ประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองของไททาเนียบนผ้าฝ้ายภายใต้รังสียูวี

นางสาวธิติญาภรณ์ สายศักดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

SELF-CLEANING EFFICIENCY OF TITANIA ON COTTON FABRIC UNDER UV IRRADIATION

Miss Titiyaporn Saisakda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองของไททาเนียบนผ้าฝ้ายภายใต้รังสียูวี
โดย	นางสาวธิติญาภรณ์ สายศักดา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.วนิดา จันทร์วิกูล)

ธิติญาภรณ์ สายศักดา : ประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองของไททาเนียบนผ้าฝ้ายภายใต้รังสียูวี (SELF-CLEANING EFFICIENCY OF TITANIA ON COTTON FABRIC UNDER UV IRRADIATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์, 119 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติด้านการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียที่เตรียมได้จากวิธีโซลเจลโดยใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ตกแต่งลงบนผ้าด้วยวิธีจุ่มอัด และอบแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 รอบ หรือ อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 นาที ผลการศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าภายใต้การทดสอบด้วยหลอดยูวีหรือหลอด D65 พบว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนแสดงการสลายตัวของสีรีแอคทีฟและขจัดคราบกาแฟได้ดีที่สุดและทำได้ดีกว่าภายใต้หลอดยูวี แต่ยังไม่สามารถแสดงการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ ส่วนสมบัติทางกายภาพของผ้า พบว่าผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีมีดัชนีความเหลืองและความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้าสูงกว่าผ้าที่อบแห้งด้วยความร้อน ส่วนผลของการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาทีของผ้าที่ตกแต่งได้ด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) พบว่า ความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟของผ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟลดลงเล็กน้อย ส่วนผลการต้านทานเชื้อแบคทีเรียพบเพียงว่า ใต้ผ้าชิ้นทดสอบไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* แต่ผลการยับยั้งเชื้อยังไม่แสดงระยะที่เรียกว่า clear zone ส่วนสมบัติทางกายภาพพบว่าผ้าเหลืองเพิ่มมากขึ้นและความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้าลดลงอย่างมาก ส่วนผลของการอบแห้งด้วยรังสียูวีที่มีพลังงานความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นเป็น 622 และ 938 มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 รอบบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) พบว่า ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสามารถสลายสีรีแอคทีฟและขจัดคราบกาแฟได้ดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อพลังงานรังสียูวีที่ใช้อบผ้าเพิ่มขึ้น และใต้ชิ้นผ้าทดสอบไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* เช่นกัน ส่วนสมบัติทางกายภาพพบว่า ผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร เห็นความเหลืองของผ้าได้อย่างชัดเจน ส่วนความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้าจะลดลงเมื่อพลังงานของรังสียูวีที่ใช้อบผ้าเพิ่มขึ้น ผลของการทดสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันพบว่า ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลทั้งหมดจะปรากฏพีค 2θ ที่ตำแหน่ง 25.28° ซึ่งเป็นผลึกชนิดอะนาเทส โดยพีคจะปรากฏชัดขึ้นเมื่อนำผ้าไปอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส หรืออบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่ 622 หรือ 938 มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..........
ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..........

5272344323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : TITANIUM DIOXIDE / SELF CLEANING / COTTON / SOL GEL / UV IRRADIATION.

TITIYAPORN SAISAKDA : SELF-CLEANING EFFICIENCY OF TITANIA ON COTTON FABRIC UNDER UV IRRADIATION. ADVISOR : ASST. PROF. SIRIWAN KITTINAOVARAT, Ph.D., CO-ADVISOR : ASSOC. PROF.SUPATRA JINAWATH, Ph.D., 119 pp.

In this study, the self-cleaning performance of the cotton fabric surface treated with TiO_2 nanosol prepared from titanium (IV) isopropoxide (TTIP) at various concentrations 5-20% (v/v) and the treated fabric was dried either at 100°C for 5 min in a conventional oven or under ultraviolet irradiation (294 mJ/cm^2) for 5 cycles. The results of self-cleaning performance of the treated cotton fabric under exposure to UV lamp or Daylight 65 (D65) lamp showed that the 20% (v/v) TTIP treated cotton fabric dried either under UV irradiation or in the oven at 100°C for 5 min had the best ability to both decompose the reactive dye and remove coffee stain. These two abilities were better in UV lamp exposure. However, the treated cotton fabrics did not perform any antibacterial property to inhibit either *Staphylococcus aureus* or *Escherichia coli*. For the results of physical properties, the treated cotton fabric dried under UV irradiation had higher yellowness index and tensile strength retention than those of the treated cotton fabric dried by heating at 100°C for 5 min. Further curing or re-heating the 20% (v/v) TTIP treated cotton fabric at 150°C for 3 min improved the reactive dye decomposition and marginally decreased the coffee stain removal. For antibacterial activity, no *S.aureus and E. coli* growth was observed underneath the tested specimen, but this antibacterial activity was not efficient enough to show the formation of a clear zone. The yellowness index and tensile strength retention were much worse in re-heated treated cotton fabric. The effect of increasing intensity of UV irradiation to 622 or 938 mJ/cm^2 for drying the 20% (v/v) TTIP treated cotton fabric could be concluded that the higher the intensity of UV irradiation was, the better reactive dye decomposition and coffee stain removal were, the antibacterial performance also increase so that *E. coli* was not observed underneath of the tested specimen. The treated cotton fabric dried under the highest UV intensity showed the yellowness obviously and the tensile strength retention of the treated cotton fabric was reduced with the increase in UV intensity. The obtained XRD patterns of all the treated cotton fabrics showed the peak at 2θ of 25.28°, of the anatase phase. The anatase peaks formed on the 20% (v/v) TTIP treated cotton fabric re-heated at 150°C for 3 min or that on the treated fabric dried under high UV intensity (622 or 938 mJ/cm^2) were more distinctive than those under other conditions.

Department : Materials Science Student's Signature

Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology. Advisor's Signature

Academic Year : 2011 Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนาม ต่อไปนี้

1. รศ.ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

2. ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนในการทำวิจัย

3. รศ.อรอุษา สรวารี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และ ดร.วนิดา จันทร์วิกูล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำงาน

5 เงินสนับสนุนโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปีงบประมาณ 2553 กลุ่มงานวิจัยพลังงาน (Energy cluster)

6. คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา และพี่สาวที่เป็นกำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ไททาเนีย (TiO_2) 3

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของไททาเนีย 3

2.1.2 ประโยชน์ของไททาเนีย 5

2.2 ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) 7

2.2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส 7

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส 10

2.3 กระบวนการโซลเจล (sol gel processing) 14

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 19

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย 19

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 19

3.3 การดำเนินการวิจัย 20

3.3.1 การศึกษาเบื้องต้น 20

หน้า

3.3.2 ศึกษาสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพ ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล 20
3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมไททาเนียโซล 21
3.3.4. ขั้นตอนการตกแต่งไททาเนียโซลลงบนผ้าฝ้ายและทำการอบแห้งด้วย ความร้อนหรืออบแห้งด้วยรังสียูวี 22
3.3.5 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย ไททาเนียโซล 22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 28
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของไททาเนีย สมบัติการทำความสะอาด ด้วยตนเอง สมบัติทางกายภาพ และลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าที่ ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่แตกต่างกัน 28
4.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียบนผ้า ที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction,XRD) 28
4.1.2 ผลการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ด้านความสามารถในการสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟ 30
4.1.3 ผลการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ด้านความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ 34
4.1.4 ผลการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ด้านความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย 38
4.1.5 สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล 40
4.1.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด 43
4.2 ศึกษาผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อโครงสร้างผลึกของไททาเนีย สมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเอง สมบัติ ทางกายภาพ และลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 45

หน้า

4.2.1 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อโครงสร้างผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน 45
4.2.2 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองด้านความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 47
4.2.3 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อความสามารถในการทำความสะอาดด้วยตัวเองด้านการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 49
4.2.4 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อความสามารถในการทำความสะอาดด้วยตัวเองด้านการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 51
4.2.5 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 53
4.2.6 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผ้าที่ตกแต่งด้วย ไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 55
4.3 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในการอบผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 57

หน้า

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ตกแต่ง ด้วยไททาเนียโซลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction, XRD) 57
4.3.2 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสง แตกต่างกันในการอบผ้าต่อความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟ ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 58
4.3.3 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสง แตกต่างกันในการอบผ้าต่อความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 60
4.3.4 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสง แตกต่างกันในการอบผ้าต่อความสามารถในการต้านทาน เชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 62
4.3.5 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสง แตกต่างกันในการอบผ้าต่อสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่าน การตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) 63
4.3.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้ง ด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน 65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 66
5.1 สรุปผลการทดลอง 66
5.2 ข้อเสนอแนะ 69
รายการอ้างอิง 70
ภาคผนวก 72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงสมบัติของไททาเนียเฟสรูไทล์และเฟสอะนาเทส....................................	3
2.2	การประยุกต์ใช้ไททาเนียจากกระบวนการโฟโตคะตะลิส................................	6
3.1	สูตรของการเตรียมสารไททาเนียโซลที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการตกแต่งบนผ้าฝ้าย..	21
4.1	ผลองศาการคืนตัวต่อการยับ ดัชนีความเหลืองและดัชนีความขาวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันแล้วอบด้วยรังสียูวีพลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 หรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส...	42
4.2	ผลของงองศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลืองและค่าดัชนีความขาวของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	54
4.3	ผลของงองศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลืองและค่าดัชนีความขาวของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน...............	64

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างของไททาเนียเฟสรูไทล์และเฟสอะนาเทส...............................	4
2.2	แสดงการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไททาเนีย....................................	8
2.3	แสดงกลไกการกำจัดคราบเปื้อนสิ่งสกปรกที่อยู่บนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนีย ภายใต้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 290 นาโนเมตร (รังสียูวี)......................	9
2.4	แสดงการกำจัดคราบเปื้อนสิ่งสกปรกบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียภายใต้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 440 นาโนเมตร...	10
2.5	แสดงความแตกต่างระหว่างพลังงานแถบช่องว่างพลังงาน (energy band gap) ของอะนาเทสและรูไทล์...	11
2.6	แสดงผลของผิวสัมผัส (surface area) ต่อปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส................	12
2.7	แสดงการกลไกเกิดกระบวนการโซลเจล...	15
2.8	แสดงการเกิดกระบวนการโซลเจล อบแห้ง และอบด้วยความร้อนสูง................	15
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนีย บนผ้าฝ้าย (ก) ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการ ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นสารตั้งต้น TTIP (ข) 5 % (ค) 10 % (ง) 15 % และ (จ) 20 % (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ (ฉ) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)............................	28
4.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนีย บนผ้าฝ้าย (ก) ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการ ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นสารตั้งต้น TTIP (ข) 5 % (ค) 10 % (ง) 15 % และ (จ) 20 % (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที (ฉ) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)............................	29
4.3	แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสี CIBACRON RED LS-B h-c และค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ณ ความเข้มข้นต่างๆ..	30

รูปที่		หน้า
4.4	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที	32
4.5	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที	32
4.6	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ	33
4.7	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ	34
4.8	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ภายใต้หลอดยูวี	35
4.9	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ภายใต้หลอด D65	36

รูปที่		หน้า
4.10	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ ภายใต้หลอดยูวี	37
4.11	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 ภายใต้หลอด D65	37
4.12	การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และเชื้อ *E. coli* ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100	39
4.13	การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และเชื้อ *E. coli* ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวี หรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการ AATCC 147	40
4.14	ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที	42
4.15	แสดงสัณฐานวิทยาของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP ที่แตกต่างกันและอบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2500 เท่า	44

รูปที่		หน้า
4.16	ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนีย บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ TTIP 20 มิลลิลิตร (ก) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ (ข) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (ค) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)............................	46
4.17	ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนีย บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ TTIP 20 มิลลิลิตร (ก) อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ข) อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (ค) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)............................	47
4.18	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส...	48
4.19	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส.............................	49

รูปที่		หน้า
4.20	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 หรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้หลอดยูวี............	50
4.21	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 หรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้ด้วยหลอด D65............	51
4.22	แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100............	52
4.23	แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 147............	53
4.24	ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที............	55
4.25	สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที............	56

รูปที่ หน้า

4.26 ผลการวิเคราะห์ผลึกไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง ด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง (ก) 294 mJ/cm^2 (ข) 622 mJ/cm^2 (ค) 938 mJ/cm^2 (ง) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)........ 57

4.27 การสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวี ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2........ 59

4.28 การสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2........ 59

4.29 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอดยูวี........ 61

4.30 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอด D65........ 61

4.31 แสดงผลการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิด ตามาตรฐานการทดสอบ AATCC 147........ 63

4.32 ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2........ 64

รูปที่		หน้า
4.33	สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2	65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอแบบทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรม ต้องใช้สารเคมีในการเข้าทำปฏิกิริยากับผ้าและต้องทำการอบผนึกที่อุณหภูมิสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานในการอบแห้งและอบผนึกค่อนข้างมาก นอกจากนี้การอบผนึกด้วยความร้อนที่สูงยังมีผลทำให้ความแข็งแรงของผ้าด้อยลงและยังทำให้ผ้ามีความกระด้างมากขึ้นอีกด้วย จึงได้มีความคิดนำเอาวิธีอื่นมาใช้เป็นแหล่งพลังงานใหม่แทนการใช้ความร้อน เช่น การใช้รังสีอินฟราเรดเริ่มได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ทั้งนี้เพราะผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสีอินฟราเรดมีผลทำให้ความกระด้างของผ้าน้อยลงอีกด้วย รังสียูวีเป็นอีกหนึ่งแหล่งพลังงานที่กำลังได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นสำหรับนำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เช่น การใช้รังสียูวีสำหรับอบผนึกผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครเอนแคบซูลอโรมาโดยใช้ยูวีเรซินที่สามารถดูดกลืนรังสียูวีแล้วเกิดปฏิกิริยาทำให้แคบซูลยึดติดกับผ้าได้มากขึ้นส่งผลให้แคบซูลที่ใช้บนผ้าทนต่อการซักได้ดีขึ้น นอกจากนี้รังสียูวียังมีบทบาทสำคัญคือเป็นแหล่งพลังงานกระตุ้นไททาเนียที่ตกแต่งบนผ้าให้สามารถทำความสะอาดด้วยตนเองได้โดยไม่ต้องผ่านการซักล้าง อีกทั้งผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียยังแสดงสมบัติต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้อีกด้วย นอกจากไททาเนียจะเป็นสารที่ทำให้ผ้ามีสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองได้แล้ว ผลที่ได้จากปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) ของไททาเนียยังมีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับสารกันยับพอลิคาร์บอกซิลิกได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตในการอบผ้าเพื่อให้ผ้ามีสมบัติกันยับโดยใช้ไททาเนียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง นอกจากนี้ผ้ายังสามารถแสดงสมบัติการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองอีกด้วย

งานวิจัยนี้จะเป็นการทดลองนำเอารังสียูวีมาเป็นแหล่งพลังงานใหม่แทนพลังงานความร้อนในการอบผ้าให้มีสมบัติกันยับโดยใช้สารกันยับประเภทกรดพอลิคาร์บอกซิลิก แต่ได้เปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมเป็นไททาเนีย เพราะไททาเนียมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงได้ โดยเมื่อมีรังสียูวีมากระตุ้นไททาเนียจะทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจนเปลี่ยนที่อยู่ทำให้เกิดเป็นอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นบนผิวหน้าของไททาเนีย โดยโฮลที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับสารกันยับทำให้เกิดการเชื่อมขวางขึ้นในโครงสร้างของผ้าฝ้ายได้ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารกันยับพอลิคาร์บอกซิลิกโดยใช้ไททาเนียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงภายใต้รังสียูวีนั้นกลับพบว่า ผ้ามีความสามารถในการคืนตัว

ต่อการยับลดลงและแย่กว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้สำเร็จได้ยาก เพราะสารที่เตรียมตกตะกอนค่อนข้างรวดเร็วมาก จึงได้เปลี่ยนแนวทางการศึกษามาเป็นการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกันระหว่างความร้อนจากเครื่องอบและรังสียูวี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ที่แตกต่างกัน ที่ได้อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อน
2. ศึกษาผลกระทบของความร้อนในการอบผนึกผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและอบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนต่อสมบัติในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้า
3. ศึกษาผลกระทบของรังสียูวีที่ระดับพลังงานความเข้มแสงที่แตกต่างกันในการอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลต่อสมบัติในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายที่ได้ทำการฟอกขาวจากโรงงานมาแล้วเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยจะทำการทดสอบสมบัติด้านการทำความสะอาดด้วยตนเอง ได้แก่ ความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟ ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ และความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติด้านความแข็งแรงที่คงเหลือ ความเหลือง และลักษณะสัณฐานวิทยา ของไททาเนียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

รังสียูวีอาจเป็นแนวทางเลือกใหม่สำหรับใช้ในการอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียเพื่อให้ผ้ามีสมบัติด้านความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง และอาจเป็นแนวทางใหม่เพื่อใช้ในการอบแห้งหรืออบผนึกผ้าสำหรับการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอในอนาคต

