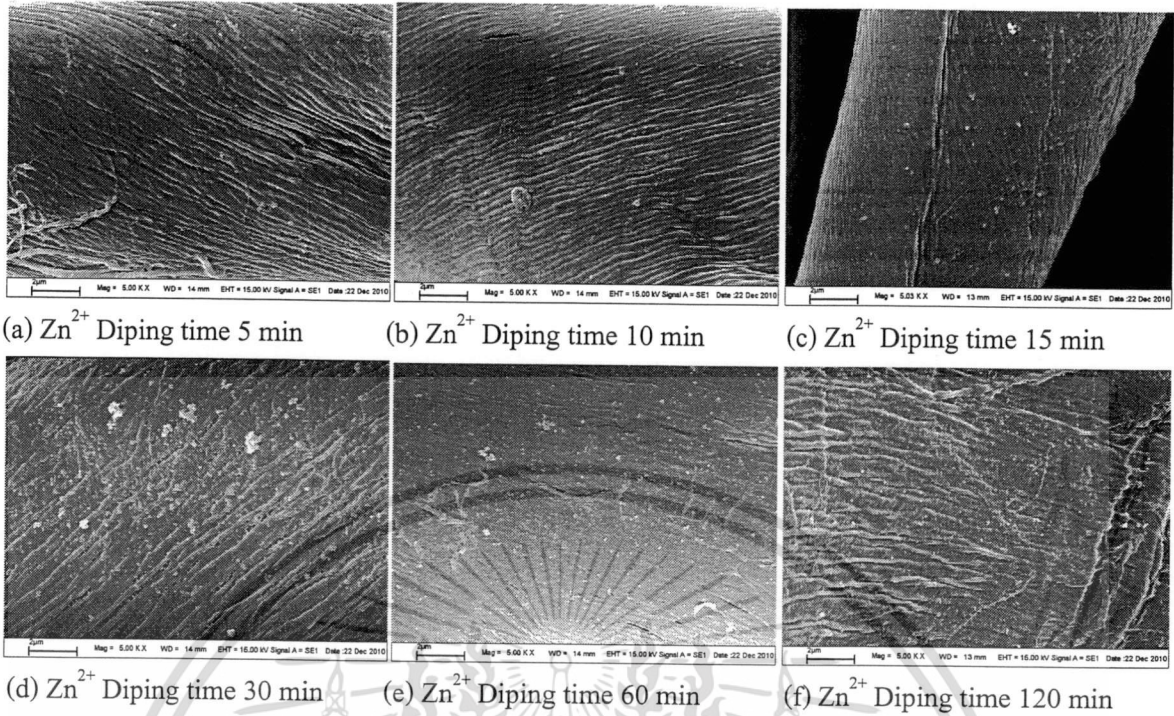
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลของการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จะนำผ้าฝ้ายตัวอย่างที่จุ่มเคลือบ PSS เข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 30 นาทีมาแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที และทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายตัวอย่างที่เตรียมด้วยสภาวะข้างต้นพบว่าตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ใช้สภาวะในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นระยะเวลา 5 และ 10 นาที (ภาพที่ 4.6 (a) และ 6 (b)) มีการก่อตัวของอนุภาค Nano-ZnO ขนาดเล็กมากและยังคงมีปริมาณน้อยมากจึงสังเกตเห็นได้ยาก เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 15 นาที จะสามารถสังเกตเห็นอนุภาค Nano-ZnO ได้ชัดเจนขึ้น (ภาพที่ 4.6 (c)) ปริมาณของอนุภาค Nano-ZnO จะเพิ่มมากขึ้นและมีการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มอนุภาคในบางบริเวณเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 30, 60 และ 120 นาที (ภาพที่ 4.6 (d) – 4.6 (f))

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างข้างต้น พบว่าขึ้นผ้าตัวอย่างที่ทำการตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 5 นาที ปริมาณของ Zn ในตัวอย่างมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นระยะเวลา 10, 15, 30 และ 60 นาที จะพบปริมาณ Zn ที่มากขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จาก 60 เป็น 120 นาที พบว่าปริมาณ Zn ที่ตรวจวัดได้ของตัวอย่าง c-z120min มีค่าเพิ่มขึ้นจากตัวอย่าง c-z60min เพียงเล็กน้อย ถึงแม้จะเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ มากกว่าถึงสองเท่า จากผลดังกล่าวสันนิษฐานได้ว่าเมื่อนำผ้าฝ้ายที่เคลือบผิวด้วย PSS ไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ สายโซ่ PSS ด้านนอกที่อยู่ไกลจากพื้นผิวที่มีประจุบวกของผ้าฝ้าย จะเกิดการเหยียดตัวออก (Stretching) เนื่องจากการแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนสายโซ่ PSS กับประจุบวกในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จากพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ไอออนของ Zn^{2+} ซึ่งมีขนาดเล็กสามารถแทรกตัวเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับประจุลบบนสายโซ่ของ PSS ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ทำให้ไอออนของ Zn^{2+} สามารถแทรกตัวเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับประจุลบบนสายโซ่ของ PSS ได้มากขึ้น จึงเป็นผลให้ปริมาณอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้น (Dobrynina A. V. and Rubinstein M., 2005) ดังแสดงเป็นแผนภาพในภาพที่ 4.7 อย่างไรก็ตามปริมาณ Zn ที่ตรวจวิเคราะห์ได้มีค่าสูงและเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 60 นาที (c-z60min) ทั้งนี้สันนิษฐานว่าการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Zn^{2+} กับ PSS เข้าสู่สมดุลแล้ว และ/หรือ ไอออน Zn^{2+} เกิดอันตรกิริยากับประจุลบทั้งหมดบนสายโซ่ PSS แล้ว



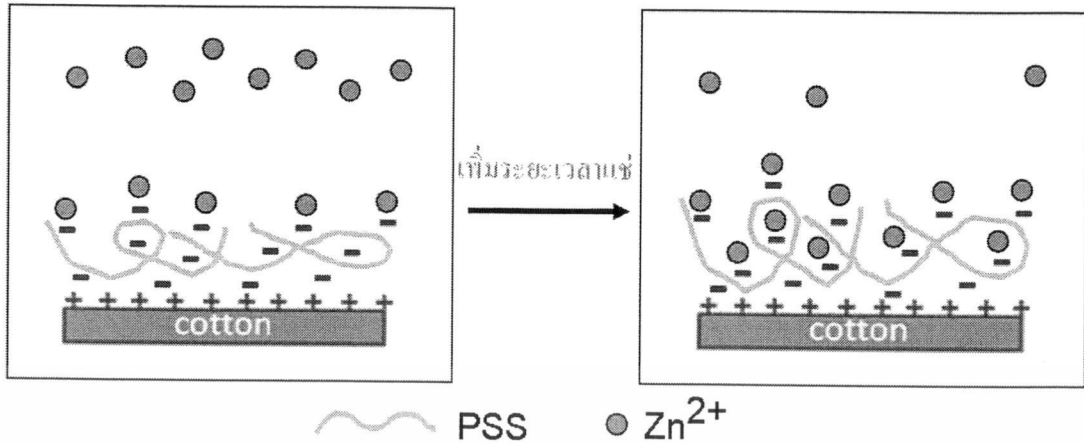
ภาพที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่แช่ด้วยสารละลาย Zn(NO₃)₂·6H₂O เป็นเวลา 5 นาที (a) 10 นาที (b) 15 นาที (c) 30 นาที (d) 60 นาที (e) และ 120 นาที (f)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย Zn(NO₃)₂·6H₂O ที่ใช้ระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน

ตัวอย่าง	สถานะที่ใช้						ปริมาณ Zn (ppm/g)
	PSS		Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		NH ₄ OH		
	[PSS] M	เวลาที่ใช้ (min)	[Zn ²⁺] M	เวลาที่ใช้ (min)	[NH ₄ OH] M	เวลาที่ใช้ (hr)	
c-z5min	0.1	30	0.5	5	0.5	24	12.41 ± 2.48
c-z10min				10			29.46 ± 2.85
c-z15min				15			58.90 ± 12.13
c-z30min				30			118.35 ± 9.32
c-z60min*				60			121.48 ± 9.09
c-z120min				120			122.28 ± 6.16

* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แผนภาพแสดงอันตรกิริยาของสายโซ่ PSS กับไอออน Zn^{2+} เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

จากผลการปรับเปลี่ยนสถานะในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายอย่างมากที่สุด ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ โดยจะเห็นได้จากการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอนุภาค Nano-ZnO อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น (0.01 – 0.1 M) และระยะเวลาในการแช่สารละลาย PSS (5, 10, 15, 30 และ 60 นาที) และความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (0.05 – 0.5 M) ไม่ค่อยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายมากนัก ผลดังกล่าวสันนิษฐานได้ว่าเนื่องจาก PSS เป็นพอลิเมอร์ซึ่งมีสายโซ่ยาวที่มีความเคอะและอาจเกิดการเกี่ยวพันกัน ทำให้ PSS เข้าไปยึดจับกับประจุบวกบนพื้นผิวผ้าฝ้ายได้อย่างจำกัด ทำให้การเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS ไม่ส่งผลอย่างชัดเจนต่อการเพิ่มปริมาณของอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผ้าฝ้าย

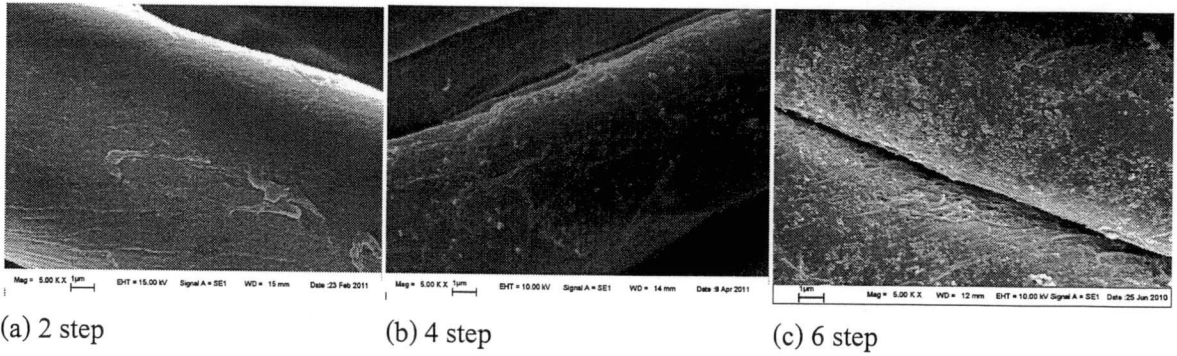
ทั้งนี้อนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นจะเกิดการยึดติดบนพื้นผิวเส้นใยได้ดี เนื่องจากพื้นผิวเส้นใยที่มีประจุบวกเนื่องจาก CHTAC จะถูกเคลือบด้วยชั้นฟิล์มบางของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ PSS ซึ่งมีประจุเป็นลบ ดังนั้นเมื่อนำผ้าฝ้ายไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ไอออนของ Zn^{2+} จึงเข้าไปเกาะบนชั้น PSS เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล จึงเกิดการก่อตัวของผลึก Nano-ZnO ขึ้นจากไอออนของ Zn^{2+} เป็นผลให้สามารถตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.5 ผลของการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์