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

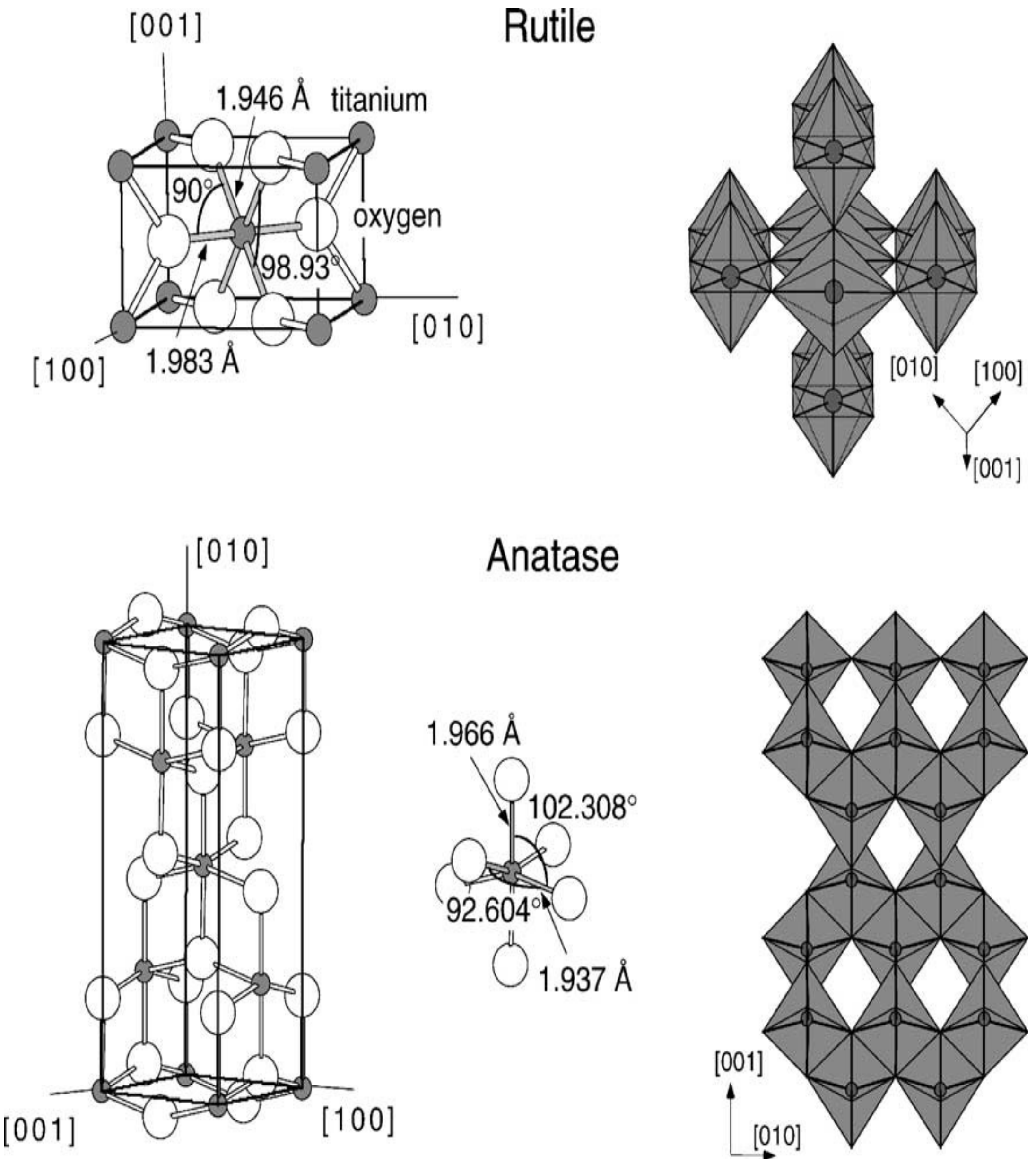
2.1 ไททาเนีย (TiO_2)

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของไททาเนีย

ไททาเนียเป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว จุดหลอมตัวที่ 1850 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นประมาณ 4.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนักโมเลกุล 79.90 ประกอบด้วยไททาเนียมร้อยละ 59.95 โดยโมล และออกซิเจน 40.05 โดยโมล [1] ไททาเนียมีเฟสที่สำคัญ 3 เฟส ได้แก่ เฟสอะนาเทส (anatase) เฟสรูไทล์ (rutile) และเฟสบรู๊คไคท์ (brookite) แต่โอกาสที่จะเกิดเฟสบรู๊คไคท์นั้นมีน้อยมาก ในทางการค้าจึงพบเพียงเฟสอะนาเทสและรูไทล์เท่านั้น โดยอะนาเทสและรูไทล์จะมีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบเททระโกนัล (tetragonal) ซึ่งประกอบไปด้วยออกตะฮีดรอน (TiO_6^{2-}) มาเชื่อมต่อกัน โดยแต่ละออกตะฮีดรอนจะประกอบไปด้วย Ti^{4+} อยู่ตรงกลางและถูกล้อมรอบด้วย O^{2-} เนื่องจากการบิดตัวของออกตะฮีดรอนจึงทำให้การเชื่อมต่อกันของออกตะฮีดรอนในแต่ละเฟสนั้นจะมีความแตกต่างกันและไม่สม่ำเสมอ สำหรับเฟสรูไทล์นั้นการเชื่อมต่อกันของออกตะฮีดรอนจะเกี่ยวข้องกับการใช้ขอบและมุม โดยด้านที่อยู่ตรงข้ามของออกตะฮีดรอนจะเชื่อมต่อกันทำให้เกิดเป็นเส้นตรงและแต่ละเส้นจะเชื่อมต่อกันด้วยออกซิเจนที่อยู่มุม ส่วนเฟสอะนาเทสจะเชื่อมต่อกันโดยขอบของออกตะฮีดรอนเท่านั้น ดังรูปที่ 2.1 จากความแตกต่างกันด้านโครงสร้างจึงทำให้รูไทล์และอะนาเทสนั้นมีสมบัติที่แตกต่างกันทั้งดังแสดงในตารางที่ 2.1 [2-3]

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของไททาเนียเฟสรูไทล์และเฟสอะนาเทส

Properties	Anatase	Rutile
Crystal structure	Tetragonal	Tetragonal
Lattice constant (a,A^o)	3.782	4.587
Lattice constant (c,A^o)	9.502	2.953
ความหนาแน่น (g/cm^3)	3.895	4.25
Refractive index	2.54	2.75
Band gap (eV)	3.25	3.05
Melting point (^oC)	Converts to rutile	1,830-1,850



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไททาเนียเฟสรูไทล์และเฟสอะนาเทส [3]

2.1.2 ประโยชน์ของไททาเนีย

ไททาเนียมีประโยชน์มากมายทั้งที่ใช้เป็นสารให้สี เช่น การใช้เป็นสารให้สีขาวในหมึกพิมพ์ สีทาบ้าน สีเคลือบ กระดาษ กระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติของไททาเนียที่ไม่ฟุ้งกระจายง่ายและสามารถผสมรวมตัวได้ง่ายกับสารอื่น อาทิในอุตสาหกรรมเซรามิคทำให้สามารถควบคุมการหดตัวของผลิตภัณฑ์เซรามิคในกระบวนการเผาได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคลือบผิวโลหะ ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ เนื่องจากไททาเนียมีค่าคงที่ทางไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าสูงจึงมักนำไปทำเป็นตัวคาร์ปาซิเตอร์ หรือใช้ในยาและเครื่องสำอางเพื่อเป็นสารป้องกันแสงแดดหรือรังสียูวี เช่น แป้งฝุ่น แป้งรองพื้น เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยในการลดความเงามันของเส้นใยสังเคราะห์ด้วย [1] นอกจากไททาเนียจะใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แล้วจากประโยชน์ของไททาเนียที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงทำให้เกิดแรดิคัลประเภทต่างๆ ซึ่งแรดิคัลเหล่านี้เป็นสารที่มีความว่องไวสูงจึงสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ไม่ต้องการได้ จึงได้มีการนำไททาเนียมาใช้สำหรับกำจัดสารพิษต่างๆ เช่น การบำบัดน้ำเสีย การกรองอากาศให้บริสุทธิ์ การใช้เคลือบบนผ้าหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงพยาบาล นอกจากนี้ไททาเนียยังสามารถต้านทานเชื้อรา หรือแบคทีเรียได้อีกด้วย ก็มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้ไททาเนียจากกระบวนการโฟโตคะตะลิส [4]

สมบัติที่ต้องการ	แบ่งแยกตามประเภท	การใช้งาน
Self-cleaning	วัสดุสำหรับที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้าง	กระเบื้องสำหรับตกแต่ง อุปกรณ์สำหรับห้องครัวและห้องน้ำ เฟอร์นิเจอร์ ผิวหน้าพลาสติก รางรถไฟอะลูมิเนียม สิ่งก่อสร้างที่ทำจากหินและม่าน กระดาษปิดกันแสง
	หลอดไฟที่ใช้ในร่มและกลางแจ้ง และระบบที่เกี่ยวข้อง	ฝ้ากระดาษที่ใช้ปิดบังหลอดไฟภายใน เคลือบบนหลอดฟลูออเรสเซนส์และหลอดไฟในอุโมงค์
	วัสดุสำหรับถนน	ผนังอุโมงค์ ผนังป้องกันเสียง ไฟจราจรและตัวสะท้อน
	อื่นๆ	เตนท์ เสื้อผ้าสำหรับใช้ในโรงพยาบาล เคลือบผิวรถยนต์
Air cleaning	เครื่องกรองอากาศภายใน	เครื่องกรองอากาศภายในอาคาร เป็นตัวโฟโตคะตะลิสต์ในเครื่องปรับอากาศ และเครื่องกรองอากาศในโรงงาน
	ตัวทำให้อากาศภายนอกบริสุทธิ์	คอนกรีตสำหรับทางยกระดับ ทางเดินเท้า ผนังอุโมงค์ ผนังป้องกันเสียง และผนังของสิ่งก่อสร้าง
Water purification	น้ำดื่ม	น้ำจากแม่น้ำ น้ำจากใต้ดิน น้ำจากทะเลสาบและน้ำที่กักเก็บไว้
	อื่นๆ	ตู้ปลา การบำบัดน้ำเสียและระบบระบายน้ำ
Antitumor activity	การรักษาโรคมะเร็ง	อุปกรณ์สำหรับส่องกล้อง
Self-sterilizing	โรงพยาบาล	กระเบื้องสำหรับปูพื้นและผนังห้องผ่าตัด ยางซิลิโคนสำหรับท่อที่ใช้สอดเข้าไปในร่างกาย และเสื้อผ้าที่ใช้ในโรงพยาบาล
	อื่นๆ	ห้องพัก ห้องน้ำและห้องผสมพันธุ์หนู

2.2 ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis)

2.2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส คือ กระบวนการใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการดำเนินไปของปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จึงเรียกว่า โฟโตคะตะลิสต์ (photocatalyst) ซึ่งโฟโตคะตะลิสต์ที่นิยมใช้มักเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ที่ประกอบด้วยแถบพลังงานอยู่ 2 แถบคือ แถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบการนำไฟฟ้า (conduction band) โดยมีแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) ที่มีความกว้าง E_g กั้นอยู่ [5] เมื่อแสงหรือโฟตอนที่มีพลังงาน hυ เท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน E_g ตกกระทบผิวหน้าวัสดุกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนจะเกิดการเปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ ไปอยู่ที่แถบการนำไฟฟ้า จึงทำให้เกิดโฮล (h_{vb}^+) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์และเกิดอิเล็กตรอนที่แถบการนำไฟฟ้า (e_{cb}^-) โดยคู่อิเล็กตรอนและโฮลนี้สามารถกลับมารวมตัวกันในสภาวะเดิมได้เรียกว่า การเกิดรีคอมบิเนชั่น (recombination) และเกิดการคายพลังงานความร้อน ดังนั้น วัสดุกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาใช้จึงต้องเป็นวัสดุที่อิเล็กตรอนสามารถหลุดจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้าได้ง่ายเมื่อได้รับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ ไททาเนีย ซิงค์ออกไซด์ แคดเมียมซัลไฟด์ เป็นต้น [6]

ไททาเนียเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นโฟโตคะตะลิสต์โดยเมื่อแสงที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงาน (E_g) ซึ่งจะมีค่าประมาณ 3.2 eV ตกกระทบผิวหน้าของอนุภาคไททาเนียแล้วจะทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้เกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน (e_{cb}^-) และโฮล (h_{vb}^+) ขึ้นที่ผิวหน้าของไททาเนียดังสมการที่ 2.1 ซึ่งคู่อิเล็กตรอน (e_{cb}^-) และโฮล (h_{vb}^+) ที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันได้เมื่อมีการดูดซับโมเลกุลของมลสาร (pollutant) บนผิวหน้าของไททาเนียดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 นอกจากนี้แล้วบนผิวหน้าของไททาเนียยังสามารถเกิดปฏิกิรยาออกซิเดชันของ h_{vb}^+ โดยจะเข้าจับกับน้ำหรือความชื้นในอากาศเกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล ($OH^\bullet$) กับ โปรตอน (H^+) ดังสมการที่ 2.4 หรือเข้าจับกับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) เกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล ดังสมการที่ 2.5 โดยไฮดรอกซิลแรดิคัลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ถือเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงซึ่งสามารถเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับสารประกอบอินทรีย์และเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และ สารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้ในเวลาอันรวดเร็ว

ส่วนอิเล็กตรอน (e_{cb}^-) ที่แถบการนำไฟฟ้านั้น ก็สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้เช่นกัน โดยอิเล็กตรอน (e_{cb}^-) จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน ($O_2^{\bullet-}$) ตามสมการที่ 2.6 โดยแรดิคัลที่เกิดขึ้นนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นเปอร์

ออกไซด์ ดังสมการที่ 2.7 ซึ่งเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถแตกตัวได้เป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล ดังสมการที่ 2.8 ได้อีกด้วย [7-9]

$$TiO2 + h\upsilon \longrightarrow TiO_2(h_{vb}^+) + TiO_2(e_{cb}^-) \quad (2.1)$$

$$D(ads) + TiO_2(h_{vb}^+) \longrightarrow D^+(ads) \quad (2.2)$$

$$A(ads) + TiO_2(e_{cb}^-) \longrightarrow A^-(ads) \quad (2.3)$$

D คือ ตัวให้อิเล็กตรอนที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าไทเทเนียมไดออกไซด์

A คือ ตัวรับอิเล็กตรอนที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าไทเทเนียมไดออกไซด์

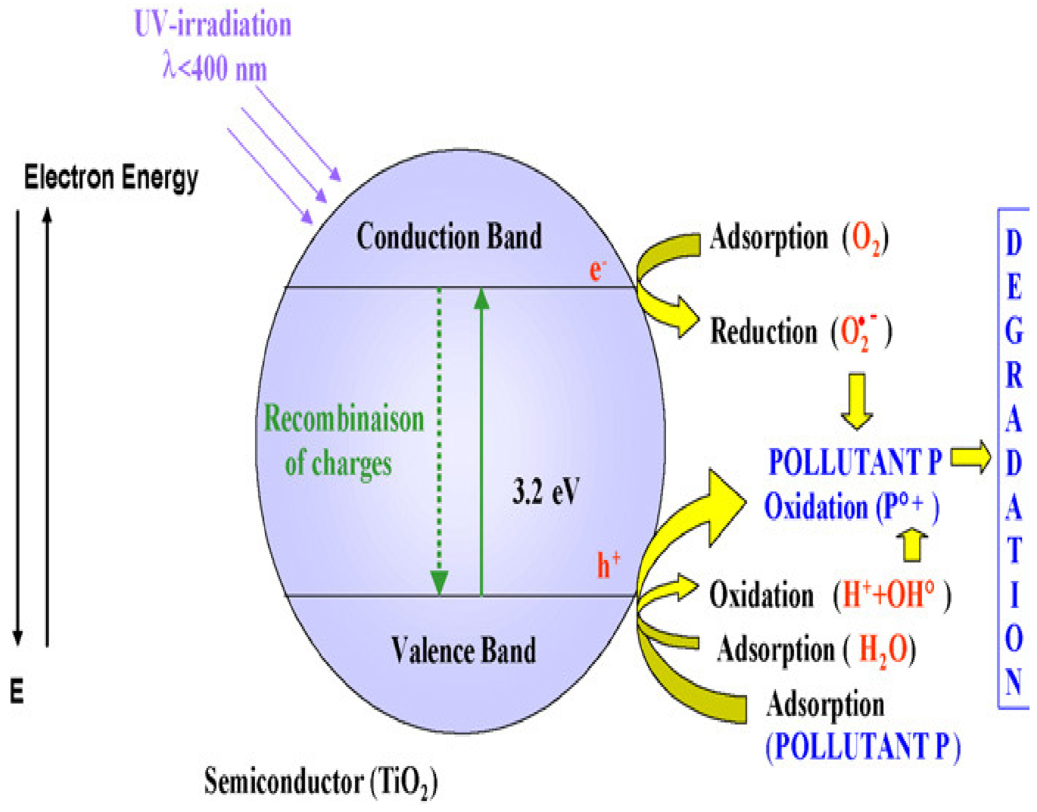
$$TiO_2(h_{vb}^+) + H_2O \longrightarrow OH^{\bullet} + H^+ \quad (2.4)$$

$$TiO_2(h_{vb}^+) + OH^- \longrightarrow OH^{\bullet} \quad (2.5)$$

$$TiO_2(e_{cb}^-) + O_2 \longrightarrow O_2^{\bullet -} \quad (2.6)$$

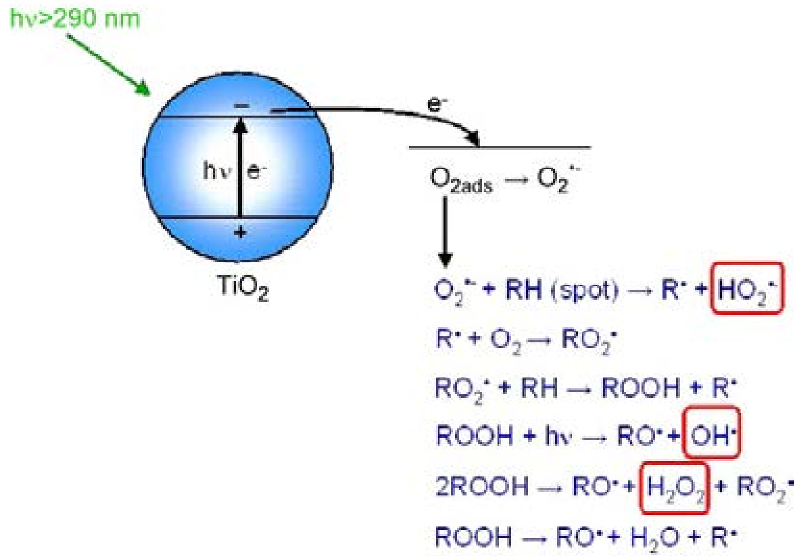
$$2H_2O + O_2^{\bullet -} \longrightarrow 2H_2O_2 \quad (2.7)$$

$$H_2O_2 \longrightarrow 2OH^{\bullet} \quad (2.8)$$

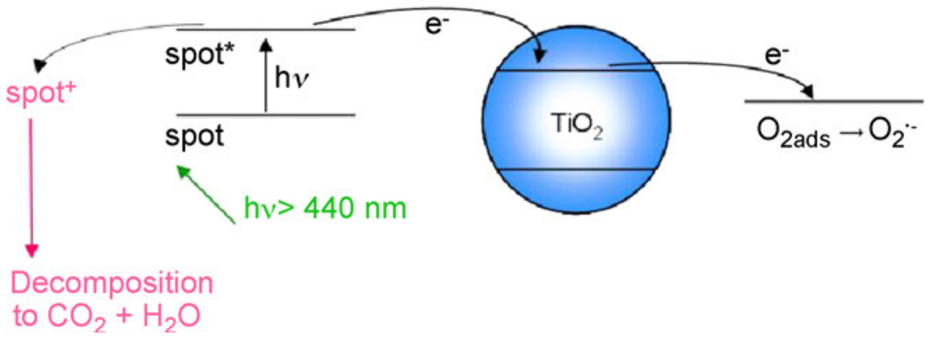


รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไททาเนีย [10]