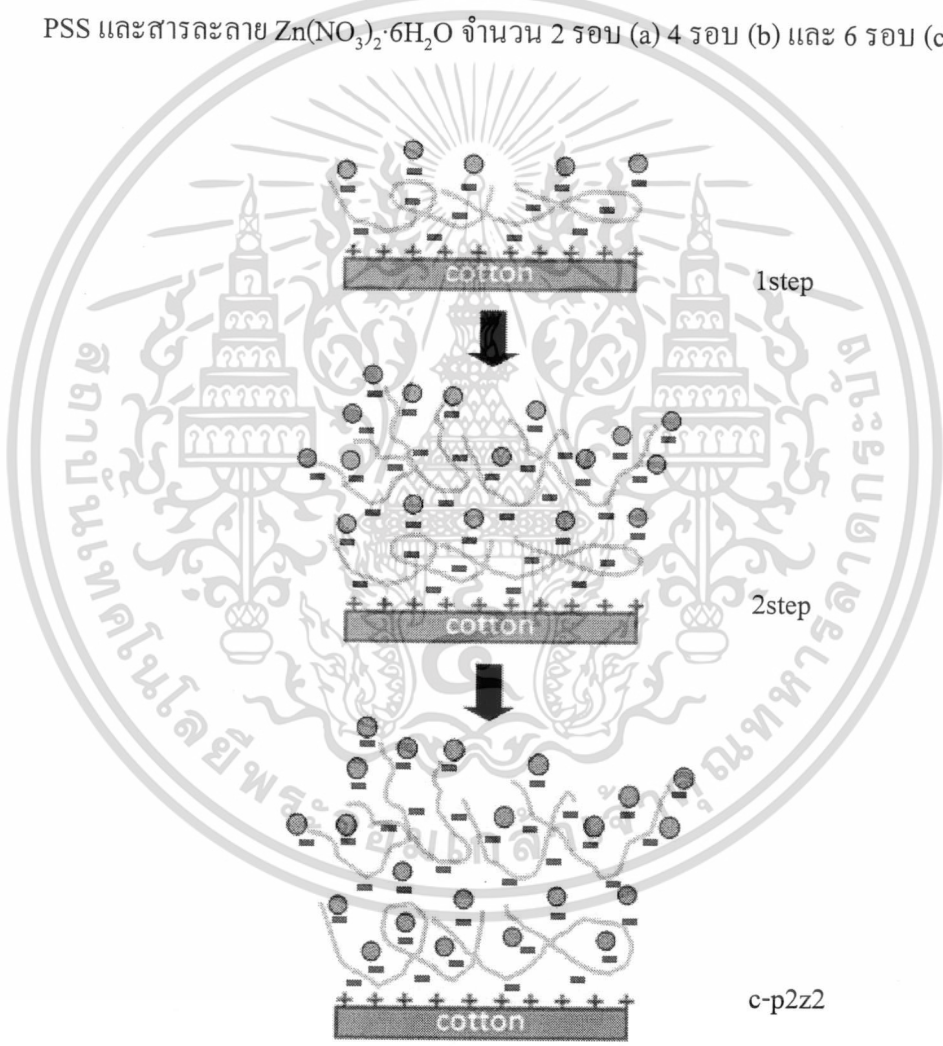
ในวิธีนี้นำผ้าฝ้ายที่ถูกทำให้มีประจุบวกมาจุ่มเคลือบสารละลาย PSS เข้มข้น 0.1 M เป็นระยะเวลา 5 นาที สลับกับแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 5 นาที ในลักษณะเลเยอร์บายเลเยอร์ (Lb1) โดยปรับจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 2, 4 และ 6 รอบซึ่งก่อให้เกิดชั้นเคลือบผิวหลายชั้นของ PSS/ Zn^{2+} (PSS/ Zn^{2+} multilayers) แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH เข้มข้น 0.5 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อนำผ้าฝ้ายตัวอย่างที่เตรียมด้วยเทคนิค Lb1 ไปตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วย SEM ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าชั้นผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ใช้สภาวะในการจุ่มเคลือบ PSS/ Zn^{2+} เป็นจำนวน 2 รอบ (c-p2z2) ยังคงมีปริมาณอนุภาค Nano-ZnO เกิดขึ้นน้อยและสังเกตเห็นได้ยาก แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเป็น 4 และ 6 รอบ จะพบผลึก ZnO ก่อตัว ปกคลุมบนพื้นผิวผ้าฝ้ายในปริมาณมาก สันนิษฐานว่าการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นจำนวน 2 รอบ ไอออนของ Zn^{2+} ยังเข้าไปจับกับประจุลบบนสายโซ่ PSS ได้ในปริมาณน้อย เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล จึงเกิด ZnO ในปริมาณน้อย แต่การจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นจำนวน 4 และ 6 รอบ จะเป็นผลให้มีปริมาณ PSS เคลือบอยู่บนพื้นผิวเส้นใยมากขึ้นและยังเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้ไอออนของ Zn^{2+} สามารถเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับประจุลบบนสายโซ่ PSS ได้มากขึ้น เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลจึงได้ ZnO เกิดขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งสันนิษฐานว่า ZnO ที่เกิดขึ้นด้านในชั้นเคลือบจะเกิดการก่อตัวขึ้นมาบนพื้นผิวเส้นใย ทำให้ได้ ZnO อยู่บนพื้นผิวในปริมาณที่มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิว ผ้าฝ้ายเมื่อทำการเคลือบผิวหลายชั้นดังแสดงในภาพที่ 4.9

ปริมาณ ZnO ที่เกิดขึ้นตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นจำนวน 2, 4 และ 6 รอบ ปริมาณ ZnO ที่ได้จะมีค่ามากขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของ PSS ร่วมกับการเพิ่มระยะเวลาในการแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 4.8 ลักษณะผิวของผ้าที่เตรียมด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจากผ้าฝ้ายที่จุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จำนวน 2 รอบ (a) 4 รอบ (b) และ 6 รอบ (c)



ภาพที่ 4.9 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายเมื่อทำการปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นเคลือบ

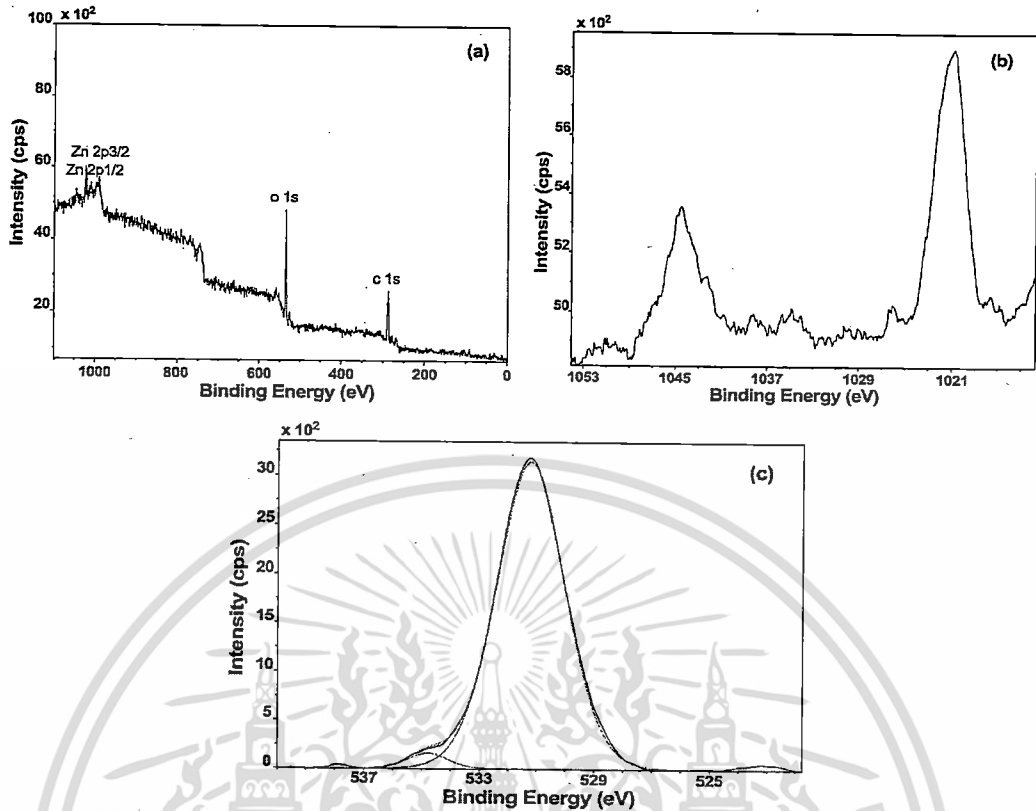
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณ Zn บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณ ZnO โดยวิธีการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์

ตัวอย่าง	สถานะที่ใช้							ปริมาณ Zn (ppm/g)
	PSS		Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		จำนวนรอบในการเคลือบ	NH ₄ OH		
	[PSS] M	เวลาที่ใช้ (min)	[Zn ²⁺] M	เวลาที่ใช้ (min)		[NH ₄ OH] M	เวลาที่ใช้ (hr)	
c-p2z2	0.1	5	0.1	5	2	0.1	24	57.33 ± 4.61
c-p4z4					4			222.54 ± 19.20
c-p6z6					6			727.35 ± 29.47

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาค Nano-ZnO ที่ตรึงบนผ้าฝ้าย

เมื่อนำตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเทคนิค Lbl จำนวน 6 รอบ (c-p6z6) ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์สถานะทางเคมี (Chemical state) ของอนุภาค Nano-ZnO ที่ตรึงบนผ้าฝ้ายได้ ภาพที่ 4.10 แสดง XPS สเปกตรัมของตัวอย่าง c-p6z6 จากการวิเคราะห์สเปกตรัมในภาพที่ 4.10 (a) และ 4.10 (b) พบว่าตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO จะมีพีกขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงานพันธะ (Binding energy, BE) ประมาณ 1021.3 และ 1044.4 eV ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Zn 2p_{3/2} และ Zn 2p_{1/2} ตามลำดับ จากภาพที่ 4.10 (c) ซึ่งเป็นสเปกตรัม XPS ความละเอียดสูงจะเห็นว่าพีกของ O1s มีลักษณะเป็นพีกกว้างที่ไม่สมมาตร เนื่องจากเกิดการซ้อนทับของสัญญาณ 2 ประเภท คือ สัญญาณของ O(-2) จาก ZnO เกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่า BE ประมาณ 531.7 eV ซึ่งพีกดังกล่าวเป็นพีกหลัก และสัญญาณของ O-H ซึ่งเป็นพีกขนาดเล็กที่ตำแหน่ง 534.8 eV พีก O-H ดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องมาจากบริเวณพื้นผิวของ ZnO มักจะถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็น Zn(OH)₂ ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผ้าฝ้ายคือผลึก ZnO (Ugur S. S., et al., 2007)



ภาพที่ 4.10 XPS สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO

4.4 การทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า UPF และระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายเริ่มต้น ผ้าที่ผ่านการทำให้มีประจุบวก ผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย PSS ผ้าที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ที่สถานะต่างๆ และผ้าตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณ ZnO ด้วยวิธีต่างๆ จากผลการวิเคราะห์พบว่าผ้าฝ้ายเริ่มต้นมีค่า UPF เท่ากับ 21 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดี แต่ชิ้นงานผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO จะมีค่า UPF ที่สูงกว่าผ้าฝ้ายเริ่มต้น คือมีค่าอยู่ในช่วง 25 – 32 ซึ่งจัดว่ามีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีในระดับดีมาก เนื่องจากสมบัติของผลึก Nano-ZnO ที่สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ ซึ่งผ้าตัวอย่างที่มีปริมาณผลึก Nano-ZnO บนพื้นผิวมากขึ้นจะทำให้มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีที่ดีขึ้น

โดยชิ้นผ้าตัวอย่างที่ทำการตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย PSS เป็น 0.01, 0.05 และ 0.1 M ปรับเปลี่ยนเวลาในการแช่สารละลาย PSS เป็น 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที และปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็น 0.05, 0.1 และ 0.5 M พบว่าการปรับเปลี่ยนสถานะดังกล่าวไม่ส่งผลต่อปริมาณ ZnO ที่ได้มากนัก ดังนั้นผ้าฝ้ายตัวอย่างดังกล่าวจึงมีค่า UPF เท่ากันคือ 31 ยกเว้นตัวอย่างที่ตรึงอนุภาค Nano-ZnO ที่ใช้สถานะในการแช่สารละลาย PSS เป็นเวลา 5 นาที มีค่า UPF เท่ากับ 30

อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า UPF มากที่สุดคือ การปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าที่เวลาแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที มีค่า UPF เท่ากับ 25 และ 27 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากผ้าฝ้ายเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากอนุภาค Nano-ZnO บนผ้าฝ้ายยังคงมีปริมาณที่ต่ำอยู่ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 15 และ 30 นาที พบว่าค่า UPF มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากปริมาณของ ZnO ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้สภาวะในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เพิ่มขึ้นไปอีกเป็น 60 และ 120 นาที พบว่าค่า UPF ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นจากตัวอย่างที่แช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เวลา 30 นาทีแล้ว เนื่องจากปริมาณ ZnO ที่ได้มีค่าเข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งผลของค่า UPF ที่ได้ทั้งหมดในตารางสอดคล้องกับผลของปริมาณ Zn ที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค AAS

สำหรับตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณ ZnO โดยการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์ ที่จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเป็น 2, 4 และ 6 รอบ พบว่าค่า UPF ของตัวอย่างที่ทำการจุ่มเคลือบสารตั้งต้นจำนวน 2 รอบ มีค่า UPF เท่ากับ 29 แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเป็น 4 และ 6 รอบ พบว่าค่า UPF สูงขึ้นเป็น 31 และ 32 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณ ZnO ที่เพิ่มขึ้น จากผลปริมาณ Zn และค่า UPF ของตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณ ZnO พบว่าแม้ปริมาณ Zn จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากแต่ก็ไม่ได้ทำให้ค่า UPF เพิ่มสูงขึ้นได้มาก ทั้งนี้สันนิษฐานว่าผ้าฝ้ายยังคงมีช่องว่างระหว่างเส้นด้ายที่เกิดจากการถักทอที่จะทำให้แสงทะลุผ่านขึ้นผ้าตัวอย่างไปได้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปริมาณ Zn (ppm/g)	UPF	ระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวี**
cotton	-	21	ดี
ผลของ [PSS]			
c-p0.01M	117.98	31	ดีมาก
c-p0.05M	120.74	31	ดีมาก
c-p0.1M*	121.48	31	ดีมาก
ผลของระยะเวลาจุ่มเคลือบ PSS			
c-p5min	103.40	30	ดีมาก
c-p10min	110.71	31	ดีมาก
c-p15min	117.46	31	ดีมาก
c-p30min*	121.48	31	ดีมาก
c-p60min	122.38	31	ดีมาก

เอกสาร* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน** จัดเกณฑ์ตามมาตรฐาน AS/NZ 4399 ค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาณ Zn (ppm/g)	UPF	ระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวี**
ผลของ $[Zn^{2+}]$			
c-z0.05M	116.19	31	ดีมาก
c-z0.1M	119.25	31	ดีมาก
c-z0.5M*	121.48	31	ดีมาก
ผลของระยะเวลาแช่ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$			
c-z5min	12.41	25	ดีมาก
c-z10min	29.46	27	ดีมาก
c-z15min	58.90	29	ดีมาก
c-z30min	118.35	31	ดีมาก
c-z60min*	121.48	31	ดีมาก
c-z120min	122.28	31	ดีมาก
การปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิค Lbl			
c-p2z2	57.33	29	ดีมาก
c-p4z4	222.54	31	ดีมาก
c-p6z6	727.35	32	ดีมาก

* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน** จัดเกณฑ์ตามมาตรฐาน AS/NZ 4399

4.5 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

นำผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ที่ทำการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ และตัวอย่างที่ทำการเพิ่มปริมาณ ZnO ด้วยวิธีการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ ที่จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ 6 รอบ มาทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียโดยนำชิ้นผ้าตัวอย่างไปแช่ในสารละลายเชื้อแบคทีเรีย จากนั้นนำสารละลายเชื้อภายหลังจากการนำผ้าตัวอย่างไปแช่ไปใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นตรวจนับเชื้อแบคทีเรียเปรียบเทียบกับชิ้นผ้าฝ้ายเริ่มต้น แล้วนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (Percentage reduction of bacteria, %R)

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าผ้าฝ้ายเริ่มต้นมีจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2.93×10^6 cfu/ml แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายตัวอย่างมีการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ไปทดสอบพบว่าจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงจากผ้าฝ้ายเริ่มต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผ้าฝ้ายที่ใช้สภาวะในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นเวลา 5 นาที มีค่า %R เท่ากับ 31.7 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณผลึก Nano-ZnO ยังมีปริมาณที่ต่ำ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็น 15 และ 30 นาที พบว่าค่า %R มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากปริมาณ ZnO ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้สภาวะในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เพิ่มขึ้นไปอีกเป็น 60 นาที พบว่าค่า %R ที่ได้ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่แช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เวลา 30 นาทีมากนัก เนื่องจากปริมาณ ZnO ที่ได้จากทั้ง 2 ตัวอย่างดังกล่าวมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

เมื่อนำผ้าฝ้ายตัวอย่าง c-z60min ซึ่งมีค่า %R เท่ากับ 69.3 มาทำการเพิ่มปริมาณ ZnO โดยวิธีการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ที่จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 6 รอบ พบว่าค่า %R ของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 83.3 เนื่องจากบนพื้นผิวผ้าตัวอย่างมีปริมาณ ZnO ที่มากกว่าตัวอย่างที่ทำการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จำนวน 1 รอบ ที่มีปริมาณ ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายมากที่สุด (c-z60min) ประมาณ 6 เท่า ซึ่งผลของค่า %R ที่ได้ในตารางสอดคล้องกับผลของปริมาณ Zn ที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค AAS โดยความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของ ZnO เกิดเมื่อนุภาค Nano-ZnO สัมผัสที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้ระบบการหายใจของแบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้ปกติ ทำให้แบคทีเรียเกิดภาวะ Oxidative stress ซึ่งคือภาวะที่มีอนุมูลอิสระจำนวนมากจากสาเหตุดังกล่าว ทำให้แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและตายไปในที่สุด (Xie Y., *et al.*, 2011)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรีย พบว่าผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ใช้สภาวะในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO เพียงรอบเดียว จะไม่สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ดีเท่าที่ควร ต้องมีการเพิ่มปริมาณ ZnO เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปริมาณ Zn (ppm/g)	สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	
		จำนวนโคโลนี ที่เกิดขึ้น ($\times 10^6$ cfu/ml)	% Reduction of bacteria (%R)
cotton	-	2.93	0.0
c-z5min	12.41	2.00	31.7
c-z15min	58.90	1.41	51.9
c-z30min	118.35	0.94	67.9
c-z60min*	121.48	0.90	69.3
c-p6z6	727.35	0.49	83.3

* c-p0.1M, c-p30min, c-z0.5M, c-z60min คือตัวอย่างเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ความทนทานต่อการซักล้าง

การยึดติดของผ้าฝ้ายกับอนุภาค ZnO ซึ่งเป็นอนุภาคอนินทรีย์มีการยึดติดที่ไม่ดีนัก เมื่อนำไปใช้งานและผ่านการซักล้างอาจทำให้เกิดการหลุดร่อนของอนุภาค ZnO ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ PSS ซึ่งเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบ มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของอนุภาค ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้าย เมื่อเรานำผ้าฝ้ายที่มีประจุบวกไปเคลือบด้วย PSS จะทำให้พื้นผิวผ้าฝ้ายมีประจุลบ เมื่อนำผ้าฝ้ายไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ไอออนของ Zn^{2+} จะเข้าไปเกาะบนชั้น PSS เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล จึงเกิดการก่อตัวของผลึก Nano-ZnO ขึ้นจากไอออนของ Zn^{2+} เป็นผลให้สามารถตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความสามารถในการยึดติดของอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้าย สามารถวิเคราะห์ได้โดยนำผ้าฝ้ายตัวอย่าง c-z60min มาทำการซักและตากให้แห้งเป็นจำนวน 3, 5, 10 และ 15 รอบแล้วนำมาทดสอบความสามารถในการต้านทานแบคทีเรีย โดยคำนวณเป็นค่า %R ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการซัก 3 รอบจะทำให้ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียลดลง 6.2 % และการเพิ่มจำนวนรอบในการซัก จะทำให้ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียลดลง โดยการซัก 15 รอบจะทำให้ความสามารถในการต้านทานแบคทีเรียลดลงไปเพียง 11 % และลดลงโดยลดลงไปจากการซัก 3 รอบเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าอนุภาค Nano-ZnO โดยส่วนใหญ่เกิดการยึดติดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายได้ค่อนข้างดี โดยการซัก 3 ครั้งแรก ปริมาณ ZnO ที่ไม่เกิดการยึดติดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายเป็นอย่างดีจะหลุดออกไป แต่ภายหลังจากการซักล้าง 3 รอบ ZnO ที่เหลืออยู่บนพื้นผิวผ้าฝ้ายโดยส่วนใหญ่จะเป็น ZnO ที่เกิดการยึดติดที่ค่อนข้างดี ทำให้การความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียลดลงอีกเพียงเล็กน้อย แม้ผ่านการซักเพิ่มขึ้นอีกถึง 12 รอบ

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง

ตัวอย่าง	ทดสอบซักล้าง (รอบ)	ปริมาณ Zn (ppm/g)	สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	
			จำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น ($\times 10^6$ cfu/ml)	% Reduction of bacteria (%R)
wash 0 time	0	121.48	0.90	69.3
wash 3 times	3	113.70	1.08	63.1
wash 5 times	5	107.81	1.15	60.8
wash 10 times	10	105.72	1.18	59.7
wash 15 times	15	103.33	1.22	58.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- การปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์โดยใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดพอลิอิเล็กโทรไลต์ (PSS) จะทำให้พื้นผิวผ้าฝ้ายมีเป็นประจุลบ เมื่อนำไปแช่ในสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ก่อให้เกิดการอันตรกิริยาระหว่างไอออนของ Zn^{2+} กับประจุลบบนพื้นผิวผ้าฝ้าย เมื่อนำผ้าฝ้ายดังกล่าวไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH จะเกิดเป็นอนุภาค Nano-ZnO ตรึงอยู่บนพื้นผิวผ้าฝ้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- การปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย PSS ระยะเวลาในการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และความเข้มข้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ที่ใช้ในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายอย่างชัดเจน

- สภาวะที่ใช้ในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่สารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ จะเป็นผลให้ปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่ตรึงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงพื้นผิวโดยการจุ่มเคลือบสารละลาย 0.1 M PSS เป็นเวลา 60 นาที แช่สารละลาย 0.5 M $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NH_4OH (c-p60min) จะก่อให้เกิดปริมาณ Nano-ZnO ที่ตรึงบนพื้นผิวผ้าฝ้ายมากที่สุด คือ 122.38 ppm/g

- การปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยวิธีการปรับเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบในเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์เป็นอีกวิธีที่สามารถเพิ่มปริมาณ ZnO บนผ้าฝ้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการสร้างชั้นเคลือบของ PSS/ Zn^{2+} บนพื้นผิวผ้าฝ้าย จะทำให้ได้ปริมาณ ZnO มากขึ้น โดยการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 6 รอบ สามารถเพิ่มปริมาณอนุภาค ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายได้เป็น 727.35 ppm/g ซึ่งมากกว่าตัวอย่างที่ทำการจุ่มเคลือบสารละลาย PSS และสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ เป็นจำนวน 1 รอบ ที่มีปริมาณ Zn บนพื้นผิวมากที่สุด (c-p60min) ประมาณ 6 เท่า เนื่องจากการเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบจะทำให้มีปริมาณ PSS ที่เคลือบบนผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้น จึงมีจำนวนประจุลบที่สามารถการยึดจับกับไอออน Zn^{2+} มากขึ้น เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลจึงได้อนุภาค ZnO จำนวนมากอยู่บนพื้นผิวผ้าฝ้าย

- การเพิ่มปริมาณ ZnO ที่ตรึงบนผ้าฝ้ายตัวอย่างจะเป็นผลให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติการต้านทานรังสียูวี และสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีขึ้น ภายหลังจากทดสอบความทนทานต่อการซักล้างจนถึง 15 รอบ พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์ยังคงความสามารถใน

การต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PSS มีประสิทธิภาพที่ดีในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวผ้าฝ้าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของ ผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO เช่น สมบัติการหน่วงไฟ สมบัติการต้านทานไฟฟ้าสถิต เป็นต้น
- ทำการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ลงบนผ้าจากเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น ๆ เช่น ผ้าไหม ผ้าลินิน ผ้าป่าน เป็นต้น
- พัฒนาระบบการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนชิ้นผ้าด้วยพอลิอิเล็กโทรไลต์ คู่กระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

AATCC Test Method 183-2004: Transmittance or Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation through Fabrics developed in 1998 by AATCC Committee RA106

Abdel-Halim E.S., Abdel-Mohdy F.A., Al-Deyab S.S. and El-Newehy M.H., **Chitosan and monochlorotriazinyl- β -cyclodextrin finishes improve antistatic properties of cotton/polyester blend and polyester fabrics**, Carbohydrate Polymers 82 (2010) 202–208.