โมเลกุลของแรดิคัลต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้แก่ $OH^{\bullet}$ และ $O_2^{\bullet-}$ ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจัดเป็นสารที่มีความว่องไวสูงมากซึ่งสามารถไปดึงอิเล็กตรอนให้หลุดจากสารอื่นได้ ด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้มีการนำไททาเนียมาใช้เป็นสารกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ ได้ เช่น การบำบัดน้ำเสีย ทำเครื่องกรองอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ในวงการสิ่งทอยังได้มีการนำไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ในการตกแต่งสำเร็จผ้าให้มีสมบัติพิเศษที่สามารถทำความสะอาดได้ด้วยตนเองภายใต้แสงยูวี โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไททาเนีย ซึ่งเมื่อมีการเปื้อนคราบสิ่งสกปรกบนผ้าที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์และผ่านการกระตุ้นด้วยแสงยูวีจะทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสบนผิวหน้าไททาเนียส่งผลให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนเกิดเป็นแรดิคัลที่สามารถกำจัดคราบเปื้อนบนผ้าได้ ดังรูปที่ 2.3 นอกจากการกำจัดคราบเปื้อนบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียจะสามารถทำได้ภายใต้รังสียูวีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตรแล้ว ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียยังสามารถกำจัดคราบเปื้อนบนผ้าได้โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่มากกว่า 440 นาโนเมตร โดยกลไกการเกิดนี้เป็นไปดังรูปที่ 2.4



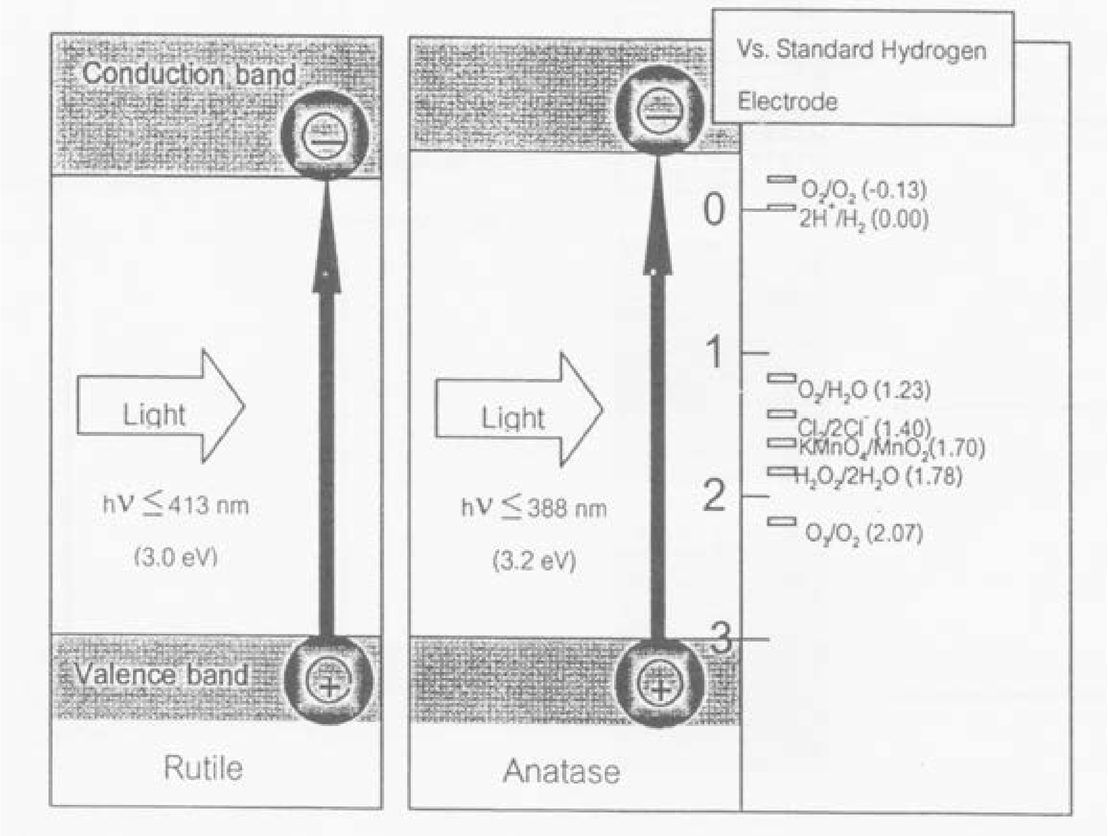
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการกำจัดคราบเปื้อนสิ่งสกปรกที่อยู่บนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนีย ภายใต้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 290 นาโนเมตร (รังสียูวี) [11]



รูปที่ 2.4 แสดงการกำจัดคราบเปื้อนสิ่งสกปรกบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 440 นาโนเมตร [11]

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

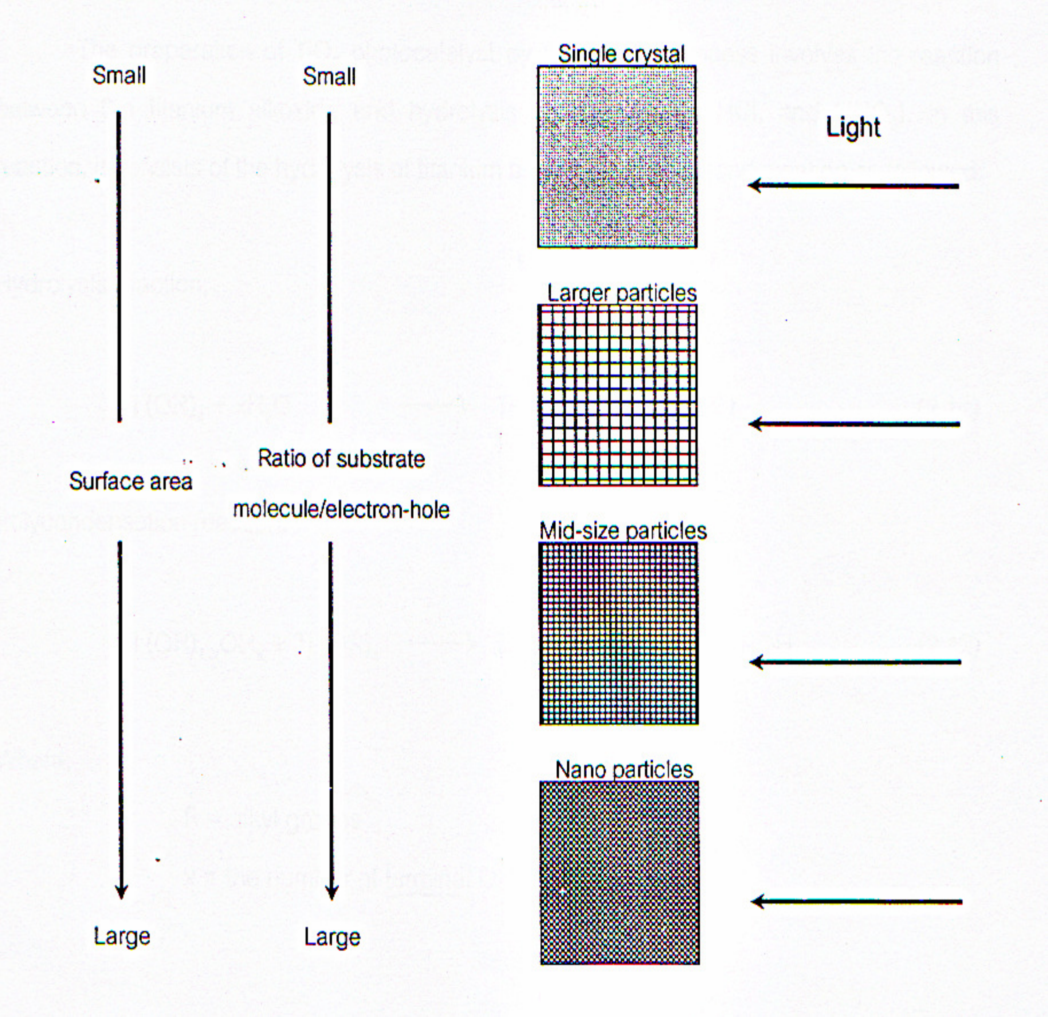
2.2.2.1 ผลของเฟสไททาเนียต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส พบว่า ไททาเนียเฟสอะนาเทสจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้ดีกว่าเฟสรูไทล์เนื่องจากมีโครงสร้างแถบพลังงาน (energy band) ที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.5 โดยอะนาเทสจะมีพลังงานของแถบช่องว่างพลังงาน (energy band gap) อยู่ที่ 3.25 eV ซึ่งสอดคล้องกับคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร ในขณะที่เฟสรูไทล์จะมีพลังงานของแถบช่องว่างพลังงานอยู่ที่ 3.05 eV สอดคล้องกับคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นด้วยรังสียูวี อิเล็กตรอนจะเกิดการเปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ไปอยู่ที่แถบการนำไฟฟ้า เนื่องจากที่แถบการนำไฟฟ้านี้ไททาเนียเฟสอะนาเทสนั้นจะมีพลังงานสูงกว่าเฟสรูไทล์ อีกทั้งพลังงานศักย์ไฟฟ้ายังเพียงพอที่จะออกซิไดส์ออกซิเจนให้เกิดเป็นซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน ทำให้กระบวนการ recombination ระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลลดลงได้อีกด้วย [12]



รูปที่ 2.5 แสดงความแตกต่างระหว่างพลังงานแถบช่องว่างพลังงาน (energy band gap) ของอะนาเทสและรูไทล์

2.2.2.2 ไททาเนียที่อยู่ในรูปอสัณฐานหรือไททาเนียที่มีตำหนิ (defect) บนผิวหน้าจะทำให้เกิดกระบวนการ recombination ได้ง่ายกว่าไททาเนียที่อยู่ในรูปผลึก [13]

2.2.2.3 ขนาดอนุภาค โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กและผิวสัมผัสสูงจะทำให้การเกิดคู่อิเล็กตรอนกับโฮลเกิดได้เร็วขึ้น เนื่องจากผิวสัมผัสที่มากจะทำให้แสงหรือโฟตอนสัมผัสกับผิวหน้าไททาเนียมไดออกไซด์ได้มากขึ้นทำให้ปฏิกิริยาโฟโตคะไลซิสเกิดได้มากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.6 [4]



รูปที่ 2.6 แสดงผลของผิวสัมผัส (surface area) ต่อปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส [4]

ในกรณีของการนำไททาเนียไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเป็นส่วนประกอบนั้น ปฏิกิริยาโฟโตคะไลซิสจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไททาเนีย ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลาย ความเข้มข้นของแสง และปริมาณไอออนบวก-ลบในสารละลาย [14]

2.2.2.4 ค่าพีเอช (pH) ประสิทธภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในสารละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการดูดเกาะของสิ่งมีพิษที่ต้องการกำจัดที่ผิวของไททาเนีย เพราะประจุไฟฟ้าที่ผิวของไททาเนียเปลี่ยนไปเมื่อค่าพีเอชสูงหรือต่ำ โดยประจุที่ผิวของไททาเนียจะเป็นบวกที่ค่าพีเอชต่ำ และจะเป็นลบที่ค่าพีเอชสูง

2.2.2.5 ความเข้มข้นของอนุภาคไททาเนีย อนุภาคไททาเนียเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส อีกทั้งยังเป็นตัวกลางให้สิ่งสกปรกหรือสารอินทรีย์ต่างๆ มายึดเกาะที่ผิวหน้า ดังนั้นถ้าอนุภาคของไททาเนียมีความเข้มข้นมาก โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสก็มีมากขึ้น และส่งผลให้เกิดแรดิคัลที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ได้มากขึ้นด้วย แต่ถ้าหากมีปริมาณไททาเนียที่มากเกินไปก็อาจจะเป็นการขัดขวางให้แสงผ่านทะลุลงไปในสารละลายได้น้อย ส่งผลให้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสเกิดได้น้อยลงอีกด้วย

2.2.2.6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม กรณีการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบไปด้วยสีย้อมชนิดต่างๆ เมื่อแสงยูวีถูกดูดกลืนโดยอนุภาคไททาเนียที่กระจายอยู่ในสารละลาย และสีย้อมในสารละลาย หากความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้นสูงกว่า แต่ทั้งนี้อัตราการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียยังต้องขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมแต่ละชนิดด้วย โดยสีย้อมที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนจะสามารถกำจัดได้ยากกว่าสีย้อมที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่ซ้ำซ้อน

2.2.2.7 อุณหภูมิ ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนและโฮลกับสารปนเปื้อนมีค่ามากกว่าอัตราการเกิดกระบวนการ recombination

2.2.2.8 ปริมาณออกซิเจนละลาย เนื่องจากออกซิเจนเป็นเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ทำให้เกิดแรดิคัลที่จะสามารถกำจัดสารปนเปื้อนได้ โดยออกซิเจนจะเป็นตัวยึดเกาะบนผิวไททาเนีย ทำหน้าที่ยึดจับกับอิเล็กตรอนที่แถบการนำไฟฟ้าทำให้เกิดเป็นซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน และยังสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนแคทไอออนต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสารแรดิคัลที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นตัวทำให้สารปนเปื้อนถูกกำจัดต่อไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันการเกิดกระบวนการ recombination ระหว่างคู่อิเล็กตรอนและโฮลได้อีกด้วย

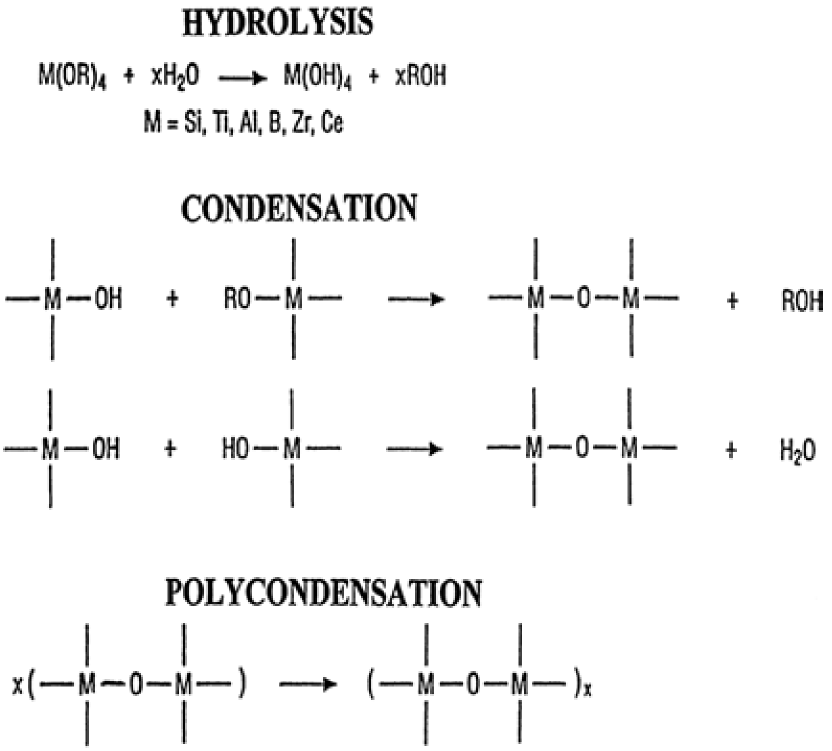
2.2.2.9 ความเข้มแสง คือ พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ความเข้มแสงขึ้นอยู่กับพลังงานของแสงโดยตรง ถ้าความเข้มแสงมากนั่นแสดงว่าพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ก็มีมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ไททาเนียมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งเชิงแสงได้ดีขึ้นด้วย