ASTM E2149-01 Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions (Withdrawn 2010)

Australian/New Zealand Standard 4399:1996 Sun protective clothing - Evaluation and classification.

Baruah S. and Dutta J., **Hydrothermal growth of ZnO nanostructures**, Science and Technology of Advanced Materials 10 (2009) 013001.

Bae G.Y., Min B.G., Jeong Y.G., Lee S.C., Jang J.H. and Koo G.H., **Superhydrophobicity of cotton fabrics treated with silica nanoparticles and water-repellent agent**, Journal of Colloid and Interface Science 337 (2009) 170–175.

Dautzenberg H., Jaeger W., Kotz J., Philipp B., Seidel Ch. and Stscherbina D., **Polyelectrolytes: Formation, Characterization and Application**, Hanser Publishers, New York, 1994.

Dobrynina A. V. and Rubinstein M., **Theory of polyelectrolytes in solutions and at surfaces**, Progress in Polymer Science 30 (2005) 1049–1118.

Fahmy H.M., Abo-Shosha M.H. and Ibrahim N.A., **Finishing of cotton fabrics with poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) to improve their performance and antibacterial properties**, Carbohydrate Polymers 77 (2009) 845–850.

Hara M., **Polyelectrolytes : Science and Technology**, Marcel Dekker, New York, 1993.

Hyde K., Dong H. and Hinestroza J.P., **Effect of surface cationization on the conformal deposition of polyelectrolytes over cotton fibers**, Cellulose 14 (2007) 615–623.

Ilic V., Šaponjic Z., Vodnik V., Potkonjak B., Jovancic P., Nedeljkovic J. and Radetic M., **The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles**, Carbohydrate Polymers 78 (2009) 564–569.

Josep M.L., **Introductory textile science**, Holt Rinehart and Winston, New York, 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Limsavarn L., Sritaveesinsub V. and Dubas S.T., **Polyelectrolyte assisted silver nanoparticles synthesis and thin film formation**, *Materials Letters* 61 (2007) 3048–3051.

Polsongram D., Chamninok P., Pukird S., Chow L., Lupan O., Chai G., Khallaf H., Park S. and Schulte A., **Effect of synthesis conditions on the growth of ZnO nanorods via hydrothermal method**, *Physica B* 403 (2008) 3713–3717.

Reed J.S., **Introduction to the Principles of Ceramic Processing**, John Wiley&Sons, New York, 1988.

Rembaum A. and Selegny E., **Polyelectrolytes and Their Applications**, D. Reidel Publishing, Boston, 1975.

Shi X., Shen M. and Mohwald H., **Polyelectrolyte multilayer nanoreactors toward the synthesis of diverse nanostructured materials**, *Progress in Polymer Science* 29 (2004) 987–1019.

Sivakumar P.M., Balaji S., Prabhawathi V., Neelakandan R., Manoharan P.T. and Doble M., **Effective antibacterial adhesive coating on cotton fabric using ZnO nanorods and chalcone**, *Carbohydrate Polymers* 79 (2010) 717–723.

Ugur S. S., Sarınsık M., Aktas A. H., Ucar M. C. and Erden E., **Modifying of Cotton Fabric Surface with Nano-ZnO Multilayer Films by Layer-by-Layer Deposition Method**, *Nanoscale Research Letters* 5 (2010) 1204–1210

Wakelyn P.J., Bertoniere N.R., French A., Zeronian H., and Pearce E. M., **Handbook of Fiber Chemistry 2nd ed.**, Marcel Dekker, New York, 1998.

Wang Q. and Hauser P.J., **New characterization of layer-by-layer self-assembly deposition of polyelectrolytes on cotton fabric**, *Cellulose* 16 (2009) 1123–1131.

Wang Z.L., “ **Zinc oxide nanostructures: growth, properties and Applications** ”, *Journal of Physics : Condensed Matter* 16 (2004) R829–R858.

Wu D., Long M., Zhou J., Cai W., Zhu X., Chen C. and Wu Y., **Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics modified by TiO₂ through a facile approach**, *Surface & Coatings Technology* 203 (2009) 3728–3733.

Xie Y., He Y., Irwin P. L., Jin T. and Shi X., **Antibacterial Activity and Mechanism of Action of Zinc Oxide Nanoparticles against Campylobacter jejuni**, *Applied and Environmental Microbiology* 77 (2011) 2325 - 2331

Yu J., Li C. and Liu S., **Effect of PSS on morphology and optical properties of ZnO**, *Journal of Colloid and Interface Science* 326 (2008) 433–438.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF)

จากสูตร

$$UPF = \frac{\sum_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta\lambda}{\sum_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times \Delta\lambda}$$

โดย E = relative erythemal spectral effectiveness
 S = solar spectral irradiance ($\text{Wm}^{-2} \text{nm}^{-1}$)
 T = ค่าการทะลุผ่านเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้จากชิ้นผ้าตัวอย่าง
 $\Delta\lambda$ = ช่วงความยาวคลื่นที่ทำการตรวจวัด (nm)

ตัวอย่างการคำนวณ

cotton ;

$$UPF = \frac{((1.00e+00 \times 4.12e-11 \times 2) + (1.00e+00 \times 2.37e-11 \times 2) + (1.00e+00 \times 3.14e-11 \times 2) + \dots + (1.22e-04 \times 1.01e-04 \times 2))}{((1.00e+00 \times 4.12e-11 \times 0.0487 \times 2) + (1.00e+00 \times 2.37e-11 \times 0.0487 \times 2) + (1.00e+00 \times 3.14e-11 \times 0.0487 \times 2) + \dots + (1.22e-04 \times 1.01e-04 \times 0.0480 \times 2))}$$

= 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าคงที่ relative erythmal spectral effectiveness (E_λ) ในการคำนวณค่า UPF

nm	response	nm	response	nm	response
280	1.00E+00	320	8.55E-03	360	4.84E-04
282	1.00E+00	322	5.55E-03	362	4.52E-04
284	1.00E+00	324	3.60E-03	364	4.22E-04
286	1.00E+00	326	2.33E-03	366	3.94E-04
288	1.00E+00	328	1.51E-03	368	3.67E-04
290	1.00E+00	330	1.36E-03	370	3.43E-04
292	1.00E+00	332	1.27E-03	372	3.20E-04
294	1.00E+00	334	1.19E-03	374	2.99E-04
296	1.00E+00	336	1.11E-03	376	2.79E-04
298	1.00E+00	338	1.04E-03	378	2.60E-04
300	6.49E-01	340	9.66E-04	380	2.43E-04
302	4.21E-01	342	9.02E-04	382	2.26E-04
304	2.73E-01	344	8.41E-04	384	2.11E-04
306	1.77E-01	346	7.85E-04	386	1.97E-04
308	1.15E-01	348	7.33E-04	388	1.84E-04
310	7.45E-02	350	6.84E-04	390	1.72E-04
312	4.83E-02	352	6.38E-04	392	1.60E-04
314	3.13E-02	354	5.96E-04	394	1.50E-04
316	2.03E-02	356	5.56E-04	396	1.40E-04
318	1.32E-02	358	5.19E-04	398	1.30E-04
				400	1.22E-04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าคงที่ solar spectral irradiance (S_λ) ในการคำนวณค่า UPF