2.2.2.10 ปริมาณไอออนบวกและไอออนลบในสารละลาย โดยปกติแล้วน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมจะมีไอออนที่มีประจุลบ และประจุบวกประกอบอยู่ด้วย ซึ่งไอออนบางชนิดจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาในขณะที่บางชนิดจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา หากมีปริมาณความ

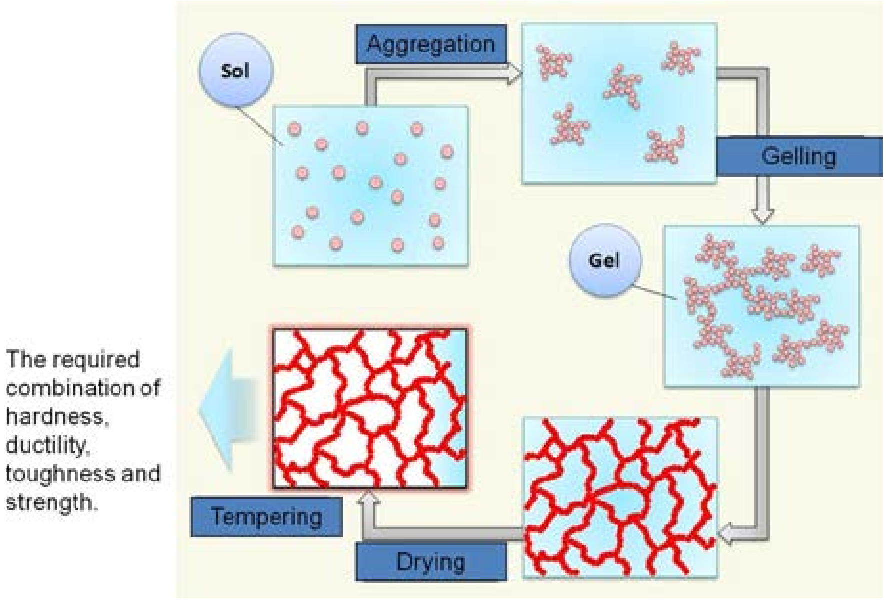
เข้มข้นของไอออนโลหะสูง อาจจะต้องทำการบำบัดขั้นต้นก่อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

2.3 **กระบวนการโซลเจล** (sol gel processing)

กระบวนการโซลเจลเป็นกระบวนการที่ความเกี่ยวข้องกับกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation) โดยคำว่า โซล หมายถึง สารคอลลอยด์ที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่โดยอนุภาคนั้นสามารถเกิดการกระเจิงของแสงได้โดยไม่ตกตะกอน ส่วนเจล คือ โซลที่เกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่ใหญ่ขึ้น ในการสังเคราะห์สารด้วยกระบวนการโซลเจลนั้น จะเริ่มต้นจากการไฮโดรไลส์สารตั้งต้น ประเภทโลหะแอลคอกไซด์ เกิดเป็นโลหะที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ ขั้นตอนที่สองโมเลกุลที่ถูกไฮโดรไลส์สองโมเลกุลจะเข้าทำปฏิกิริยากันเรียกว่าเกิดการควบแน่น (condensation) ทำให้เกิดน้ำหรือแอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 2.5 เมื่อนำไปผ่านการอบแห้งน้ำหรือแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นนั้นจะระเหยไป โดยอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต้องเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้น้ำหรือแอลกอฮอล์ระเหยออกไปได้ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส เจลที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอสัณฐานมีความเป็นผลึกต่ำ ดังนั้นจึงต้องทำการพัฒนาผลึกโดยการอบด้วยความร้อนสูงหรือเผา ดังรูปที่ 2.6 [15]



รูปที่ 2.7 แสดงการกลไกเกิดกระบวนการโซลเจล [16]



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดกระบวนการโซลเจล อบแห้ง และอบด้วยความร้อนสูง

[ที่มา : http://www.nanolia.com/solgel]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันไททาเนียได้ถูกนำมาใช้ในการตกแต่งผ้าเพื่อให้ผ้ามีสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองโดยไม่ต้องผ่านการซักล้าง นอกจากนี้การเตรียมไททาเนียเพื่อนำไปตกแต่งลงบนผ้าก็มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

Gupta, K. และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนีย โดยทำการเตรียมนาโนไททาเนีย 4 วิธีด้วยกัน คือ 1. การเตรียมนาโนไททาเนียในน้ำด้วยวิธีโซลเจล 2.การเตรียมนาโนไททาเนียในเอทานอลด้วยวิธีโซลเจลเช่นกัน 3. การเตรียมนาโนไททาเนียในห้องทดลอง และ 4. การใช้อนุภาคนาโนไททาเนียทางการค้า (Degussa P25) โดยไททาเนียที่เตรียมได้ด้วยวิธีการต่างๆ นั้นจะทำการตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีการจุ่มอัด อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และอบผนึกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการทำ hydrothermal treatment ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ส่วนอนุภาคไททาเนียที่เตรียมด้วยวิธีที่ 3 และ 4 นั้นจะเคลือบลงบนผ้าฝ้ายโดยอาศัยสารช่วยยึดติดประเภทอะคริลิกไบด์เดอร์ (acrylic binder) ด้วยวิธีจุ่มอัด อบแห้ง และอบผนึกที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งหมดมาทำการเปื้อนคราบกาแฟแล้วศึกษาการซีดจางของคราบกาแฟที่ติดบนผ้าเมื่อตากไว้กลางแจ้ง จากผลการทดลองพบว่า นาโนโซลไททาเนียที่เตรียมในน้ำมีประสิทธิภาพการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายได้ดีที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะขนาดของอนุภาคที่เตรียมได้ด้วยวิธีนี้ให้ขนาดของอนุภาคไททาเนียที่เล็กมากอยู่ในช่วง 3-4 นาโนเมตร วิธีการเตรียมนาโนโซลไททาเนียด้วยกระบวนการโซลเจลทั้งสองวิธีแสดงประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองดีกว่าอนุภาคไททาเนียทางการค้าและที่เตรียมในห้องทดลอง ประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้ทำการทดลองเฉพาะผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยนาโนไททาเนียโซลที่เตรียมในน้ำ โดยจากการทดสอบพบว่า ผ้าสามารถลดเชื้อแบคทีเรียชนิดดังกล่าวได้ถึง 96%

Abidi, N. และคณะ [18] ได้ทำการเตรียมนาโนไททาเนียด้วยวิธีการโซลเจลแล้วนำมาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีการจุ่มอัด อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและศึกษาการทำความสะอาดด้วยตนเองโดยนำผ้าที่ตกแต่งด้วยนาโนไททาเนียแล้ว มาทำการเปื้อนคราบกาแฟและไวน์แดง หลังจากนั้นฉายด้วยรังสียูวี ผลปรากฏว่า ทั้งคราบกาแฟและไวน์แดงสามารถถูกกำจัดออกได้ภายในเวลา 28 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบการ

สลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟด้วย ผลปรากฏว่าผ้าสามารถสลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 0.1166 mM ได้ 83% ภายในเวลา 80 ชั่วโมง

Qi, K. และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมด้วยกระบวนการโซลเจล และเคลือบลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด อบแห้ง และอบผนึก โดยสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมไททาเนียโซลนั้นจะใช้ไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ เตรียมในสภาวะกรด (ไนตริกและอะซิติก) และกวนสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 25 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด และทำให้ผ้าเป็นกลางโดยการผ่านแก็สแอมโมเนียจากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และอบผนึกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วไปทดสอบการทำความสะอาดคราบไวน์และสี การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* รวมทั้งตรวจวิเคราะห์ความเป็นผลึกและขนาดอนุภาคไททาเนียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเตรียมไททาเนียโซลที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เกิดขนาดอนุภาคของไททาเนียที่เล็กกว่าขนาดอนุภาคไททาเนียที่เตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ในทางกลับกันผลึกที่เกิดขึ้นของไททาเนียจะเกิดมากที่อุณหภูมิสูง เมื่อนำผ้าไปทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* โดยก่อนทำการทดสอบได้ทำการอังด้วยรังสียูวีความเข้มแสง 35 $\mu W/cm^2$ ก่อน จากการทดสอบพบว่า ผ้าที่เตรียมจากไททาเนียโซลทั้ง 3 เมื่อผ่านการอังยูวีเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า ผ้าสามารถยับยั้งเชื้อได้มากถึง 98-100% และสามารถยับยั้งได้ 100% เมื่อผ้าผ่านยูวีนานถึง 5 ชั่วโมง โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมที่ 25 องศาเซลเซียสแสดงความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดเนื่องจากขนาดผลึกที่เล็กที่สุดนั่นเอง ส่วนความสามารถในการสลายตัวของสีย้อมทั้งสองชนิดนั้นพบว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนั้นสามารถสลายสีย้อมได้มากที่สุด โดยสารละลายสีย้อมจะใสภายในเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนสีย้อมที่ดูดซับอยู่บนผ้าสามารถกำจัดออกได้ภายในเวลา 8 ชั่วโมง ส่วนการขจัดคราบไวน์แดงสามารถขจัดออกได้ภายในเวลา 20 ชั่วโมง นอกจากนี้ทีมงานชุดนี้ยังได้ทำการศึกษา [20] ประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองของอนุภาคนาโนที่เป็น TiO_2/SiO_2 โดยเตรียมเป็นอนุภาคคอมพอสิตโดยให้ TiO_2 เป็นเปลือกหุ้มซิลิกาไว้ ด้วยวิธีโซลเจล จากการทดสอบความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2 อย่างเดียวกับผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2/SiO_2 นั้นพบว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2/SiO_2 นั้นแสดงความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2 เพียงอย่างเดียว

Wu, D. [21] และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์นาโนโซลของไททาเนียด้วยวิธีการโซลเจล โดยการใช้สารตั้งต้นเตตระบิวทิวไททาเนท (Tetrabutyltitanate) ละลายด้วยสารละลายเอทานอล แล้วนำสารละลายดังกล่าวมาหยดลงในสารละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.04 M หลังจากนั้น ทำการคนสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วปล่อยทิ้งไว้อีกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อทำให้ไททาเนียโซลเกิดผลึกมากขึ้นก่อนนำมาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีการจุ่มสารละลาย 2 ครั้ง และผ่านการบีบอัด อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และอบผนึกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำผ้ามาล้างในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำทดสอบความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้าย โดยการจุ่มผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วในสารละลายสี methyl orange ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้น นำผ้าที่เปื้อนสีมาวางไว้ภายใต้แสงซีนอนที่มีความคลื่น 464 นาโนเมตร และทำการวัดความซีดจางของสีเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองพบว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยนาโนโซลของไททาเนีย สีจะซีดจางลงไปเพียง 13% ภายในเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียนาโนโซลสีสามารถซีดจางไปประมาณ 60% ภายในเวลา 3 ชั่วโมงและเมื่อทดสอบความคงทนต่อการซักพบว่า หลังซักผ้ายังคงสามารถทำความสะอาดได้ด้วยตนเองได้ไม่แตกต่างกับก่อนการซักมากนัก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ผ้าฝ้ายทอลายขัด ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรก และขั้นตอนการฟอกขาวแล้ว จากโรงงานฟอกย้อม น้ำหนักของผ้าเท่ากับ 137 กรัมต่อตารางเมตร และมีจำนวนเส้นด้ายยืนและจำนวนเส้นด้ายพุ่งเท่ากับ 65x60 ต่อตารางนิ้ว

3.1.2 ไทเทเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium (IV) isopropoxide) จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ. ซี. เอส. ซีนอน

3.1.3 บิวเทนเตตระคาร์บอกซิลิกแอซิด (Butanetetracarboxylic acid) จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ. ซี. เอส. ซีนอน

3.1.4 โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ โมโนไฮเดรท (Sodium hypophosphite monohydrate) เอ. ซี. เอส. ซีนอน

3.1.5 กรดไนตริก (Nitric acid) ความเข้มข้น 70% จาก บริษัท แล็บซีสเต็มส์ จำกัด

3.1.6 กรดแอซิติก (Acetic acid) ความเข้มข้น 99.7% จาก บริษัท แล็บซีสเต็มส์ จำกัด

3.1.7 กรดซิตริก (Citric acid) จากบริษัท ที.ซี.สถาพร กรุ๊ป

3.1.8 เอทานอล (Ethanol anhydrous) จากบริษัท ที.ซี.สถาพร กรุ๊ป

3.1.9 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) จากบริษัท ที.ซี.สถาพร กรุ๊ป

3.1.10 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrocloric acid) จากบริษัท ที.ซี.สถาพร กรุ๊ป

3.1.11 สีย้อม CIBACRON RED LS-B H-C จาก บริษัท CIBA

3.1.12 กาแฟชนิดผงตรา เนสกาแฟ เรดคัพ (Nescafe® red cup)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องจุ่มอัด (Padder) จาก LABTEX ประเทศไต้หวัน

3.2.2 เครื่องอบผนึก (Stenter) จาก Stenter rapid labortex Co. LTD

3.2.3 เครื่องอบยูวี (UV TEC12) และ UV-Integrator สำหรับวัดพลังงานความเข้มแสงยูวี

3.2.4 เครื่องกวนผสม (Magnetic stirrer) ยี่ห้อ CREST

3.2.5 เครื่องอัลตราโซนิค ยี่ห้อ CREST ULTRASONICS รุ่น 575 HTAE

3.2.6 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) รุ่น D8 Advanced,Bruker AXS

3.2.7 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Macbeth Color-Eye 7000

3.2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6400

3.2.9 เครื่องวัดการคืนตัวของผ้า (Crease recovery angle tester) ยี่ห้อ James H.Heal&Co.Ltd.

3.2.10 เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ LLOYD รุ่น 100 LR

3.2.11 เครื่องยูวีวิสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS spectrophotometer) รุ่น Specord S100

3.2.12 ตู้ไฟมาตรฐาน Color Assessment Cabinet Verivide เพื่อใช้ทดสอบการขจัดคราบเปื้อนกาแฟและการสลายตัวของสีย้อม ซึ่งใช้หลอด Artificial Daylight D65 Standard ขนาด 2 ฟุต ยาว 24 นิ้ว กำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ และหลอด Spare Lamp UVB Standard GE ขนาด 2 ฟุต ยาว 24 นิ้ว กำลังไฟฟ้า 20 วัตต์

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการตกแต่งผ้าด้วยไทเทเนียโซลพร้อมด้วยสารกันยับบิวเทนเตตระคาร์บอกซิลิกแอซิด (BTCA) ทั้งแบบขั้นตอนเดียวและ 2 ขั้นตอนภายใต้การอบผนึกด้วยรังสียูวี แต่จากผลการศึกษาเบื้องต้นที่แสดงเอาไว้ในหัวข้อที่ 4.1 นั้น สรุปได้ว่า ไม่สามารถทำการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยไทเทเนียโซลและสารกันยับ BTCA ทั้งแบบขั้นตอนเดียวหรือ 2 ขั้นตอนได้ เพราะสมบัติกันยับของผ้าที่ตกแต่งด้วยวิธีดังกล่าวแย่กว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง เพราะฉะนั้นการจะได้มาของไทเทเนียจากการเตรียมไทเทเนียโซลไม่สามารถใช้เป็นตัวเร่งให้กับสารกันยับ BTCA ในการทำให้เกิดพันธะโควาเลนท์กับผ้าฝ้ายได้ด้วยการอบผนึกโดยใช้รังสียูวี จึงได้เปลี่ยนแนวทางการศึกษามาทางด้านการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไทเทเนียโซล ภายใต้การอบแห้งด้วยรังสียูวีหรือการอบแห้งด้วยความร้อน

3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไทเทเนียโซลโดยจะทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังนี้

3.3.2.1 ศึกษาสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไทเทเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ในช่วง 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

3.3.2.2 ศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไทเทเนียโซลและอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หรืออบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่ 294 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบ

3.3.2.3 ศึกษาผลกระทบของการอบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไทเทเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรืออบแห้งด้วยรังสียูวี

3.3.2.4 ศึกษาพลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีที่มีระดับพลังงานความเข้มแสงที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 294 622 และ 938 mJ/cm^2 ในการอบแห้งต่อสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไทเทเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมไทเทเนียโซล

การเตรียมไทเทเนียโซลเตรียมได้โดยการค่อยๆ หยดไทเทเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ที่ปริมาตรต่างๆ กันตามที่แสดงเอาไว้ในตารางที่ 3.1 ลงในสารละลายที่ประกอบด้วยกรดแอซิติก 5 มิลลิลิตรที่มีความเข้มข้น 99.7% จากนั้นเติม 0.1 มิลลิลิตรของกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 70% ลงไปในสารละลายแล้วคนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นให้ความร้อนกับสารละลายในขณะที่คนอยู่จนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสและคนสารละลายต่อไปที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

ตารางที่ 3.1 สูตรของการเตรียมสารไทเทเนียโซลที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการตกแต่งบนผ้าฝ้าย

ปริมาตรของสารที่ใช้ (%)	สูตรการเตรียมไทเทเนียโซล			
	1	2	3	4
ไทเทเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์	5	10	15	20
กรดแอซิติก (เข้มข้น 99.7%)	5	5	5	5
กรดไนตริก (เข้มข้น 70%)	0.1	0.1	0.1	0.1
น้ำกลั่น	89.9	84.9	79.9	74.9

3.3.4 ขั้นตอนการตกแต่งไททาเนียโซลลงบนผ้าฝ้าย และทำการอบแห้งด้วยความร้อน หรืออบแห้งด้วยรังสียูวี

3.3.4.1 นำผ้าขนาด 6x7 นิ้ว จุ่มในไททาเนียโซลที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำผ้าผ่านลูกกลิ้งที่ควบคุมความดันไว้ที่ 1.8 kg/cm^2 เพื่อให้ได้ %wet pick up อยู่ที่ประมาณ 80%

3.3.4.2 นำผ้าที่ผ่านการจุ่มอัดแล้วมาอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบผนึก (Stenter) เป็นเวลา 5 นาที หรือ อบด้วยรังสียูวี ด้วยเครื่อง UV TEC 12 ที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 (ซึ่งจะอบทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ด้านละ 5 รอบ)

3.3.4.3 นำผ้าที่ผ่านการอบแห้งแล้วล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

3.3.4.4 นำผ้าเฉพาะที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่ผ่านการอบแห้งด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หรือที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่ 294 mJ/cm^2 ที่ได้ผ่านการล้างด้วยน้ำเปล่าแล้วมาอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อีกครั้งในขั้นตอนนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบของการอบผนึกต่อสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

3.3.4.5 นำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) นำมาอบแห้งที่พลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 294 622 และ 938 mJ/cm^2 (ซึ่งจะอบทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ด้านละ 5 รอบ) ในขั้นตอนนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีต่อสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

3.3.5 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

3.3.5.1 วิเคราะห์เฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction:XRD) รุ่น D8 Advance, Bruker AXS จากนั้น เปรียบเทียบพีคที่เกิดขึ้นจากกราฟว่าไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่บนผ้าเป็นเฟสใดโดยใช้ Standard diffraction patterns of the Joint Committee Powder Diffraction Standard (JCPDS) โดยภาวะที่ใช้ทดสอบ คือ

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray source)	Cu-Kα
ความยาวคลื่น	0.154 นาโนเมตร
Voltage	40 กิโลโวลต์
Current	40 มิลลิแอมแปร์
มุมสแกน (2θ)	5-55 องศา
ความเร็วสแกน (Scanning rate)	0.02 องศาต่อวินาที

3.3.5.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานภายนอกของผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy:SEM) รุ่น JSM-6400 ยี่ห้อ JEOL

นำผ้าที่ต้องการตรวจลักษณะพื้นผิวไปตรวจสอบลักษณะสัณฐานภายนอกด้วยเทคนิคสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโกปี โดยนำผ้าตัวอย่างทดสอบมาวางบนก้อนทองเหลือง จากนั้นนำตัวอย่างไปฉาบด้วยทองคำ ใช้ลำอิเล็กตรอนขนาด 15 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 2500 เท่า

3.3.5.3 การทดสอบด้านความเหลืองของผ้า (Yellowness Index)

วัดค่าดัชนีความเหลืองและดัชนีความขาวของผ้าที่ต้องการทดสอบโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Macbeth Color eye 7000 ซึ่งจะทำการวัดการสะท้อนแสงของผ้า แล้วคำนวณหาค่าดัชนีความเหลือง (Yellowness Index) ตามมาตรฐานในเครื่องคือ ASTM E313-00 และดัชนีความขาวตามมาตรฐาน CIE whiteness โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงคือ Daylight 65 (D65) และองศาที่ใช้ทดสอบคือ 10°

3.3.5.4 การทดสอบองศาการคืนตัวของผ้าต่อการยับ (Wrinkle Recovery Angle) ตามมาตรฐาน AATCC Test Method 66-1990-Wrinkle Recovery of Woven Fabric:Recovery Angle

ทำการทดสอบโดยการตัดผ้าชิ้นทดสอบให้มีขนาด 15x40 มิลลิเมตร (ทั้งตามแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืน) จากนั้นนำผ้าชิ้นทดสอบพับครึ่งแล้วทับด้วยตุ้มน้ำหนัก 500 กรัม เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้คืนตัวอย่างอิสระเป็นระยะเวลา 5 นาที วัดองศาการคืนตัวของผ้าด้วยเครื่อง Crease recovery angle tester ซึ่งองศาการคืนตัวต่อการยับจะเท่ากับผลบวกขององศาการคืนตัวต่อการยับตามแนวด้ายพุ่งและด้ายยืนรวมกัน

3.3.5.5 การทดสอบสมบัติด้านความทนแรงดึง (Tensile strength) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D5035 Standard test Method for Breaking Force and Elongation of Textile fabric (Strip Method)

นำผ้าที่ต้องการทดสอบมาตัดเป็นชิ้นขนาด 25x150 มิลลิเมตร ตามแนวด้ายยืน จากนั้นทำการดึงยืดผ้าด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ LLOYD รุ่น 100 LR เพื่อหาค่า Stress at maximum load (MPa) แล้วหาค่าเฉลี่ยจากชิ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้น จากนั้นคำนวณหาค่าความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้า (Tensile strength retention) โดยภาวะที่ใช้ทดสอบคือ

ขนาด load cell	1000 นิวตัน
ระยะการจับยึดชิ้นงาน (Gauge length)	75 มิลลิเมตร
อัตราเร็วในการดึงยืด	300 มิลลิเมตรต่อนาที

3.3.5.6 การทดสอบความสามารถในการสลายตัวของสีย้อม (Dye decomposition) ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างกราฟเทียบมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อม CIBACRON RED LS-B HC ที่ความเข้มข้น 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 กรัมต่อลิตร และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (absorbance) ของสารละลายสีย้อมที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer จากนั้นสร้างกราฟเทียบมาตรฐาน (Calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสีย้อมและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของแต่ละความเข้มข้น

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบความสามารถในการสลายตัวของสีย้อมของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ทำได้ดังนี้

(1) ตัดผ้าชิ้นที่ต้องการทดสอบเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1x1 เซนติเมตร และชั่งให้ได้หนัก 1 g

(2) เตรียมสารละลายสีย้อม CIBACRON RED LS-B HC ความเข้มข้น 0.04 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

(3) นำผ้าที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วแช่ในสารละลายสีย้อมที่เตรียมเสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบโดยใช้ตู้ไฟมาตรฐาน Color Assessment Cabinet Verivide ภายใต้หลอด Daylight 65 (D65) หรือหลอด UV lamp

(4) วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ของสารละลายสีย้อมที่เปลี่ยนไปด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมง

(5) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบหาความเข้มข้นกับกราฟเทียบมาตรฐาน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา

3.3.5.7 การทดสอบความสามารถในการขจัดคราบรอยเปื้อนกาแฟ

(1) ตัดผ้าที่ต้องการทดสอบขนาด 5x5 เซนติเมตร

(2) เตรียมสารละลายกาแฟล้วนยี่ห้อ เนสกาแฟ เรดคัพ ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร

(3) จุ่มผ้าที่ต้องการทดสอบในสารละลายกาแฟที่เตรียมเรียบร้อยแล้วเป็นเวลา 1 นาที บีบอัดผ่านลูกกลิ้งด้วยเครื่องบีบอัด % wet pick up เท่ากับ 80 ตากไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบโดยวางชิ้นทดสอบไว้ในตู้ไฟมาตรฐาน Color Assessment Cabinet Verivide โดยหลอดไฟที่ใช้ทดสอบคือหลอด Daylight 65 (D65) และหลอด UV lamp

(4) ก่อนทำการทดสอบ ทำการวัดค่า K/S ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ของผ้าเปื้อนกาแฟก่อนเพื่อเก็บเป็นข้อมูลเริ่มต้น จากนั้นทำการทดสอบและวัดค่า K/S ที่เปลี่ยนไปทุก 2 ชั่วโมง ที่เวลา 0-24 ชั่วโมง โดยค่า K/S คือ ค่าความเข้มสีของผ้า (Color strength) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

K	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Coefficient of absorption)
S	คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิง (Coefficient of scatter)
R	คือ ค่าการสะท้อนของคลื่นแสง (Reflectance)

(5) นำค่า K/S ที่เปลี่ยนไปมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มกาแฟที่เปื้อนอยู่บนผ้าที่ต้องการทดสอบตามสมการ จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มกาแฟที่เปื้อนอยู่บนผ้าที่ต้องการทดสอบ (%Decrease in K/S) กับเวลา

$$\%\text{Decrease in } K/S = \frac{K/S_0 - K/S_{\text{ที่เวลาต่างๆ}}}{K/S_0} \times 100$$

%Decrease in K/S	คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มกาแฟที่เปื้อนอยู่บนผ้าชิ้นทดสอบ
K/S_0	คือ ค่า K/S ของผ้าเปื้อนคราบกาแฟที่ยังไม่ได้ทดสอบ
$K/S_{\text{ที่เวลาต่างๆ}}$	คือ ค่า K/S ของผ้าเปื้อนคราบกาแฟที่เปลี่ยนไปที่เวลาต่างๆ ในช่วง 0-24 ชั่วโมง

3.3.5.8 การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ

การทดสอบสมบัติด้านนี้ได้ใช้มาตรฐานในการทดสอบ 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานการทดสอบของ AATCC Test Method 147-1998-Antobacterial Activity Assessment of Textile Materials:Parallel Streak Method ซึ่งมีหลักการคือ ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตรและยาว 50 มิลลิเมตร จากนั้นนำผ้าชิ้นที่ต้องการทดสอบไปอังยูวี ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ด้านละ 20 นาที ก่อนแล้วจึงนำผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบไปวางให้แนบที่สุดบนเชื้อแบคทีเรียที่ถูกลากเป็นเส้นยาว 60 มิลลิเมตร จำนวน 5 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นห่างกัน 10 มิลลิเมตรลงบนแผ่นวุ้นที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อ หลังจากนั้นทำการเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตว่ามีขอบเขตของการปลอดเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า Clear zone เกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งเป็นขอบเขตของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เจริญเติบโต

และอีกมาตรฐานหนึ่งในการทดสอบ คือ มาตรฐาน AATCC Test Method 100 1998-Antibacterial Finishes on Textile Material ซึ่งมีหลักการคือ ตัดผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร (ความหนาของผ้าต้องมากพอที่จะสามารถดูดซับสารละลายที่มีเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 1 มิลลิลิตรได้หมด) จากนั้น วางผ้าชิ้นทดสอบบนจานเพาะเชื้อแล้วปิเปตสารละลายที่มีเชื้อแบคทีเรียอยู่ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงบนผ้าที่ต้องการทดสอบให้เชื้อกระจายบนชิ้นทดสอบอย่างทั่วถึงและปล่อยให้ผ้าดูดซับสารละลายนั้นจนหมด แล้วจึงนำผ้าชิ้นทดสอบนี้วางในขวดแก้ว โดยทำการทดสอบจำนวน 2 ขวด จากนั้นเอาขวดแรกมาทำการทดสอบก่อนโดยปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยสารละลายบัพเฟอร์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 1 นาทีเพื่อให้เชื้อหลุดออกมา ดูดสารละลายในขวดแก้วมา 0.1 มิลลิลิตร แล้วทำการเจือจางตามความเหมาะสม จากนั้นทำการเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้นต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่านี้แทนด้วย A (นับเป็นเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์) ส่วนขวดที่ 2 ทิ้งเอาไว้ 24 ชั่วโมงก่อน จากนั้นนำมาปรับสภาพให้เป็นกลางเหมือนขวดแรกจากนั้นดูดเชื้อจากขวดแก้วมาทำการเพาะเชื้ออีกครั้ง แล้วนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้น โดยให้ค่านี้แทนด้วย B หลังจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction) ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\%Reduction = 100(A-B)/A$$

A คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากชิ้นทดสอบ ซึ่งมีเวลาสัมผัส เชื้อเท่ากับ 0 ชั่วโมง

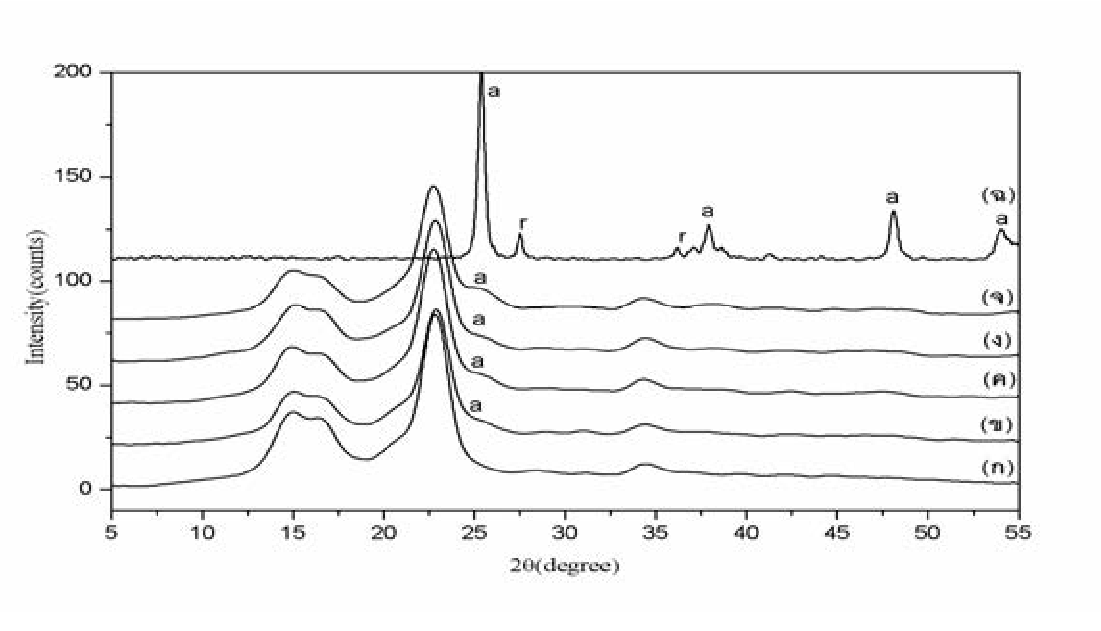
B คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากชิ้นทดสอบ ซึ่งมีเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับ 24 ชั่วโมง

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของไททาเนีย สมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเอง สมบัติทางกายภาพ และลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่แตกต่างกัน

4.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction,XRD)

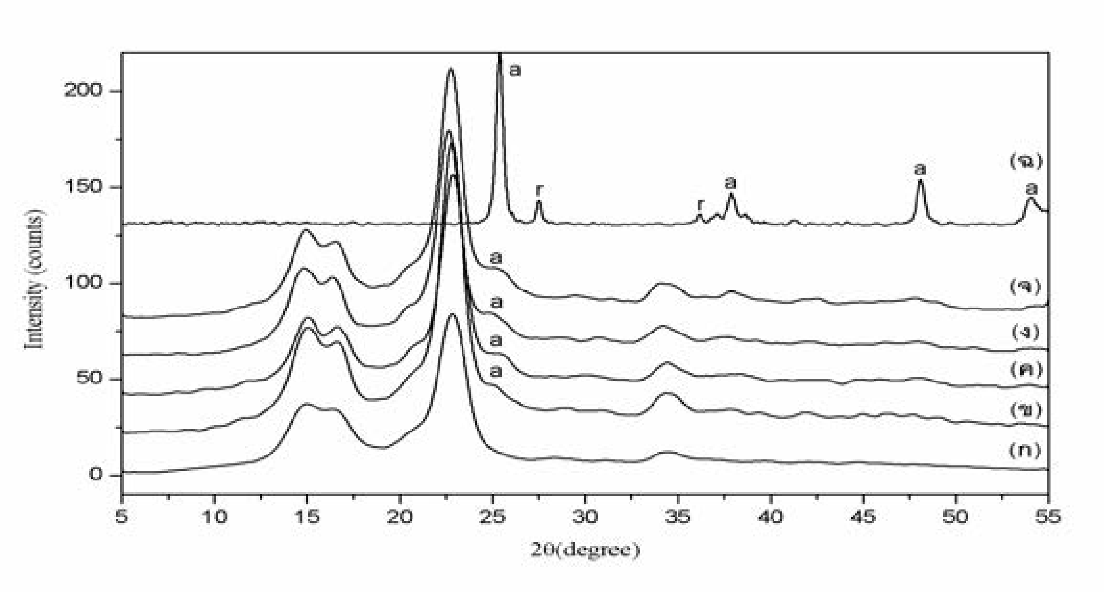
นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันตามตารางที่ 3.1 และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ ไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียที่อยู่บนผ้าด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียบนผ้าฝ้าย (ก) ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นสารตั้งต้น TTIP (ข) 5 % (ค) 10 % (ง) 15 % และ (จ) 20 % (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ (ฉ) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)

จากการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของไททาเนียที่อยู่บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล พบว่า ไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดอะนาเทสจะแสดงลักษณะผลึกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25.28° และตำแหน่งดังกล่าวจะสังเกตได้ค่อนข้างชัดเจนบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นสารตั้งต้น 20% ส่วนที่ความเข้มข้นอื่นๆ ของ TTIP เห็นพีคดังกล่าวได้ไม่ค่อยชัดเจนนักตามลำดับความเข้มข้นของ TTIP ที่ใช้ในการเตรียมไททาเนียโซล ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไททาเนียโซลที่อยู่บนผ้าอาจมีผลึกไททาเนียที่ค่อนข้างน้อย มีขนาดเล็ก หรือไททาเนียที่เกิดขึ้นมีความเป็นอสัณฐานสูง จึงทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ สำหรับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งจะไม่ปรากฏพีคที่ตำแหน่งดังกล่าว