λ (nm)	S_λ (w/cm ² /nm)	λ (nm)	S_λ (w/cm ² /nm)	λ (nm)	S_λ (w/cm ² /nm)
280	4.12E-11	320	3.14E-05	360	5.64E-05
282	2.37E-11	322	3.32E-05	362	6.00E-05
284	3.14E-11	324	3.61E-05	364	6.48E-05
286	4.06E-11	326	4.45E-05	366	7.18E-05
288	6.47E-11	328	5.01E-05	368	7.62E-05
290	3.09E-10	330	5.32E-05	370	7.66E-05
292	2.85E-09	332	5.33E-05	372	7.50E-05
294	2.92E-08	334	5.23E-05	374	6.61E-05
296	1.28E-07	336	5.04E-05	376	6.66E-05
298	3.37E-07	338	4.99E-05	378	7.46E-05
300	8.64E-07	340	5.39E-05	380	7.54E-05
302	2.36E-06	342	5.59E-05	382	6.42E-05
304	4.35E-06	344	5.35E-05	384	5.85E-05
306	7.19E-06	346	5.34E-05	386	6.26E-05
308	9.68E-06	348	5.37E-05	388	6.72E-05
310	1.34E-05	350	5.59E-05	390	7.57E-05
312	1.75E-05	352	5.89E-05	392	7.16E-05
314	2.13E-05	354	6.13E-05	394	6.55E-05
316	2.43E-05	356	6.06E-05	396	6.81E-05
318	2.79E-05	358	5.38E-05	398	8.01E-05
				400	1.01E-04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3-1 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength nm	cotton				cat-cot				cat-cot-pss			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	4.90	4.80	4.90	4.87	4.96	4.41	4.78	4.72	4.90	5.1	4.80	4.93
282	4.90	4.80	4.90	4.87	4.96	4.41	4.76	4.71	5.00	5.1	4.80	4.97
284	4.90	4.80	4.90	4.87	4.96	4.41	4.78	4.72	5.00	5.2	4.80	5.00
286	4.90	4.80	4.90	4.87	4.96	4.42	4.77	4.72	5.00	5.2	4.80	5.00
288	4.90	4.80	4.90	4.87	4.96	4.41	4.77	4.71	5.00	5.2	4.80	5.00
290	4.90	4.80	4.90	4.87	4.95	4.40	4.77	4.71	5.00	5.2	4.80	5.00
292	4.90	4.80	4.90	4.87	4.95	4.41	4.78	4.72	5.00	5.3	4.80	5.03
294	4.80	4.80	4.90	4.83	4.95	4.42	4.76	4.71	5.10	5.3	4.80	5.07
296	5.00	4.80	4.90	4.90	4.96	4.42	4.76	4.71	4.50	4.7	4.80	4.67
298	4.90	4.80	4.90	4.87	4.97	4.42	4.78	4.72	4.50	4.7	4.80	4.67
300	4.90	4.80	4.90	4.87	4.96	4.43	4.78	4.72	4.50	4.6	4.80	4.63
302	5.00	4.80	4.90	4.90	4.97	4.44	4.78	4.73	4.50	4.6	4.80	4.63
304	5.00	4.80	4.90	4.90	4.97	4.44	4.80	4.73	4.50	4.7	4.80	4.67
306	4.90	4.90	4.90	4.90	4.97	4.43	4.78	4.73	4.50	4.7	4.80	4.67
308	4.90	4.80	4.90	4.87	4.98	4.44	4.78	4.74	4.50	4.7	4.80	4.67
310	4.90	4.80	4.90	4.87	4.98	4.44	4.79	4.74	4.50	4.7	4.80	4.67
312	4.90	4.80	4.90	4.87	4.97	4.44	4.80	4.73	4.50	4.7	4.80	4.67
314	4.90	4.80	4.90	4.87	4.98	4.44	4.80	4.74	4.50	4.8	4.80	4.70
316	4.90	4.80	4.90	4.87	4.97	4.45	4.79	4.73	4.60	4.8	4.80	4.73
318	4.90	4.80	4.90	4.87	4.97	4.45	4.79	4.74	4.50	4.8	4.80	4.70
320	5.00	4.90	4.90	4.93	4.97	4.44	4.78	4.73	4.50	4.8	4.80	4.70
322	4.90	4.80	4.90	4.87	4.98	4.45	4.80	4.74	4.60	4.8	4.80	4.73
324	4.90	4.80	4.90	4.87	4.99	4.46	4.80	4.75	4.60	4.8	4.80	4.73
326	5.00	4.80	4.90	4.90	4.98	4.45	4.81	4.75	4.60	4.8	4.80	4.73
328	4.90	4.80	4.90	4.87	5.00	4.49	4.84	4.77	4.60	4.8	4.80	4.73
330	4.90	4.80	4.90	4.87	4.91	4.58	4.86	4.78	4.60	4.9	4.80	4.77
332	4.90	4.80	4.90	4.87	4.90	4.59	4.83	4.77	4.60	4.9	4.90	4.80
334	4.90	4.80	4.90	4.87	4.89	4.59	4.84	4.77	4.70	4.9	4.90	4.83
336	5.00	4.80	4.90	4.90	4.81	4.58	4.88	4.75	4.60	4.9	4.90	4.80
338	5.00	4.80	4.90	4.90	4.80	4.60	4.90	4.77	4.70	5	4.90	4.87
340	5.00	4.90	5.00	4.97	4.82	4.60	4.90	4.77	4.80	5	4.90	4.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength	cotton				cat-cot				cat-cot-pss			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
342	5.00	4.80	4.90	4.90	4.81	4.60	4.91	4.77	4.70	5	4.90	4.87
344	5.00	4.80	5.00	4.93	4.81	4.60	4.87	4.76	4.70	5	4.90	4.87
346	4.90	4.80	4.90	4.87	4.81	4.61	4.90	4.77	4.80	5	4.90	4.90
348	5.00	4.90	4.90	4.93	4.79	4.59	4.87	4.75	4.70	5	4.90	4.87
350	4.90	4.90	4.90	4.90	4.80	4.60	4.87	4.76	4.80	5	4.90	4.90
352	5.00	4.80	4.90	4.90	4.79	4.60	4.86	4.75	4.80	5.1	5.00	4.97
354	4.80	4.70	4.90	4.80	4.78	4.59	4.87	4.74	4.60	4.7	4.80	4.70
356	4.80	4.80	4.90	4.83	4.80	4.59	4.85	4.75	4.60	4.7	4.90	4.73
358	4.80	4.80	4.90	4.83	4.80	4.59	4.87	4.75	4.60	4.7	4.90	4.73
360	4.80	4.80	4.90	4.83	4.79	4.60	4.85	4.75	4.60	4.7	4.90	4.73
362	4.80	4.80	4.90	4.83	4.80	4.60	4.87	4.76	4.60	4.7	4.90	4.73
364	4.80	4.80	4.90	4.83	4.78	4.59	4.87	4.75	4.60	4.7	4.90	4.73
366	4.80	4.70	4.90	4.80	4.78	4.61	4.87	4.75	5.00	5	4.90	4.97
368	4.80	4.80	4.90	4.83	4.77	4.58	4.86	4.74	5.00	5.1	5.00	5.03
370	4.80	4.80	4.90	4.83	4.77	4.58	4.84	4.73	5.00	5.1	4.90	5.00
372	4.80	4.70	4.90	4.80	4.76	4.58	4.84	4.73	5.00	5.1	4.90	5.00
374	4.80	4.70	4.80	4.77	4.74	4.57	4.84	4.72	5.00	5.1	4.90	5.00
376	4.80	4.70	4.90	4.80	4.76	4.58	4.85	4.73	5.00	5.1	4.90	5.00
378	4.70	4.70	4.80	4.73	4.74	4.57	4.85	4.72	5.00	5.1	4.90	5.00
380	4.80	4.70	4.80	4.77	4.75	4.58	4.85	4.72	5.00	5	4.90	4.97
382	4.70	4.70	4.80	4.73	4.75	4.58	4.85	4.72	5.00	5.1	4.90	5.00
384	4.70	4.70	4.80	4.73	4.75	4.57	4.83	4.72	5.00	5.1	4.90	5.00
386	4.70	4.70	4.80	4.73	4.76	4.58	4.85	4.73	5.00	5.1	4.90	5.00
388	4.70	4.70	4.80	4.73	4.76	4.58	4.85	4.73	4.90	5.1	4.90	4.97
390	4.70	4.70	4.80	4.73	4.75	4.58	4.84	4.73	5.00	5	4.90	4.97
392	4.80	4.70	4.80	4.77	4.75	4.57	4.82	4.71	5.00	5.1	4.90	5.00
394	4.70	4.70	4.80	4.73	4.76	4.58	4.83	4.72	4.90	5.1	4.90	4.97
396	4.70	4.70	4.80	4.73	4.76	4.58	4.84	4.73	4.90	5.1	4.90	4.97
398	4.70	4.70	4.80	4.73	4.75	4.58	4.83	4.72	5.00	5	4.90	4.97
400	4.80	4.80	4.80	4.80	4.75	4.58	4.83	4.72	4.50	4.8	4.80	4.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3-2 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength nm	c-p0.01M				c-p0.05M				c-p0.1M*			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	3.50	3.00	3.00	3.17	3.30	3.00	3.00	3.10	3.30	3.00	3.30	3.20
282	3.50	3.00	3.10	3.20	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
284	3.50	3.00	3.10	3.20	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
286	3.50	3.00	3.10	3.20	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
288	3.50	3.00	3.10	3.20	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
290	3.40	3.00	3.10	3.17	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
292	3.50	3.00	3.10	3.20	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
294	3.50	3.00	3.10	3.20	3.30	3.10	3.00	3.13	3.30	3.00	3.30	3.20
296	3.50	3.00	3.20	3.23	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.00	3.40	3.27
298	3.50	3.00	3.20	3.23	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.00	3.40	3.27
300	3.50	3.00	3.20	3.23	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.00	3.40	3.27
302	3.40	3.10	3.20	3.23	3.40	3.20	3.10	3.23	3.40	3.10	3.40	3.30
304	3.50	3.00	3.20	3.23	3.30	3.20	3.00	3.17	3.30	3.00	3.30	3.20
306	3.50	3.00	3.20	3.23	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.00	3.40	3.27
308	3.50	3.10	3.30	3.30	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
310	3.50	3.00	3.20	3.23	3.30	3.20	3.00	3.17	3.30	3.00	3.30	3.20
312	3.50	3.00	3.30	3.27	3.30	3.30	3.00	3.20	3.30	3.00	3.30	3.20
314	3.50	3.00	3.30	3.27	3.40	3.30	3.00	3.23	3.40	3.00	3.40	3.27
316	3.50	3.00	3.20	3.23	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.00	3.40	3.27
318	3.50	3.10	3.30	3.30	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
320	3.50	3.10	3.30	3.30	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
322	3.50	3.00	3.30	3.27	3.40	3.30	3.00	3.23	3.40	3.00	3.40	3.27
324	3.50	3.00	3.30	3.27	3.40	3.30	3.00	3.23	3.40	3.00	3.40	3.27
326	3.50	3.10	3.30	3.30	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
328	3.50	3.10	3.30	3.30	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
330	3.50	3.10	3.30	3.30	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
332	3.50	3.00	3.30	3.27	3.40	3.30	3.00	3.23	3.40	3.00	3.40	3.27
334	3.50	3.10	3.30	3.30	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
336	3.50	3.10	3.40	3.33	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30
338	3.40	3.10	3.40	3.30	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30
340	3.50	3.10	3.40	3.33	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength nm	c-p0.01M				c-p0.05M				c-p0.1M*			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
342	3.50	3.10	3.40	3.33	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30
344	3.50	3.10	3.40	3.33	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30
346	3.50	3.00	3.40	3.30	3.40	3.40	3.00	3.27	3.40	3.00	3.40	3.27
348	3.50	3.10	3.40	3.33	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30
350	3.40	3.10	3.40	3.30	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30
352	3.60	3.00	3.40	3.33	3.40	3.40	3.00	3.27	3.40	3.00	3.40	3.27
354	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17	3.10	3.10	3.10	3.10
356	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17	3.10	3.10	3.10	3.10
358	3.40	3.10	3.40	3.30	3.10	3.40	3.10	3.20	3.10	3.10	3.10	3.10
360	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17	3.10	3.10	3.10	3.10
362	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17	3.10	3.10	3.10	3.10
364	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17	3.10	3.10	3.10	3.10
366	3.50	3.10	3.30	3.30	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
368	3.50	3.10	3.30	3.30	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
370	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
372	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
374	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
376	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
378	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
380	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
382	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
384	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
386	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
388	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
390	3.40	3.00	3.20	3.20	3.30	3.20	3.00	3.17	3.30	3.00	3.30	3.20
392	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
394	3.40	3.10	3.20	3.23	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.10	3.20	3.17
396	3.40	3.10	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.17
398	3.40	3.10	3.20	3.23	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.10	3.20	3.17
400	3.30	3.10	3.30	3.23	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3-3 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength nm	c-p5min				c-p10min				c-p15min			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
282	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
284	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
286	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
288	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
290	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
292	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.20	3.00	3.13	3.40	3.30	3.00	3.23
294	3.30	3.20	3.30	3.27	3.20	3.20	3.00	3.13	3.30	3.30	3.00	3.20
296	3.50	3.30	3.40	3.40	3.30	3.30	3.00	3.20	3.50	3.40	3.00	3.30
298	3.50	3.30	3.40	3.40	3.30	3.30	3.00	3.20	3.50	3.40	3.00	3.30
300	3.50	3.30	3.40	3.40	3.30	3.30	3.00	3.20	3.50	3.40	3.00	3.30
302	3.50	3.30	3.40	3.40	3.30	3.30	3.10	3.23	3.50	3.40	3.10	3.33
304	3.50	3.30	3.30	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.50	3.30	3.00	3.27
306	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.40	3.40	3.00	3.27
308	3.50	3.20	3.40	3.37	3.30	3.20	3.10	3.20	3.50	3.40	3.10	3.33
310	3.50	3.30	3.30	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.50	3.30	3.00	3.27
312	3.50	3.30	3.30	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.50	3.30	3.00	3.27
314	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.40	3.40	3.00	3.27
316	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.40	3.40	3.00	3.27
318	3.50	3.30	3.30	3.37	3.30	3.30	3.10	3.23	3.50	3.30	3.10	3.30
320	3.40	3.20	3.40	3.33	3.30	3.20	3.10	3.20	3.40	3.40	3.10	3.30
322	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.40	3.40	3.00	3.27
324	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.40	3.40	3.00	3.27
326	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.10	3.23	3.40	3.40	3.10	3.30
328	3.50	3.30	3.40	3.40	3.40	3.30	3.10	3.27	3.50	3.40	3.10	3.33
330	3.40	3.20	3.40	3.33	3.40	3.20	3.10	3.23	3.40	3.40	3.10	3.30
332	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.00	3.20	3.40	3.40	3.00	3.27
334	3.40	3.30	3.40	3.37	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.40	3.10	3.30
336	3.40	3.30	3.40	3.37	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.40	3.10	3.30
338	3.50	3.30	3.40	3.40	3.40	3.30	3.10	3.27	3.50	3.40	3.10	3.33
340	3.50	3.30	3.40	3.40	3.40	3.30	3.10	3.27	3.50	3.40	3.10	3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength	c-p5min				c-p10min				c-p15min			
nm	%T			avg	%T			avg	%T			avg
342	3.50	3.30	3.40	3.40	3.30	3.30	3.10	3.23	3.50	3.40	3.10	3.33
344	3.50	3.30	3.40	3.40	3.40	3.30	3.10	3.27	3.50	3.40	3.10	3.33
346	3.50	3.30	3.40	3.40	3.40	3.30	3.00	3.23	3.50	3.40	3.00	3.30
348	3.40	3.30	3.40	3.37	3.30	3.30	3.10	3.23	3.40	3.40	3.10	3.30
350	3.40	3.30	3.40	3.37	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.40	3.10	3.30
352	3.50	3.40	3.40	3.43	3.40	3.40	3.00	3.27	3.50	3.40	3.00	3.30
354	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.10	3.10	3.17
356	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.10	3.10	3.17
358	3.30	3.10	3.10	3.17	3.30	3.10	3.10	3.17	3.30	3.10	3.10	3.17
360	3.30	3.10	3.10	3.17	3.30	3.10	3.10	3.17	3.30	3.10	3.10	3.17
362	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.10	3.10	3.17
364	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.10	3.10	3.17
366	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.30	3.10	3.23
368	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.30	3.10	3.23
370	3.30	3.30	3.30	3.30	3.20	3.30	3.10	3.20	3.30	3.30	3.10	3.23
372	3.20	3.20	3.30	3.23	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.30	3.10	3.20
374	3.20	3.30	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.30	3.10	3.20
376	3.20	3.30	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.30	3.10	3.20
378	3.20	3.30	3.30	3.27	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.30	3.10	3.20
380	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
382	3.20	3.30	3.20	3.23	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17
384	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
386	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
388	3.20	3.30	3.20	3.23	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17
390	3.20	3.20	3.30	3.23	3.20	3.20	3.00	3.13	3.20	3.30	3.00	3.17
392	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
394	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
396	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
398	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.10	3.17	3.20	3.20	3.10	3.17
400	3.30	3.20	3.30	3.27	3.20	3.20	3.10	3.17	3.30	3.30	3.10	3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3-4 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength	c-p60min				c-z0.05M				c-z0.1M			
nm	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	3.50	2.90	3.00	3.13	3.40	3.00	3.10	3.17	3.20	3.00	3.20	3.13
282	3.50	2.90	3.00	3.13	3.40	3.00	3.10	3.17	3.20	3.00	3.20	3.13
284	3.50	2.90	3.00	3.13	3.30	3.00	3.10	3.13	3.20	3.00	3.20	3.13
286	3.50	2.90	3.00	3.13	3.30	3.00	3.10	3.13	3.20	3.00	3.20	3.13
288	3.50	2.90	3.00	3.13	3.30	3.10	3.10	3.17	3.20	3.00	3.20	3.13
290	3.50	2.90	3.00	3.13	3.40	3.00	3.10	3.17	3.20	3.00	3.20	3.13
292	3.50	2.90	3.00	3.13	3.40	3.00	3.10	3.17	3.20	3.00	3.20	3.13
294	3.50	2.90	3.00	3.13	3.30	3.00	3.10	3.13	3.30	3.00	3.20	3.17
296	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.00	3.20	3.20	3.30	3.10	3.30	3.23
298	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.10	3.20	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
300	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.10	3.20	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
302	3.50	3.00	3.10	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
304	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.00	3.20	3.20	3.30	3.10	3.30	3.23
306	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.10	3.20	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
308	3.50	3.00	3.10	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
310	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.10	3.20	3.23	3.40	3.10	3.30	3.27
312	3.50	3.00	3.00	3.17	3.40	3.10	3.20	3.23	3.40	3.10	3.30	3.27
314	3.60	3.00	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23
316	3.60	3.00	3.00	3.20	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23
318	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27
320	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.10	3.20	3.23	3.40	3.10	3.30	3.27
322	3.50	3.10	3.00	3.20	3.50	3.10	3.20	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30
324	3.50	3.10	3.00	3.20	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27
326	3.50	3.00	3.10	3.20	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27
328	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
330	3.50	3.10	3.10	3.23	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
332	3.60	3.10	3.00	3.23	3.40	3.20	3.30	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30
334	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.50	3.20	3.40	3.37
336	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.10	3.40	3.30	3.40	3.20	3.40	3.33
338	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.10	3.40	3.30
340	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.10	3.40	3.30	3.40	3.20	3.40	3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength nm	c-p60min				c-z0.05M				c-z0.1M			
	%T			avg	%T			%T	avg			%T
342	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.50	3.20	3.30	3.33
344	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.40	3.20	3.40	3.33
346	3.60	3.10	3.00	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33	3.40	3.20	3.40	3.33
348	3.70	3.10	3.10	3.30	3.50	3.20	3.40	3.37	3.40	3.20	3.30	3.30
350	3.70	3.10	3.10	3.30	3.50	3.20	3.40	3.37	3.50	3.10	3.40	3.33
352	3.70	3.10	3.00	3.27	3.50	3.20	3.40	3.37	3.50	3.10	3.40	3.33
354	3.60	3.10	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.40	3.20	3.30	3.30
356	3.70	3.10	3.10	3.30	3.30	3.10	3.30	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33
358	3.60	3.10	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.40	3.20	3.30	3.30
360	3.70	3.10	3.10	3.30	3.30	3.10	3.30	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33
362	3.60	3.10	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33
364	3.60	3.10	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33
366	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30
368	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.30	3.10	3.30	3.23
370	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.20	3.20	3.23
372	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.20	3.20	3.27	3.40	3.10	3.20	3.23
374	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20
376	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.40	3.10	3.20	3.23
378	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
380	3.70	3.00	3.10	3.27	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
382	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
384	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
386	3.70	3.10	3.10	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20
388	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.20	3.20	3.23
390	3.60	3.10	3.00	3.23	3.40	3.20	3.30	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20
392	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.20	3.20	3.23
394	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
396	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.20	3.20	3.23
398	3.60	3.00	3.10	3.23	3.40	3.20	3.20	3.27	3.30	3.20	3.20	3.23
400	3.60	3.10	3.10	3.27	3.40	3.20	3.20	3.27	3.40	3.20	3.20	3.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3-5 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength nm	c-z5min				c-z10min				c-z15min			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	3.60	3.90	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.63	3.40	3.40	3.60	3.47
282	3.60	3.90	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.63	3.40	3.40	3.60	3.47
284	3.60	3.90	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.63	3.40	3.30	3.60	3.43
286	3.50	3.80	3.60	3.63	3.60	3.70	3.60	3.63	3.40	3.30	3.50	3.40
288	3.60	3.80	3.50	3.63	3.60	3.70	3.50	3.60	3.40	3.30	3.60	3.43
290	3.60	3.80	3.50	3.63	3.60	3.70	3.50	3.60	3.40	3.30	3.60	3.43
292	3.50	3.80	3.50	3.60	3.60	3.70	3.50	3.60	3.40	3.30	3.50	3.40
294	3.50	3.80	3.50	3.60	3.60	3.70	3.50	3.60	3.40	3.30	3.50	3.40
296	3.50	3.90	3.70	3.70	3.60	3.80	3.70	3.70	3.40	3.50	3.50	3.47
298	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
300	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
302	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
304	3.50	3.80	3.60	3.63	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
306	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
308	3.50	3.80	3.60	3.63	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
310	3.50	3.80	3.60	3.63	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
312	3.50	3.80	3.60	3.63	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
314	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
316	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
318	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
320	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
322	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
324	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.50	3.47
326	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
328	3.50	3.90	3.60	3.67	3.70	3.80	3.60	3.70	3.50	3.40	3.50	3.47
330	3.50	3.80	3.60	3.63	3.60	3.90	3.60	3.70	3.40	3.40	3.50	3.43
332	3.60	3.90	3.60	3.70	3.60	3.80	3.60	3.67	3.50	3.40	3.60	3.50
334	3.60	3.90	3.60	3.70	3.60	3.90	3.60	3.70	3.50	3.40	3.60	3.50
336	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.90	3.60	3.70	3.50	3.50	3.50	3.50
338	3.50	3.90	3.60	3.67	3.70	3.80	3.60	3.70	3.40	3.40	3.50	3.43
340	3.50	3.90	3.60	3.67	3.70	3.90	3.60	3.73	3.50	3.40	3.50	3.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength nm	c-z5min				c-z10min				c-z15min			
	%T			avg	%T			%T	avg			%T
342	3.50	3.80	3.60	3.63	3.70	3.80	3.60	3.70	3.40	3.50	3.50	3.47
344	3.50	3.90	3.60	3.67	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.50	3.43
346	3.60	3.90	3.60	3.70	3.60	3.80	3.60	3.67	3.40	3.40	3.60	3.47
348	3.50	3.90	3.70	3.70	3.60	3.80	3.70	3.70	3.50	3.50	3.50	3.50
350	3.50	3.90	3.70	3.70	3.70	3.80	3.70	3.73	3.40	3.50	3.50	3.47
352	3.60	3.80	3.70	3.70	3.70	3.90	3.70	3.77	3.50	3.50	3.60	3.53
354	3.40	3.80	3.50	3.57	3.50	3.70	3.50	3.57	3.40	3.30	3.40	3.37
356	3.40	3.80	3.60	3.60	3.50	3.70	3.60	3.60	3.40	3.30	3.40	3.37
358	3.40	3.80	3.50	3.57	3.60	3.70	3.50	3.60	3.50	3.40	3.40	3.43
360	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50	3.70	3.50	3.57	3.50	3.40	3.50	3.47
362	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50	3.70	3.50	3.57	3.50	3.30	3.50	3.43
364	3.50	3.80	3.50	3.60	3.50	3.70	3.50	3.57	3.50	3.30	3.50	3.43
366	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.70	3.50	3.63	3.50	3.40	3.60	3.50
368	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.60	3.50	3.60	3.50	3.40	3.60	3.50
370	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.70	3.50	3.63	3.50	3.40	3.60	3.50
372	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.70	3.50	3.63	3.50	3.40	3.60	3.50
374	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.60	3.50	3.60	3.50	3.40	3.60	3.50
376	3.50	3.80	3.50	3.60	3.60	3.60	3.50	3.57	3.50	3.40	3.50	3.47
378	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.60	3.50	3.60	3.50	3.40	3.60	3.50
380	3.50	3.80	3.50	3.60	3.60	3.60	3.50	3.57	3.50	3.30	3.50	3.43
382	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.60	3.50	3.60	3.40	3.30	3.60	3.43
384	3.60	3.80	3.50	3.63	3.60	3.60	3.50	3.57	3.50	3.30	3.60	3.47
386	3.60	3.80	3.50	3.63	3.60	3.60	3.50	3.57	3.50	3.40	3.60	3.50
388	3.60	3.80	3.50	3.63	3.70	3.70	3.50	3.63	3.40	3.40	3.60	3.47
390	3.60	3.80	3.50	3.63	3.60	3.60	3.50	3.57	3.50	3.30	3.60	3.47
392	3.60	3.80	3.40	3.60	3.60	3.60	3.40	3.53	3.40	3.40	3.60	3.47
394	3.50	3.80	3.50	3.60	3.60	3.60	3.50	3.57	3.50	3.30	3.50	3.43
396	3.60	3.80	3.40	3.60	3.60	3.60	3.40	3.53	3.40	3.30	3.60	3.43
398	3.60	3.80	3.40	3.60	3.60	3.60	3.40	3.53	3.40	3.30	3.60	3.43
400	3.50	3.80	3.40	3.57	3.60	3.70	3.40	3.57	3.50	3.30	3.50	3.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3-6 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength	c-z30min				c-z120min				c-growthZnO			
nm	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	3.40	3.10	2.90	3.13	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
282	3.40	3.10	2.90	3.13	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
284	3.30	3.10	2.90	3.10	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
286	3.30	3.10	2.90	3.10	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
288	3.30	3.10	2.90	3.10	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
290	3.30	3.10	2.90	3.10	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
292	3.30	3.10	2.90	3.10	3.20	3.00	3.10	3.10	3.00	3.10	3.00	3.03
294	3.30	3.10	2.90	3.10	3.30	3.00	3.10	3.13	3.00	3.10	3.00	3.03
296	3.50	3.20	3.00	3.23	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
298	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
300	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
302	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
304	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
306	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
308	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
310	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.00	3.20	3.10	3.10
312	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.00	3.20	3.10	3.10
314	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.10	3.13
316	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.00	3.20	3.10	3.10
318	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.00	3.20	3.10	3.10
320	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.00	3.20	3.10	3.10
322	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20	3.17
324	3.40	3.20	3.10	3.23	3.40	3.10	3.20	3.23	3.10	3.20	3.10	3.13
326	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.00	3.20	3.10	3.10
328	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.10	3.20	3.10	3.13
330	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.20	3.10	3.13
332	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20	3.17
334	3.40	3.30	3.10	3.27	3.50	3.20	3.30	3.33	3.10	3.30	3.20	3.20
336	3.50	3.30	3.00	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.30	3.20	3.20
338	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17
340	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20	3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength nm	c-z30min				c-z120min				c-growthZnO			
	%T			avg	%T			%T	avg			%T
342	3.50	3.30	3.10	3.30	3.50	3.20	3.30	3.33	3.10	3.30	3.20	3.20
344	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.30	3.20	3.20
346	3.40	3.40	3.10	3.30	3.40	3.20	3.40	3.33	3.10	3.30	3.20	3.20
348	3.50	3.30	3.10	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.30	3.20	3.20
350	3.50	3.40	3.10	3.33	3.50	3.10	3.40	3.33	3.20	3.30	3.10	3.20
352	3.50	3.40	3.10	3.33	3.50	3.10	3.40	3.33	3.10	3.30	3.10	3.17
354	3.30	3.20	3.10	3.20	3.40	3.20	3.20	3.27	3.10	3.20	3.20	3.17
356	3.30	3.20	3.10	3.20	3.50	3.20	3.20	3.30	3.10	3.30	3.20	3.20
358	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.30	3.20	3.23
360	3.40	3.30	3.10	3.27	3.50	3.20	3.30	3.33	3.20	3.30	3.20	3.23
362	3.30	3.30	3.10	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33	3.20	3.30	3.20	3.23
364	3.30	3.30	3.10	3.23	3.50	3.20	3.30	3.33	3.10	3.30	3.20	3.20
366	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.20	3.30	3.30	3.20	3.30	3.20	3.23
368	3.40	3.30	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.10	3.30	3.10	3.17
370	3.40	3.30	3.10	3.27	3.30	3.20	3.30	3.27	3.10	3.30	3.20	3.20
372	3.40	3.30	3.10	3.27	3.40	3.10	3.30	3.27	3.10	3.30	3.10	3.17
374	3.40	3.30	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.10	3.30	3.10	3.17
376	3.40	3.20	3.00	3.20	3.40	3.10	3.20	3.23	3.10	3.30	3.10	3.17
378	3.40	3.30	3.00	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23	3.10	3.20	3.10	3.13
380	3.30	3.30	3.00	3.20	3.30	3.10	3.30	3.23	3.10	3.20	3.10	3.13
382	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.30	3.10	3.17
384	3.30	3.20	3.00	3.17	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.10	3.13
386	3.40	3.30	3.10	3.27	3.30	3.10	3.30	3.23	3.10	3.20	3.10	3.13
388	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.20	3.20	3.23	3.10	3.30	3.20	3.20
390	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.30	3.23	3.10	3.30	3.10	3.17
392	3.40	3.20	3.00	3.20	3.30	3.20	3.20	3.23	3.10	3.30	3.20	3.20
394	3.30	3.20	3.10	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.30	3.10	3.17
396	3.30	3.20	3.00	3.17	3.30	3.20	3.20	3.23	3.10	3.20	3.20	3.17
398	3.30	3.20	3.00	3.17	3.30	3.20	3.20	3.23	3.10	3.20	3.20	3.17
400	3.30	3.30	3.10	3.23	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.30	3.20	3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ตารางที่ ก.3-7 ค่า %T ของตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี

wavelength nm	c-p2z2				c-p4z4				c-p6z6			
	%T			avg	%T			avg	%T			avg
280	3.60	3.60	3.50	3.57	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
282	3.60	3.60	3.50	3.57	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
284	3.60	3.60	3.50	3.57	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
286	3.50	3.50	3.50	3.50	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
288	3.60	3.60	3.50	3.57	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
290	3.60	3.60	3.40	3.53	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
292	3.50	3.50	3.50	3.50	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
294	3.50	3.50	3.50	3.50	3.10	3.30	3.00	3.13	3.10	2.90	3.00	3.00
296	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
298	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
300	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
302	3.50	3.50	3.40	3.47	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
304	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
306	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
308	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
310	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
312	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
314	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
316	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
318	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
320	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
322	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.20	3.27	3.20	2.90	3.20	3.10
324	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
326	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	2.90	3.10	3.07
328	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
330	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.40	3.10	3.23	3.20	3.00	3.10	3.10
332	3.60	3.60	3.50	3.57	3.20	3.40	3.20	3.27	3.20	3.00	3.20	3.13
334	3.60	3.60	3.50	3.57	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.00	3.20	3.17
336	3.50	3.50	3.50	3.50	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.00	3.20	3.17
338	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.40	3.10	3.27	3.30	3.00	3.10	3.13
340	3.50	3.50	3.50	3.50	3.20	3.50	3.20	3.30	3.20	3.00	3.20	3.13