ส่วนผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียที่อยู่บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 นาที แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2

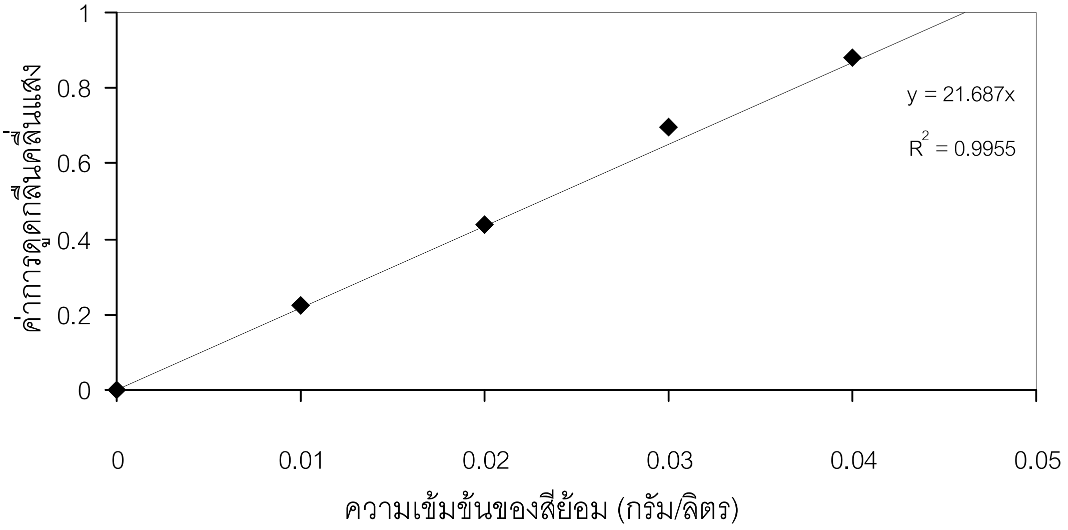


รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียบนผ้าฝ้าย (ก) ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นสารตั้งต้น TTIP (ข) 5 % (ค) 10 % (ง) 15 % และ (จ) 20 % (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที (ฉ) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกัน จะปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25.28° ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับที่ปรากฏบนผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี นั่นคือ ไททาเนียที่ปรากฏบนผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นไททาเนียที่มีลักษณะผลึกเป็นแบบอะนาเทส นั่นแสดงว่า ผ้าที่ผ่านการอบทั้งสองวิธีจะปรากฏผลึกไททาเนียชนิดอะนาเทสเหมือนกันบนผ้าที่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและจะไม่พบพีคดังกล่าวนี้สำหรับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

4.1.2 ผลการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลด้านความสามารถในการสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟ

ทำการศึกษาการสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟสีแดงประเภท CIBACRON RED LS-B h-c ซึ่งสีดังกล่าวสามารถดูดกลืนคลื่นแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ในรูปที่ 4.3 ได้แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสีย้อม CIBACRON RED LS-B h-c และค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสี ณ ความเข้มข้นต่างๆ (Calibration curve)



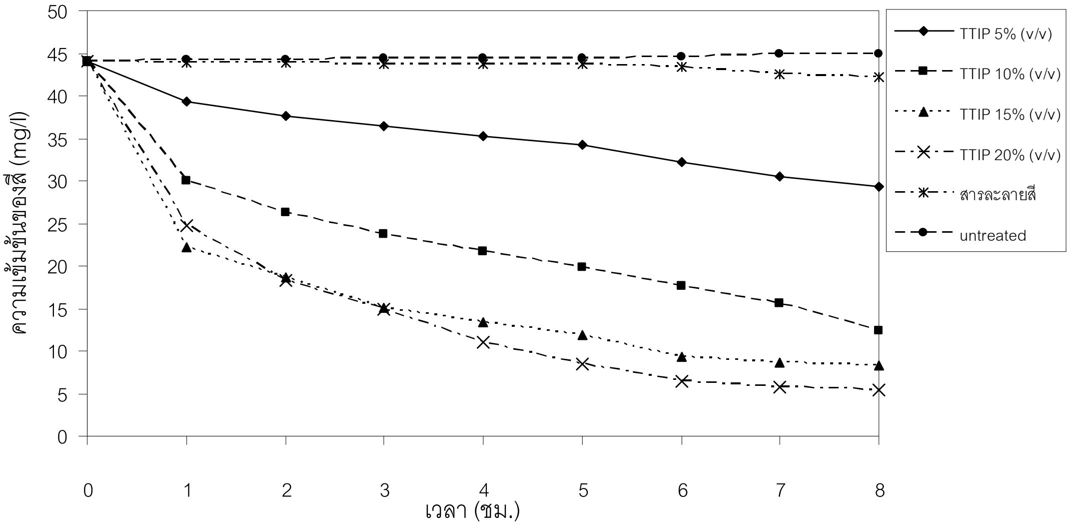
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสี CIBACRON RED LS-B h-c และค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสี ณ ความเข้มข้นต่างๆ

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและอบแห้งด้วยความร้อน หรืออบแห้งด้วยรังสียูวีมาทดสอบการสลายตัวของสีรีแอคทีฟที่ช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง โดยทำการวัดการสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวี หรือหลอด D65 ซึ่งผลการสลายตัวของสีรีแอคทีฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 5 10 15 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 นาที ภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ

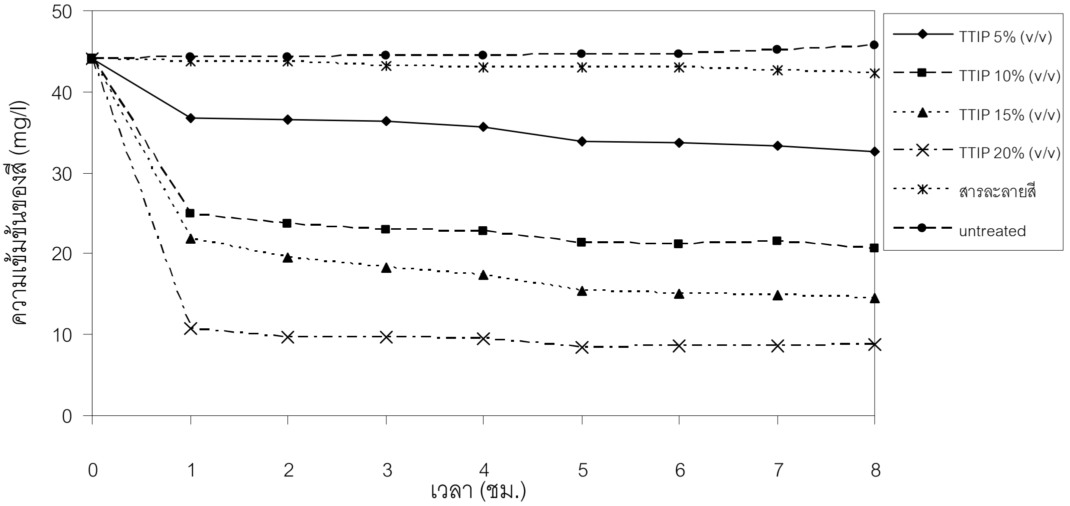
จากผลที่ได้ในรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลไม่แสดงความสามารถใดๆ ในการสลายตัวของสีซึ่งสังเกตได้จากความเข้มข้นของสารละลายสีในช่วงเวลาที่ทดสอบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งผลที่ได้คล้ายคลึงกับความเข้มของสารละลายสีในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นสูงมีอัตราการสลายตัวของสีรีแอคทีฟรวดเร็วกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่ำ โดยผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 15% (ปริมาตร/ปริมาตร)นั้นที่เวลา 2 ชั่วโมงพบว่า การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีสามารถสลายตัวได้มากกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แต่เมื่อเวลา 3-8 ชั่วโมง พบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) สามารถสลายสีรีแอคทีฟได้ดีที่สุด นั่นเป็นเพราะ เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ในไททาเนียโซลจะช่วยเพิ่มโอกาสในการเกิดไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้นมีผลทำให้มีปริมาณไททาเนียบนผ้ามากขึ้นด้วย โดยผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) นั้นเมื่อทดสอบภายใต้หลอดยูวีหรือหลอด D65 พบว่าผ้าสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้ประมาณ 87.6% และ 80.2% ตามลำดับ สำหรับความสามารถในการสลายสีรีแอคทีฟของไททาเนียนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดน้ำเสียที่มีสีย้อมรีแอคทีฟเป็นสารปนเปื้อนอยู่ได้ ซึ่งไททาเนียที่เตรียมจาก TTIP เข้มข้น 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) จะแสดงประสิทธิภาพในการสลายสีรีแอคทีฟได้ดีกว่าไททาเนียที่เตรียมจากความเข้มข้น TTIP 5-15% (ปริมาตร/ปริมาตร)

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 พบว่า ภายใต้หลอดยูวีมีการสลายตัวของสีรีแอคทีฟเร็วกว่าภายใต้หลอด D65 ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานความเข้มแสงจากหลอดยูวีนั้นสูงกว่าหลอด D65 โดยพลังงานความเข้มแสงจากหลอดยูวีจะมีค่าเท่ากับ 0.33 mW/cm^2 ในขณะที่พลังงานความเข้มแสงจากหลอด D65 มีค่าเท่ากับ 0.05 mW/cm^2 ซึ่งความเข้มแสง (Light intensity) ที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลต่อความสามารถในการ

เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไททาเนียซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการสลายตัวของสีรีแอคทีฟนั่นเอง

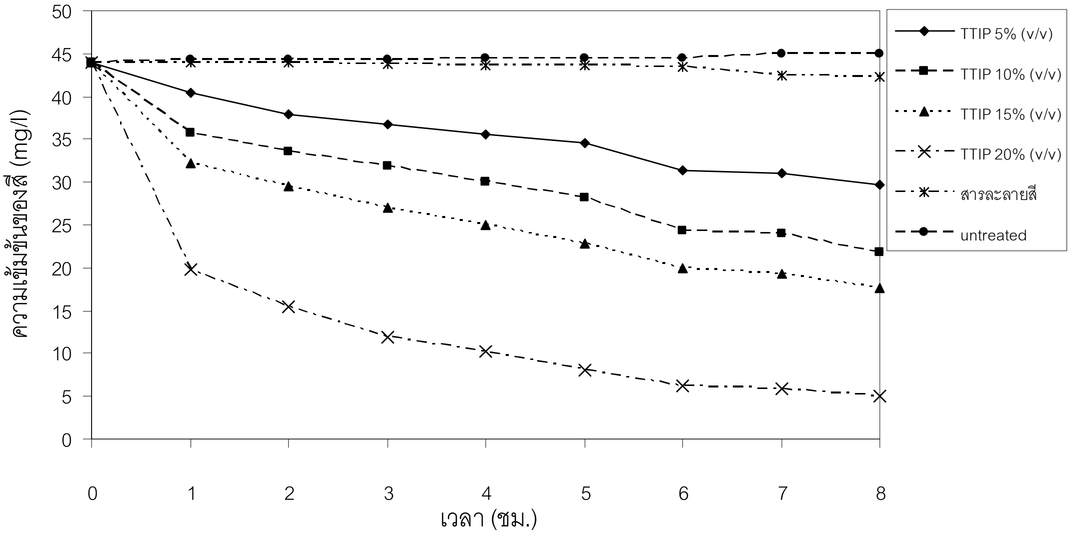


รูปที่ 4.4 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

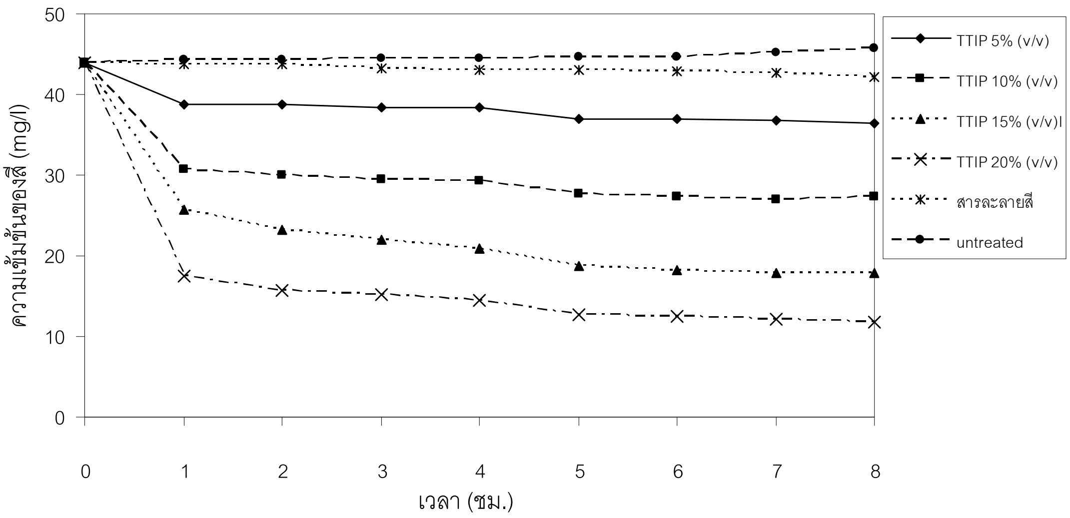


รูปที่ 4.5 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

ส่วนรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะแสดงการสลายตัวของสีรีแอคทีฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 10 15 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ ทดสอบภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 สรุปได้ว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นTTIP สูงมีแนวโน้มการสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 ได้รวดเร็วกว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่ำ และผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) นั้นสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้มากที่สุดทั้งภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 โดยสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้ประมาณ 88.5% และ 73.2% ตามลำดับ นอกจากนี้ ภายใต้หลอดยูวียังสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้เร็วกว่าและมากกว่าการสลายตัวของสีภายใต้หลอด D65 ซึ่งเป็นผลสอดคล้องกับผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที



รูปที่ 4.6 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ



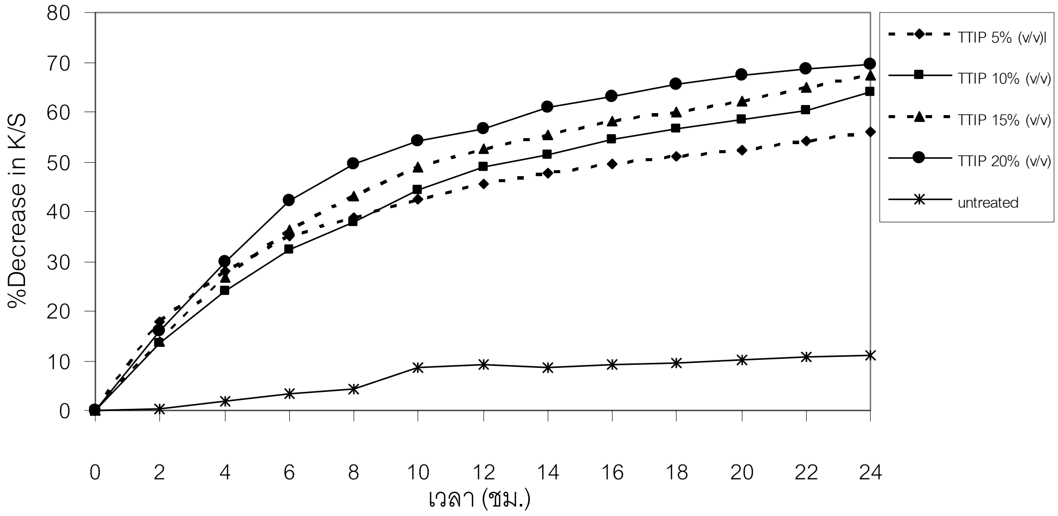
รูปที่ 4.7 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ

4.1.3 ผลการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลด้านความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ

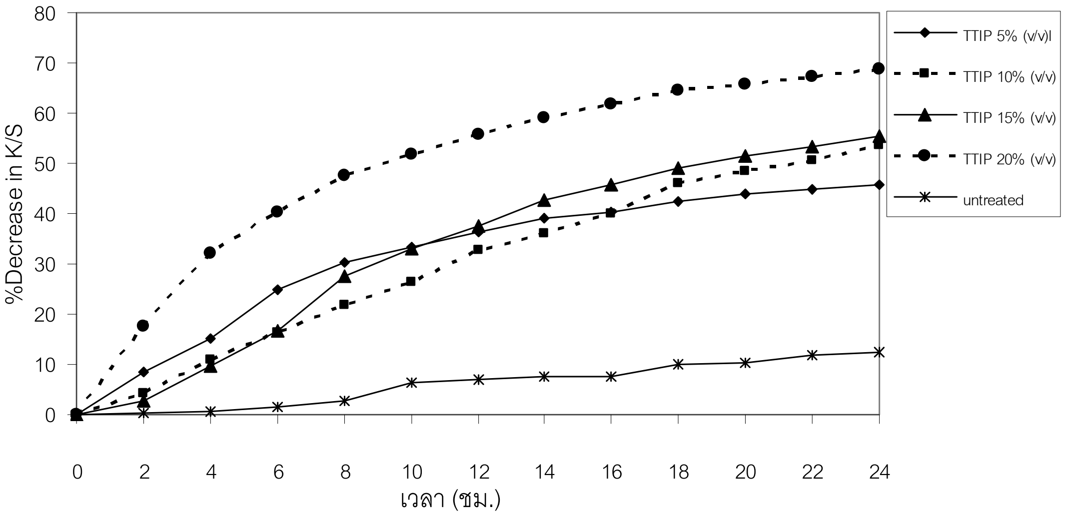
นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลกับผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 10 15 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มาทำการเปื้อนคราบกาแฟ ผลของการดูดซับกาแฟจะพบว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลนั้นจะดูดซับกาแฟได้น้อยกว่าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล แต่เมื่อนำผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งมาทดสอบการซีดจางของคราบกาแฟภายใต้หลอดยูวีหรือหลอด D65 โดยดูได้จากค่า K/S ที่ลดลงที่เวลาต่างๆ ณ ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร จากนั้นนำค่า K/S ที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มสีกาแฟที่เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