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wavelength	c-p2z2				c-p4z4				c-p6z6			
	%T			avg	%T			%T	avg			%T
nm												
342	3.50	3.50	3.50	3.50	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.00	3.20	3.17
344	3.50	3.50	3.50	3.50	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.00	3.20	3.17
346	3.60	3.60	3.50	3.57	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.00	3.20	3.17
348	3.50	3.50	3.50	3.50	3.30	3.50	3.20	3.33	3.30	3.00	3.20	3.17
350	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.50	3.10	3.30	3.30	3.00	3.10	3.13
352	3.60	3.60	3.60	3.60	3.30	3.50	3.10	3.30	3.30	3.10	3.10	3.17
354	3.40	3.40	3.40	3.40	3.20	3.30	3.20	3.23	3.20	3.10	3.20	3.17
356	3.40	3.40	3.40	3.40	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
358	3.40	3.40	3.40	3.40	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
360	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
362	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
364	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
366	3.60	3.60	3.50	3.57	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
368	3.60	3.60	3.50	3.57	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.10	3.17
370	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
372	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.10	3.17
374	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.10	3.17
376	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.10	3.10	3.17
378	3.60	3.60	3.40	3.53	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.10	3.13
380	3.50	3.50	3.40	3.47	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.10	3.13
382	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.00	3.10	3.13
384	3.60	3.60	3.40	3.53	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.10	3.13
386	3.60	3.60	3.40	3.53	3.20	3.30	3.10	3.20	3.20	3.10	3.10	3.13
388	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
390	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.00	3.10	3.13
392	3.60	3.60	3.40	3.53	3.30	3.30	3.20	3.27	3.30	3.10	3.20	3.20
394	3.50	3.50	3.40	3.47	3.30	3.30	3.10	3.23	3.30	3.00	3.10	3.13
396	3.60	3.60	3.40	3.53	3.20	3.30	3.20	3.23	3.20	3.10	3.20	3.17
398	3.60	3.60	3.40	3.53	3.20	3.30	3.20	3.23	3.20	3.00	3.20	3.13
400	3.50	3.50	3.30	3.43	3.30	3.40	3.20	3.30	3.30	3.10	3.20	3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข การคำนวณค่า %R และค่าจำนวนโคโตนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายตัวอย่าง
ที่ตรวจนับได้ จากการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย

จากสูตร
$$\% R = \frac{A-B}{A} \times 100$$

โดย R คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%)

A คือ จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายก่อนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ตรวจนับได้ (cfu/ml)

B คือ จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ตรวจนับได้ (cfu/ml)

ตัวอย่างการคำนวณ

c-z5min ;
$$\begin{aligned} \% R &= \frac{(2.93 - 2.00)}{2.93} \times 100 \\ &= 31.7 \% \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.1 จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ตรวจนับได้ (cfu/ml)

ตัวอย่าง	จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย (cfu/ml)		
	ครั้งที่ 1 ($\times 10^6$)	ครั้งที่ 2 ($\times 10^6$)	เฉลี่ย ($\times 10^6$)
Cotton	2.87	2.98	2.93
c-z5min	2.02	1.97	2.00
c-z15min	1.43	1.38	1.41
c-z30min	0.91	0.96	0.94
c-z60min*	0.93	0.87	0.90
c-p6zp	0.46	0.52	0.49
wash 3 times	1.06	1.10	1.08
wash 5 times	1.13	1.17	1.15
wash 10 times	1.20	1.15	1.17
wash 15 times	1.26	1.18	1.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวปทุมมา ศิริพันธ์โนน
 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Punnama Siriphannon
 ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8
 หน่วยงาน สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
 ถนนฉลองกรุง กรุงเทพฯ 10520
 โทร 02-329-8400 ต่อ 344 โทรสาร 02-329-8428
 e-mail: kspunnam@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2533-2537	วท.บ.	เคมีอุตสาหกรรม (เกียรตินิยม)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	ไทย
2537-2539	M.Eng.	Inorganic Materials	Tokyo Institute of Technology	ญี่ปุ่น
2540-2543	D.Eng.	Inorganic Materials	Tokyo Institute of Technology	ญี่ปุ่น

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษและหัวข้อวิจัย

- Biomedical materials :- Synthesis, characterization, modification and testing of ceramic-polymer hybrid composites for medical applications
- Nanomaterials :- Synthesis, characterization, modification and testing of nanoporous materials and self-assembly nanocoating for special applications
- Environmental friendly natural adhesives and coatings

ทุนการศึกษาที่เคยได้รับ

- 2533-2535 ทุนการศึกษาจากบริษัท ICI ประเทศไทย จำกัด
- 2537-2539 ทุนการศึกษาระดับปริญญาโทจากรัฐบาลญี่ปุ่น (Monbusho)
- 2540-2541 ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Association of International Education Japan (AIEJ)
- 2541-2543 ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Tokio Marine Kagami Memorial Foundation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รางวัลที่เคยได้รับ

- 2543 รางวัล Young research award ที่ได้รับจากการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมระดับนานาชาติ “The 4th International Workshop on Design and Soft Solution-Processing for Advanced Inorganic Materials ” จัดขึ้นที่เมืองโยโกฮาม่า ประเทศญี่ปุ่น ระหว่าง 28 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2543

ประวัติการทำงาน

- 2537-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2547-ปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2544-ปัจจุบัน หัวหน้าห้องปฏิบัติการ X-ray diffractometer และ X-ray fluorescence spectroscopy ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2548-2552 รองหัวหน้าศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1. Siriphannon, P., Hayashi, S., Yasumori, A., and Okada, K., Preparation and sintering of CaSiO_3 from coprecipitated powder using NaOH as precipitant and its apatite formation in simulated body fluid solution, *J. Mater. Res.* 1999; 14: 529-536.
2. Siriphannon, P., Kameshima, Y., Yasumori, A., Okada, K., and Hayashi, S., Influence of preparation conditions on the microstructure and bioactivity of α - CaSiO_3 ceramics: Formation of hydroxyapatite in simulated body fluid, *J. Biomed. Mater. Res.* 2000; 52: 30-39.
3. Siriphannon, P., Kameshima, Y., Yasumori, A., Okada, K., and Hayashi, S., Comparative study on formation of hydroxyapatite in simulated body fluid under static and flowing systems, *J. Biomed. Mater. Res.* 2002; 60: 175-185.
4. Siriphannon, P., Kameshima, Y., Yasumori, A., Okada, K., and Hayashi, S., Formation of hydroxyapatite on CaSiO_3 powders in simulated body fluid, *J. Euro. Ceram. Soc.* 2002; 22: 511-520.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Okada, K., **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., Hayashi, S., Hydroxyapatite Formation on CaSiO₃ Ceramics in Protein Containing System, *Key Eng. Mat.(Proceeding of 7th European Ceramic Society)* 2002; 206-213: 1551-1554.
6. Okada, K., **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Hayashi, S., Hydroxyapatite Formation on CaSiO₃ Ceramics in Simulated Body Fluid, *Trans. Mater. Res. Soc. Japan*, 2004, 29, 891–2896.
7. **Siriphannon, P.**, Monvisade, P., Jinawath, S., Hemachandra, K., Preparation and Characterization of Hydroxyapatite/Poly(ethylene glutarate) Biomaterials, *J. Biomed. Mater.Res. A*, 2007;81A:381-391.
8. Monvisade, P., **Siriphannon, P.**, Jermungnern R., Rattanabodee S. Preparation of hydroxyapatite/poly(methyl methacrylate) and calcium silicate/poly(methyl methacrylate) interpenetrating hybrid composites. *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, 2007; 18: 1955-1959.
9. **Siriphannon P.**, Monvisade P., Poly(ethylene terephthalate)/hydroxyapatite biomaterials: Preparation, characterization and *in vitro* bioactivity. *J.Mater.Sci.Mater.Med.*; 2007; 18: 1955–1959.
10. **Siriphannon P.**, Monvisade P., Preparation and Characterization of Hydroxyapatite/Poly(ethylene adipate) Hybrid Composites. *J. Biomat. Sci-Polym. E.*; 2008; 19(7) :925-936.
11. Monvisade P., **Siriphannon P.**, Chitosan Intercalated Montmorillonite: Preparation, Characterization and Basic Dye Adsorption. *Appl.Clay.Sci.*; 2009; 42(3-4): 427-431.
12. Monvisade P., **Siriphannon P.**, Tapcharoen, W., Effect of Ring-opening Polymerization Condition on Characteristic and Mechanical Properties of Hydroxyapatite/Poly(ethylene glutarate) Biomaterials. *J.Biomed.Mater.Res.Part A*; 2009; 90A(3): 656-663.
13. Sirapanichart S., Khouchaf L., **Siriphannon P.**, Monvisade P., Louarn G., Elouadi B., Chemical and Dielectric Study of PMMA/Montmorionite Nano-Composite Films, *Ferroelectrics*; 2010; 402(1): 47-54.
14. Pannasri, P., **Siriphannon, P.**, Monvisade, P., Nookaew, J., Hydrothermal growth of ZnO nanostructures from nano-ZnO seeded in P(MMA-co-BA) matrix. *J.Polym.Res.*; DOI 10.1007/s10965-011-9638-y.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Sirapanichart, S., Monvisade, P., **Siriphannon, P.**, Nookaew, J., Poly(methyl methacrylate-co-butyl acrylate)/organophosphate-modified montmorillonite composites. *Iran.Polym.J.*; 2011; 20(10), 803 – 811.
16. Iamphaojeen, Y., **Siriphannon, P.**, Immobilization of zinc oxide nanoparticles on cotton fabrics using poly 4-styrenesulfonic acid polyelectrolyte. *Inter.J.Mater.Res.*; 2012; 103(5), 643 – 647.
17. **Siriphannon, P.**, Monvisade, P., *In situ* ring-opening polymerization of hydroxyapatite/poly(ethylene adipate)-co-(ethylene terephthalate) biomimetic composites. *Bull.Mater.Sci.*; accepted.
18. Kaemkit, C., Monvisade, P., **Siriphannon, P.**, Nukeaw, J., Water-soluble chitosan intercalated montmorillonite nanocomposites for removal of basic blue 66 and basic yellow 1 from aqueous solution. *J. Appl. Polym. Sci.*; accepted.

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

1. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน, เขาวเรศ มะลิมาศ และ ปิยวิทย์ รัตนากุทีนนท์, ผลของค่า pH และเวลาในการเลี้ยงตะกอนต่อการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตด้วยวิธีตกตะกอนร่วม, *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง* 2546; 12,1: 17-26.
2. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน, ภูมิรัช ไชยเสน และ ศิริรักษา อมรชัยเลิศรัตน์, การสังเคราะห์แคลเซียมดีดานेटด้วยวิธีทางเคมี, *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 2546; 31: 38-45.
3. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน, ภัทธวรุช มนต์วิเศษ และ สุภาณี ชนะวงศ์, การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบไฮดรอกซีเอปาทิตกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต, *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง* 2546; 12, 2: 36-45.
4. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน, ยุพเรศ แก้วพินิก และ ศิริพร บำรุงพันธ์, การสังเคราะห์แคลเซียมซิติเกตด้วยโซล-เจลสำหรับงานทางการแพทย์, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์* 2546; 11, 2: 1-10.
5. ยูวันดา เอี่ยมเผ่าจีน และ ปุณณมา ศิริพันธ์โนน, การปลูกผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดและสมบัติการป้องกันรังสียูวี, *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 2554; 39(3): 459-465.

ผลงานในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Okada, K., Formation of bonelike apatite on CaSiO_3 ceramics, *Proceeding of 1st JSPS International Workshop on Design and Soft Solution-Processing for Advanced Inorganic Materials* (Yokohama, Japan), August 20-21, 1998, pp.46-49.
2. **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Okada, K., Apatite formation on CaSiO_3 ceramics in simulated body fluid, *Proceeding of 11th fall meeting of the ceramic society of Japan* (Nagoya, Japan), October 1-3, 1998, pp.456.
3. **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Okada, K., Dependence of apatite formation on microstructure of CaSiO_3 , *Proceeding of annual meeting of the ceramic society of Japan* (Tokyo, Japan), March 25-27, 1999, pp.157.
4. **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., Okada, K., and Hayashi, S., Influence of grain size of calcium silicate ceramics on hydroxyapatite precipitation in SBF solution, in *Bioceramics12*, edited by H. Ohgushi, G.W. Hastings, and T. Yoshikawa (Nara, Japan), October 8-11, 1999, pp.145-148.
5. **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Okada, K., Apatite formation on CaSiO_3 Ceramics in simulated body fluid under flowing condition, *Proceeding of 4th JSPS International Workshop on Design and Soft Solution-Processing for Advanced Inorganic Materials* (Yokohama, Japan), February 28 – March 1, 2000, pp.50.
6. **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Okada, K., Apatite formation on CaSiO_3 powders in SBF solution, *Proceeding of annual meeting of the ceramic society of Japan* (Sendai, Japan), March 21-23, 2000, pp.156.
7. Okada, K., **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Hayashi, S., Hydroxyapatite Formation on CaSiO_3 Ceramics in Protein Containing System, *Key Eng. Mat. (Proceeding of 7th European Ceramic Society)* 2002, 206-213: 1551-1554.
8. Iimori, Y., **Siriphannon, P.**, Kameshima, Y., Yasumori, A., and Hayashi, S., Effect of Preparation Conditions of CaO-SiO_2 Ceramics on its Bioactivity, *International Symposium of Bio-Integrated Materials and Tissue Engineering* (Tokyo, Japan), March 7-8, 2002, 82-83.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Monvisade, P., **Siriphannon, P.**, and Chanawong, S., Synthesis of hydroxyapatite/ poly(ethylene adipate) composites by *in situ* ring-opening polymerization, *The 8th Pacific Polymer Proceedings* (Bangkok, Thailand), November 24-27, 2003, 115-116.
10. Monvisade P., and **Siriphannon, P.**, Chitosan intercalated montmorillonite adsorbent for dye containing wastewater treatment. The Sixth Princess Chulabhorn International Science Congress, *The interface of chemistry and biology in the "Omics" era: Environment & Health, and Drug Discovery* (Bangkok, Thailand), November 25-29 2007.
11. **Siriphannon P.**, Monvisade P., Hybrid ceramic-polymer biomaterials. *The French-Thai Workshop on "Advanced Materials and Technology"*, (Krabi, Thailand), March 23-27, 2008.
12. **Siriphannon P.**, Monvisade P., Biomimetic ceramic-polymer composites for medical applications. *AUN/SEED Net 1st Regional Workshop on Natural Resources and Materials for Sustainable Development of ASEAN*, (Phnom Penh, Kingdom of Cambodia), August 18-19, 2008.
13. Monvisade P., **Siriphannon P.**, Adsorption of dye onto chitosan intercalated montmorillonite. *The IUMRS International Conference in Asia 2008*, (Nagoya, Japan), December 9-13, 2008.
14. **Siriphannon P.**, Trisak S., Limraungthum P., Aluminium-Pillared Montmorillonite Adsorbent for Dye Containing Wastewater Treatment. *The 7th International Symposium on Advanced Materials in Asia-Pacific 2010*, (Kanazawa, Japan), September 30 – October 1, 2010.
15. **Siriphannon P.**, Monvisade P., Nanoporous adsorbent from chitosan interacted montmorillonite for dye-containing wastewater treatment. *The International Conference for Nanomaterials Synthesis and Characterization 2011*, (Selangor, Malaysia), July 4 – 5, 2011.
16. Tepmatee P., and **Siriphannon P.**, Development of nanoporous aluminium-pillared montmorillonite adsorbents for dye containing wastewater treatment. *Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2012)*, (Chiang Mai, Thailand), January 11-13, 2012.

ผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ

1. อมรรัตน์ สวัสดิมงคล, ภัทราวุธ มนต์วิเศษ, **ปุลณมา สิริพันธ์โนน** และ ชลลดา ฤตวิรุฬห์, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิเมอร์ร่วมพอลิเมทิลเมทาคริเลตพอลิอะคริลิกแอซิดกับไคโตซาน-มอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยวิธีพอลิเมอร์ไรซ์ขณะขึ้นรูป, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ ครั้งที่ 17 (โรงแรมดิเอ็มเพรส อ.เมือง จังหวัดเชียงใหม่), 29 – 30 ตุลาคม 2550.
2. อภิขญา เจียนประเสริฐ, **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**, สุภารัตน์ รักชลธิ์ และชลลดา ฤตวิรุฬห์, ผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของวัสดุประกอบนาโน LDPE/MMT, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ ครั้งที่ 17 (โรงแรมดิเอ็มเพรส อ.เมือง จังหวัดเชียงใหม่), 29 – 30 ตุลาคม 2550.
3. ระพี เจริญสูงเนิน, **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ์, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิ (สไตรีน - บิวทาไดอีน - สไตรีน) กับมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรโครงสร้างด้วยการหล่อแบบสารละลาย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ ครั้งที่ 17 (โรงแรมดิเอ็มเพรส อ.เมือง จังหวัดเชียงใหม่), 29 – 30 ตุลาคม 2550.
4. ณัชชา ปานกุล, ภัทราวุธ มนต์วิเศษ, และ**ปุลณมา สิริพันธ์โนน**, การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวอะคริเลตพอลิยูรีเทนด้วยน้ำมันลินสีด, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 (ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ), 31 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2551.
5. สานิตย์ สิริระปาณชาติ, สุรลักษณ์ มรรคศศิธร, สุวิชา บัวเขียว, **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**, และภัทราวุธ มนต์วิเศษ, การเตรียมวัสดุประกอบนาโนพอลิเมทิลเมทาคริเลต/มอนต์มอริลโลไนต์, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 (ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ), 31 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2551.
6. ยูวันดา เอี่ยมเผ่าจีน และ **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**, Growth of nano-ZnO seeds immobilized on cotton fabrics using poly 4-styrenesulfonic acid, การประชุมเชิงวิชาการ“ศรินครินทรวิโรฒวิชาการ” ครั้งที่ 5 (มหาวิทยาลัยศรินครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ), 17 – 18 มีนาคม 2554.

บทความวิชาการ

1. **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**. 2546. เซรามิกชั้นสูงสำหรับงานอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 12(1) : 58-67.
2. **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**. 2546. วัสดุชีวภาพสำหรับงานทางการแพทย์. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 13(1) : 51-59.
3. **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**. 2545. ฟลูออไรด์ป้องกันฟันผุได้อย่างไร?. วารสารเคมีน่ารู้. 1(1) : 72-74.
4. **ปุลณมา สิริพันธ์โนน**. 2546. เสื้อผ้าจากนาโนเทคโนโลยี. วารสารเคมีน่ารู้. 2(3) : 73-74.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปุณณมา สิริพันธ์โนน. 2547. คาร์บอนนาโนโพลีเมอร์ อันตรูปใหม่ของคาร์บอน. วารสารเคมีน่ารู้. 3(2) : 34-36.
6. ปุณณมา สิริพันธ์โนน. 2548. หลอดทดลองเล็กที่สุดในโลก. วารสารเคมีน่ารู้. 3(4) : 43-45.
7. สารอะโรเมติกส์เฉลิมพระเกียรติ. บริษัท อะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด. 2549.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้