จากรูปที่ 4.8 เป็นการทดสอบการซีดจางของคราบกาแฟภายใต้หลอดยูวี พบว่า เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าไม่เกิดการสลายของคราบกาแฟ ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 และ 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่เวลา 8 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ที่ใกล้เคียงกันคือ 38.7 และ 37.9% ตามลำดับ แต่เมื่อใช้เวลาในการทดสอบนานขึ้นถึง 24 ชั่วโมง พบว่า ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีความสามารถในการ

กำจัดคราบเปื้อนกาแฟได้ดีที่สุด โดยดูจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 70% ส่วนที่ความเข้มข้น TTIP 5 10 และ 15% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 56 64 และ 67% ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4.9 เป็นการทดสอบภายใต้หลอด D65 พบว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) สามารถกำจัดคราบเปื้อนกาแฟได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S อยู่ที่ 69% ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 10 และ 15% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 46 54 และ 56% ตามลำดับและเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ภายใต้หลอด D65 น้อยกว่าค่าดังกล่าวของการทดสอบภายใต้หลอดยูวี นั่นแสดงว่า หลอดยูวีที่มีความเข้มแสงมากกว่าช่วยกระตุ้นการทำงานของไททาเนียบนผ้าฝ้ายให้เกิดการสลายตัวคราบกาแฟได้ดีกว่าของหลอด D65



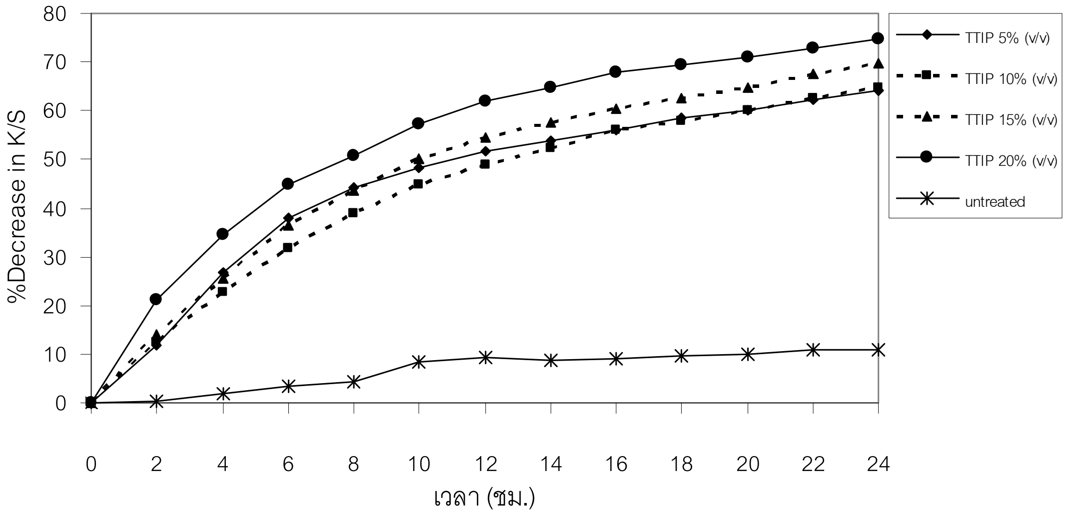
รูปที่ 4.8 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ภายใต้หลอดยูวี



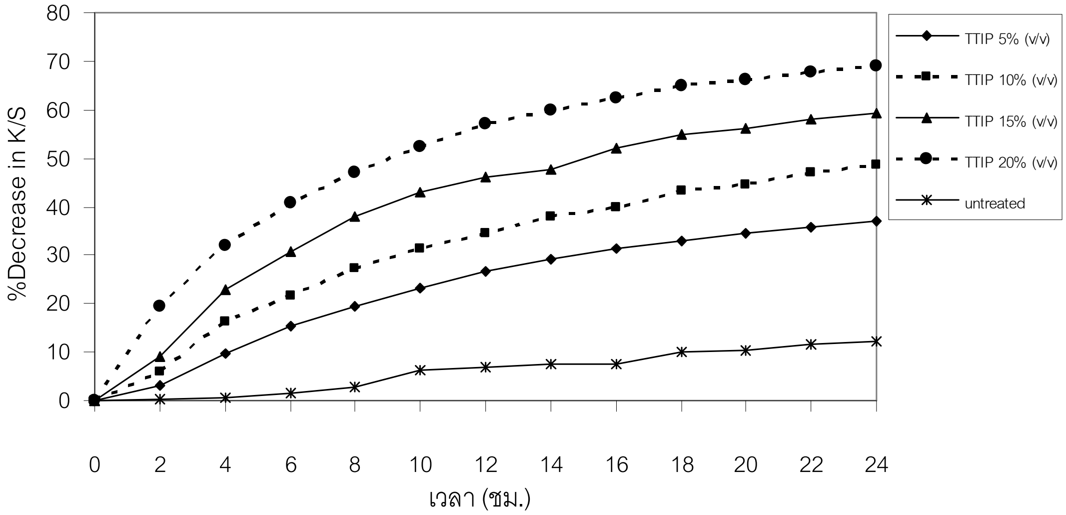
รูปที่ 4.9 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ภายใต้หลอด D65

ส่วนผลการกำจัดคราบกาแฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 5 10 15 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบ ทดสอบด้วยหลอดยูวีและหลอด D65 แสดงไว้ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ที่ทดสอบด้วยหลอดยูวี โดยผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ที่น้อยมาก ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) สามารถกำจัดคราบเปื้อนกาแฟได้ดีที่สุดโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ที่เวลา 24 ชั่วโมง ประมาณ 75% ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 10 และ 15% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 64 65 และ 70% ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4.11 เป็นการทดสอบภายใต้หลอด D65 พบว่าผ้าสามารถกำจัดคราบเปื้อนกาแฟได้เร็วขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ TTIP ดูได้จากเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S เมื่อเวลา 24 ชั่วโมง โดยผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) สามารถกำจัดคราบเปื้อนกาแฟได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 69% ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 5 10 และ 15% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 37 49 และ 59% ตามลำดับ



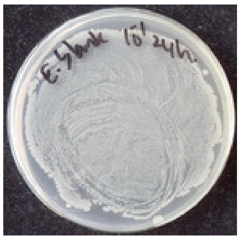
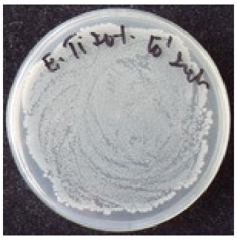
รูปที่ 4.10 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ ภายใต้หลอดยูวี



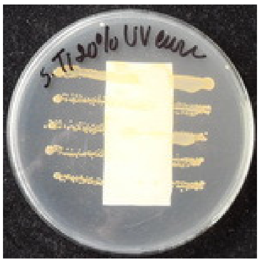
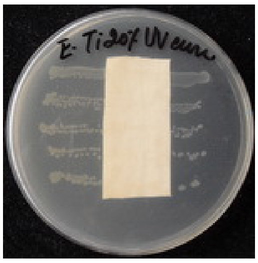
รูปที่ 4.11 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 ภายใต้หลอด D65

4.1.4 ผลการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลด้านความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

นำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 5 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที หรืออบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบนั้น มาทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ตามมาตรฐาน AATCC 100 ผลของการยับยั้งเชื้อจะเป็นการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย โดยก่อนการทดสอบจะทำการกระตุ้นไททาเนียที่อยู่บนผ้าชิ้นทดสอบก่อนโดยการอังด้วยหลอดยูวีด้านละ 20 นาที ผลการทดสอบที่ได้ไม่ได้แสดงผลการยับยั้งเชื้อทั้งสองชนิดนี้ดังรูปที่ 4.12 เนื่องจากผลการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 ได้ผลเชิงลบ จึงไม่ได้ทำการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียทุกความเข้มข้นของ TTIP ที่เหลือ จึงได้นำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP ที่ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) มาทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 147 ซึ่งก่อนการทดสอบได้ทำการอังด้วยหลอดยูวีบนผ้าชิ้นทดสอบเช่นเดิม จากผลการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 147 ดังรูปที่ 4.13 สรุปได้ว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลไม่ได้แสดงการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* แต่อย่างใด เพราะไม่แสดงระยะ clear zone และใต้ผ้าชิ้นทดสอบเชื้อทั้งสองก็ยังคงพบเชื้ออยู่ นั่นแสดงว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลในขั้นตอนนี้ไม่สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้

	Staphylococcus aureus	*Escherichia coli*
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง		
ผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 5% (ปริมาตร/ปริมาตร)และอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที		
ผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที		
ผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 5% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ		
ผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ		

รูปที่ 4.12 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และเชื้อ *E. coli* ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100

	Staphylococcus aureus	*Escherichia coli*
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง		
ผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที		
ผ้าที่ตกแต่งด้วย TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ		

รูปที่ 4.13 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และเชื้อ *E. coli* ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 147

4.1.5 **สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล**

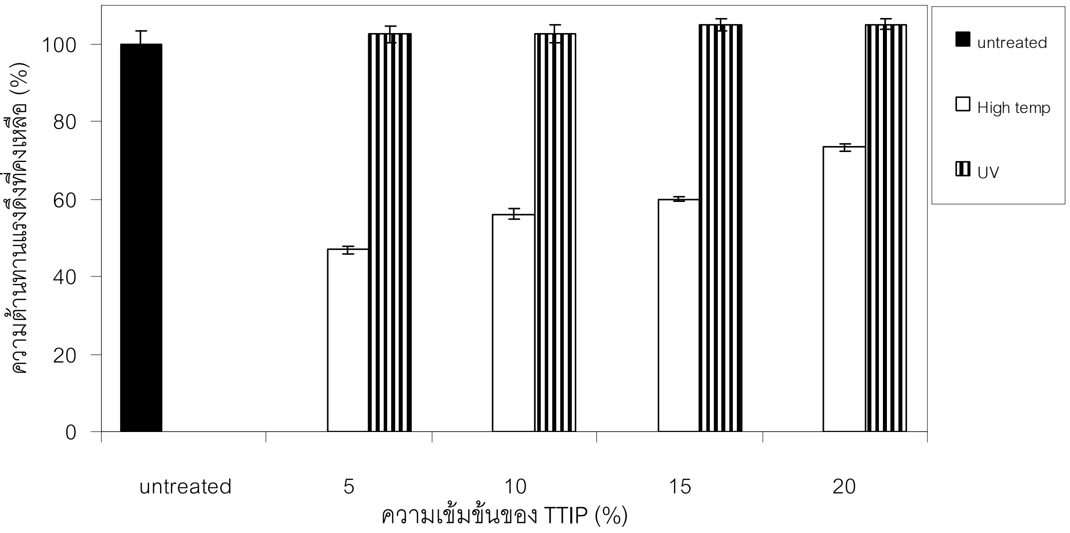
สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลได้ทำการศึกษาทั้งหมด 4 ด้านด้วยกัน คือ องศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลือง ดัชนีความขาว และความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพทั้ง 4 ของผ้าที่อบด้วยวิธีที่แตกต่างกันระหว่างอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบและอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลืองและค่าดัชนีความขาวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและอบด้วยวิธีที่แตกต่างกันได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การอบด้วยรังสียูวีมีผลต่อความ

เหลืองที่เกิดขึ้นบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลมากกว่าผ้าที่อบด้วยความร้อน แนวโน้มความเหลืองที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มความเข้มข้นของ TTIP ส่วนองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนให้ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับโดยภาพรวมที่ดีกว่าของผ้าที่อบด้วยรังสียูวี แต่อย่างไรก็ตามค่าองศาการคืนตัวต่อการยับแย่กว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ถ้ามาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของผ้าที่เกิดการยับนั้นเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่มากภายในโครงสร้างผ้าฝ้าย ซึ่งถ้าพันธะไฮโดรเจนยิ่งมีมาก การยับก็เกิดได้ง่าย ส่งผลให้ผ้าสามารถคืนตัวได้น้อย ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มปริมาตรของ TTIP ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับก็จะน้อยลง นั่นอาจจะหมายความว่า มีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นมาก ซึ่งพันธะดังกล่าวอาจมาจาก $Ti(OH)_4$ ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของผ้า

ส่วนผลการทดลองของความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5 10 15 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.14 จากรูปจะเห็นได้ว่าการอบผ้าด้วยรังสียูวีมีผลต่อการทำลายความแข็งแรงของผ้าน้อย ทั้งนี้เพราะค่าความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้ายังคงใกล้เคียงกับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยความร้อน พบว่า การอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสมีผลต่อความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าค่อนข้างมาก โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของ TTIP 5% (ปริมาตร/ปริมาตร) ซึ่งจะมีความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือน้อยที่สุดและจะดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ TTIP เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีปริมาณพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าและหมู่ไฮดรอกซิลของไททาเนียที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลองศาการคืนตัวต่อการยับ ดัชนีความเหลืองและดัชนีความขาวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันแล้วอบด้วยรังสียูวีพลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 หรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

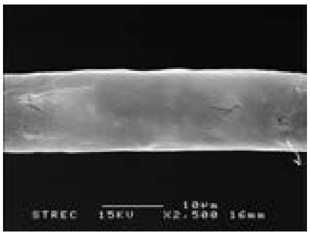
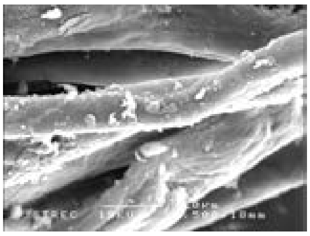
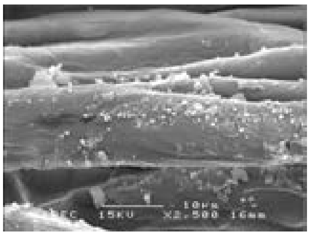
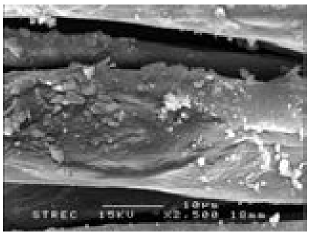
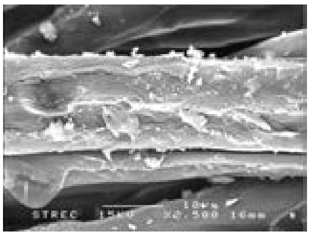
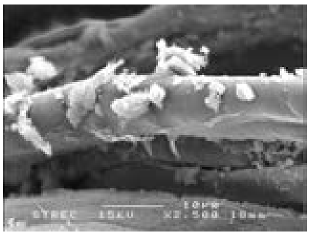
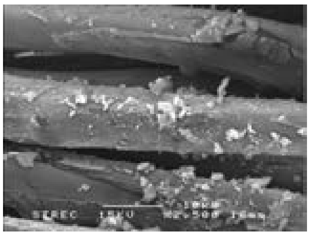
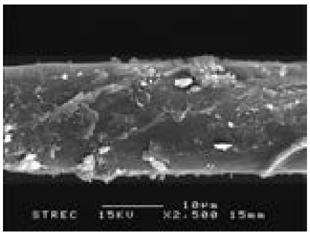
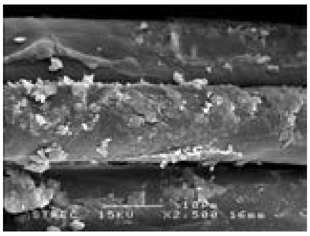
ความเข้มข้นของ TTIP (%)	องศาการคืนตัวต่อการยับ แนวด้ายยืน+แนวด้ายพุ่ง (องศา)		ดัชนีความเหลือง		ดัชนีความขาว	
	อบแห้งด้วยรังสียูวี	อบแห้งด้วยความร้อน	อบแห้งด้วยรังสียูวี	อบแห้งด้วยความร้อน	อบแห้งด้วยรังสียูวี	อบแห้งด้วยความร้อน
Untreated	145		4.52		75.48	
5	121	137	8.28	7.79	66.1	66.75
10	126	134	9.76	8.03	61.01	66.26
15	119	146	10.98	8.12	57.95	66.13
20	116	120	11.08	8.26	58.27	66.23



รูปที่ 4.14 ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

4.1.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 5 10 15 และ 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.15 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะของไททาเนียที่อยู่บนผ้ามีลักษณะเป็นเม็ดกลมเล็ก แต่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นก้อนที่มีขนาดไม่เท่ากันกระจายอยู่บนผิวเส้นใยทั้งนี้อาจเป็นเพราะไททาเนียที่เกิดขึ้นมีการเกาะกลุ่มกัน (aggregate) ซึ่งลักษณะของไททาเนียที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ TTIP ให้มากขึ้นจะมีปริมาณของไททาเนียบนผ้าเพิ่มมากขึ้นหรือไม่ แต่ผลการทดสอบทางด้านการสลายตัวของสีย้อมและการขจัดคราบกาแฟดีขึ้นเมื่อใช้ไททาเนียโซลที่มีความเข้มข้นมากขึ้นในการตกแต่งผ้า

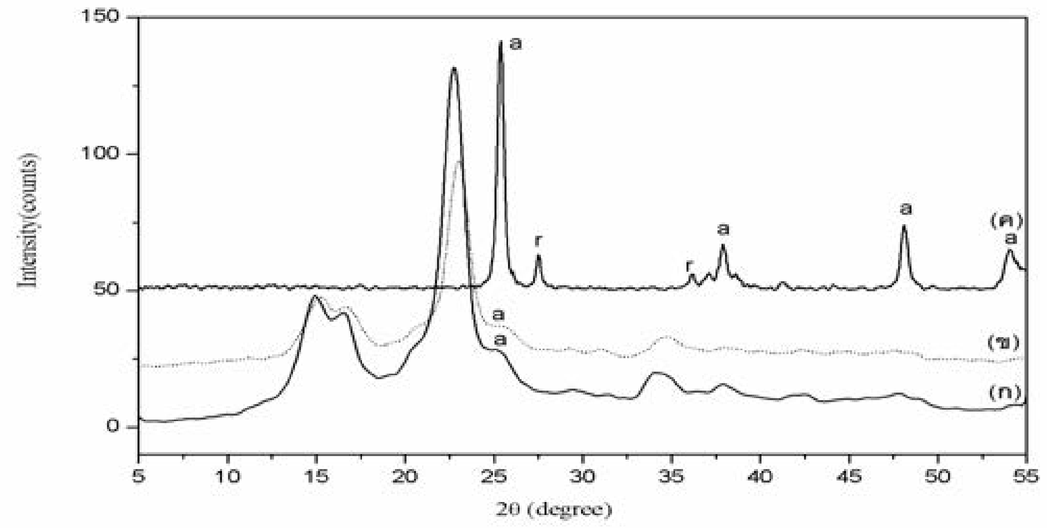
ความเข้มข้นของ TTIP (%)	อบแห้งด้วยรังสียูวี	อบแห้งด้วยความร้อน
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง		
5		
10		
15		
20		

รูปที่ 4.15 แสดงสัณฐานวิทยาของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP ที่แตกต่างกัน และอบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2500 เท่า

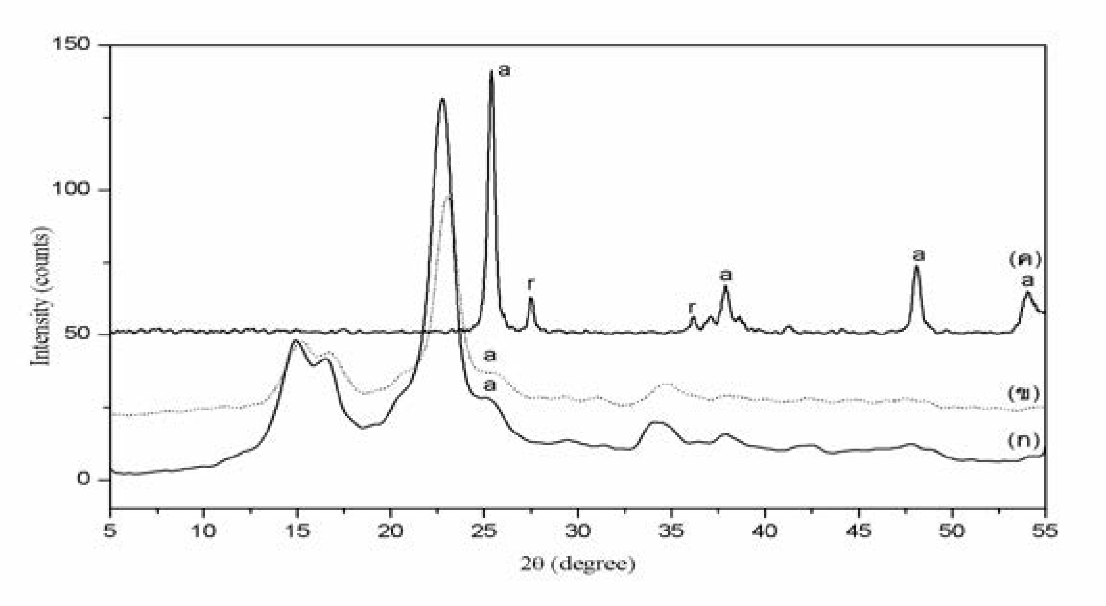
4.2 ศึกษาผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อโครงสร้างผลึกของไททาเนีย สมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเอง สมบัติทางกายภาพ และลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

4.2.1 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อโครงสร้างผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มาอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียที่อยู่บนผ้าด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์ผลึกของไททาเนียจากเครื่อง XRD ได้สรุปเอาไว้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยรังสียูวีอย่างเดียว กับผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที จากรูปจะเห็นได้ว่าผ้าทั้งสองผืนจะปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 25.28° ซึ่งเป็นพีคของผลึกชนิดอะนาเทส แต่พีคของผ้าที่ผ่านอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้นจะชัดเจนกว่าผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีเพียงอย่างเดียว นั่นอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อนำผ้ามาอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้นทำให้ผลึกของไททาเนียที่อยู่บนผ้ามีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนในรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของไททาเนียที่อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสอย่างเดียว กับผ้าที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากรูปผ้าทั้งสองผืนปรากฏพีค 2θ ที่ตำแหน่ง 25.28° เช่นเดียวกับผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสียูวี และผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจะปรากฏพีคที่ชัดเจนกว่าผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสอย่างเดียวเช่นกัน



รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ TTIP 20 มิลลิลิตร (ก) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ (ข) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (ค) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)

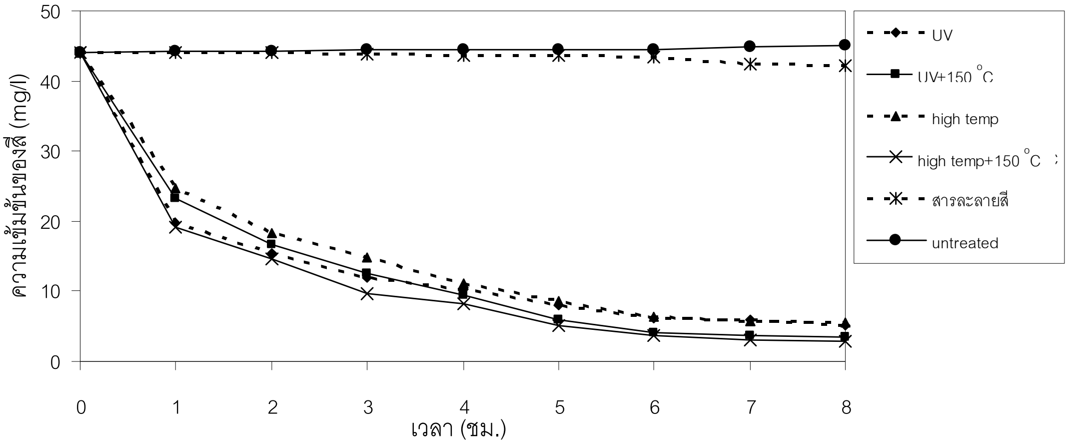


รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ TTIP 20 มิลลิลิตร (ก) อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (ข) อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (ค) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)

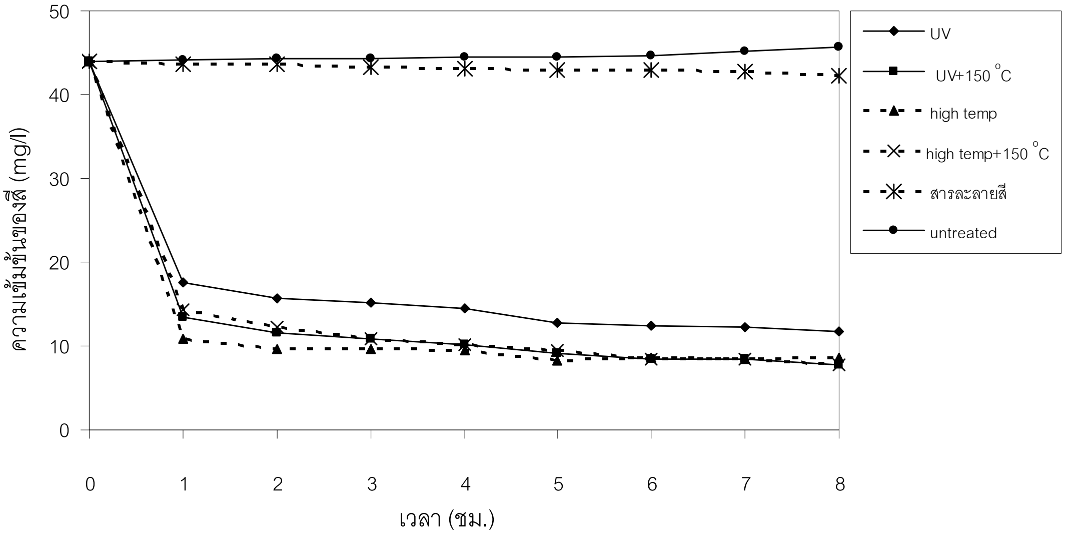
4.2.2 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองด้านความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20 % (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรืออบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มาอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำไปทดสอบความสามารถในการสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟเปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยความร้อนหรือรังสียูวีเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการทดสอบภายใต้หลอดยูวีได้แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 4.18 ส่วนผลการทดสอบภายใต้หลอด D65 ได้แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 4.19 จะพบว่าการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสอีกครั้งช่วยให้การสลายตัวของสีรีแอคทีฟดีขึ้นมาเล็กน้อย

ในช่วงหลังของการสลายตัว แต่ในช่วงแรกของการสลายตัวนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าที่ไม่ได้ผ่านการอบผนึกกับผ้าผ้าที่ผ่านการอบผนึกพบว่า ผ้าที่อบแห้งด้วยความร้อนนั้นก่อนอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส นั้นพบว่า ภายใต้การทดสอบด้วยหลอดยูวีผ้าสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้ประมาณ 87.6% หลังอบผนึกแล้วผ้าสลายสีรีแอคทีฟได้ดีขึ้นเป็น 93.6% ส่วนภายใต้หลอด D65 นั่นก่อนอบผนึกสีรีแอคทีฟลดลงประมาณ 80.2% หลังอบผนึกเพิ่มขึ้นเป็น 82.4% ส่วนผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีนั้นก่อนการอบผนึก ผ้าสามารถสลายสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีได้ประมาณ 88.5% หลังอบผนึกสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้ประมาณ 91.9% ส่วนภายใต้หลอด D65 ก่อนการอบผนึกสลายได้ 73.2% และหลังการอบผนึกสลายได้ 82.3% ดังนั้นการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจึงไม่มีผลกระทบต่อผลของการสลายตัวของสีรีแอคทีฟมากนัก



รูปที่ 4.18 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

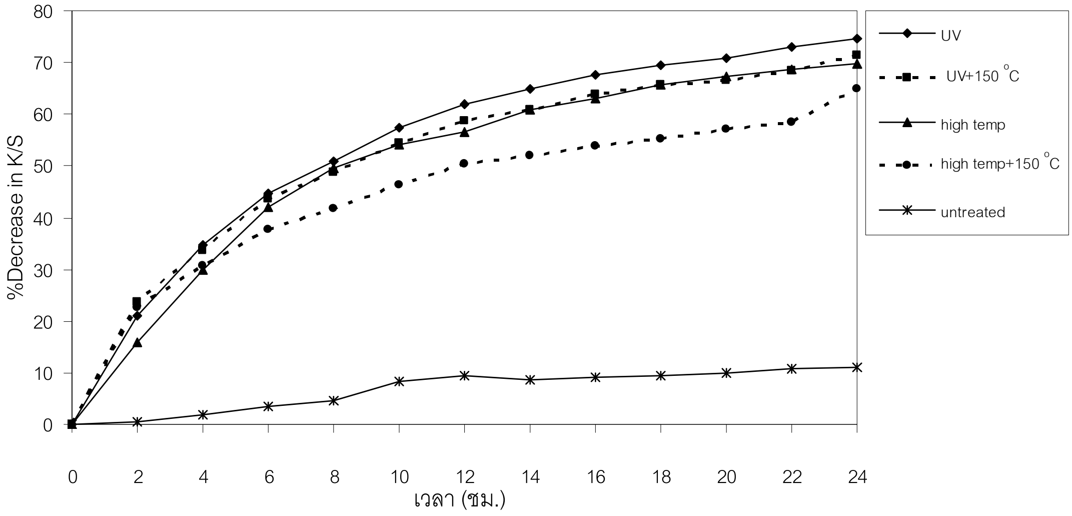


รูปที่ 4.19 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

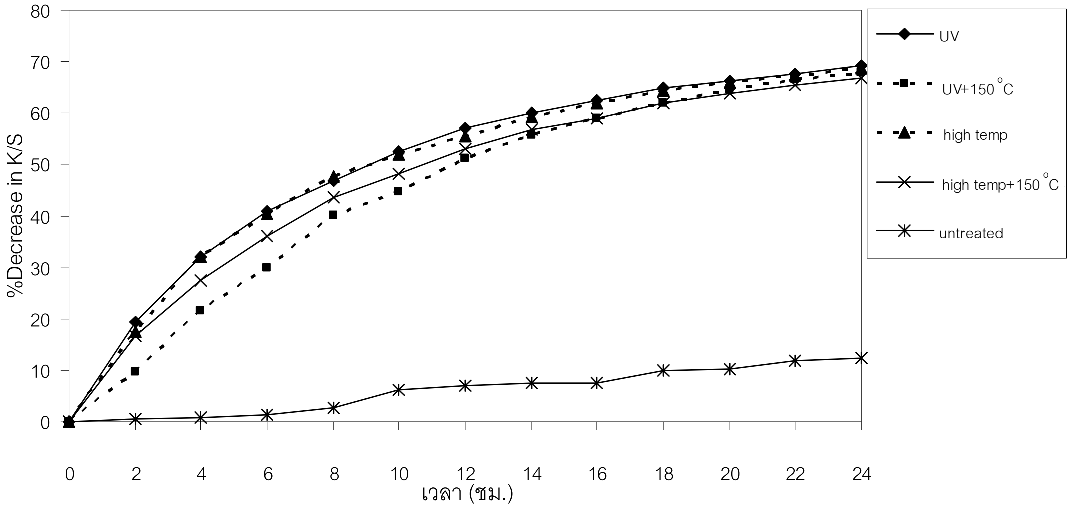
4.2.3 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อความสามารถในการทำความสะอาดด้วยตัวเองด้านการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทดสอบภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยหลอดยูวี พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 75% แต่เมื่อนำผ้าไปอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ผ้ามีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S อยู่ที่ประมาณ 71% ส่วนผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 70% เมื่อนำผ้าไปอบผนึกอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 65% และเมื่อทดสอบด้วยหลอด D65 พบว่าผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีนั้นมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า

K/S เท่ากับ 69% และผ้าที่อบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 68% ส่วนผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 69% ผ้าที่อบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 67% จะเห็นได้ว่า ผ้าที่ผ่านการอบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้น มีความสามารถในการขจัดคราบกาแฟลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ เมื่อทำการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสอีกครั้งนั้น ความร้อนจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของไททาเนียที่เกาะกลุ่มกันอยู่บนผิวผ้าฝ้ายเกิดการ dehydration ขึ้นทำให้ขนาดของไททาเนียใหญ่ขึ้นเล็กน้อย จึงทำให้ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.20 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 หรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้หลอดยูวี



รูปที่ 4.21 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 หรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้ด้วยหลอด D65

4.2.4 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อความสามารถในการทำความสะอาดด้วยตัวเองด้านการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

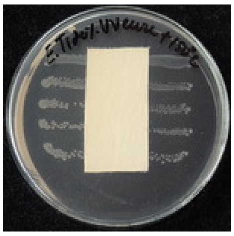
เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและนำมาอบผนึกอีกครั้งที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที มาทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมลบอีกครั้ง ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 100 ซึ่งจะคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย และด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 147 ซึ่งจะรายงานผลของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเป็นขอบเขตการยับยั้งเชื้อที่เรียกว่า clear zone

ผลการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100 แสดงไว้ดังรูปที่ 4.22 จากผลการทดสอบที่ได้ยังคงไม่แสดงผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดแต่อย่างใด ถึงแม้ก่อนการทดสอบได้มีการอังด้วยแสงจากหลอดยูวีด้านละ 20 นาทีก่อน แต่สำหรับผลการทดสอบที่ทำตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 147 ซึ่งก่อนทำการ

ทดสอบได้ทำการอังผ้าชิ้นทดสอบด้วยหลอดยูวีก่อนด้านละ 20 นาที พบว่า ผ้าไม่เกิดระยะขอบเขตการยับยั้งเชื้อที่เรียกว่า clear zone แต่เมื่อดูใต้ผ้าชิ้นทดสอบพบว่า ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* นั่นแสดงว่าผ้าสามารถยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ในระดับหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.23

	Staphylococcus aureus	*Escherichia coli*
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง		
ผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสียูวีและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส		
ผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยความร้อนและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส		

รูปที่ 4.22 แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100

	Staphylococcus aureus	*Escherichia coli*
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง		
ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส		
ผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อน และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส		

รูปที่ 4.23 แสดงผลการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 147

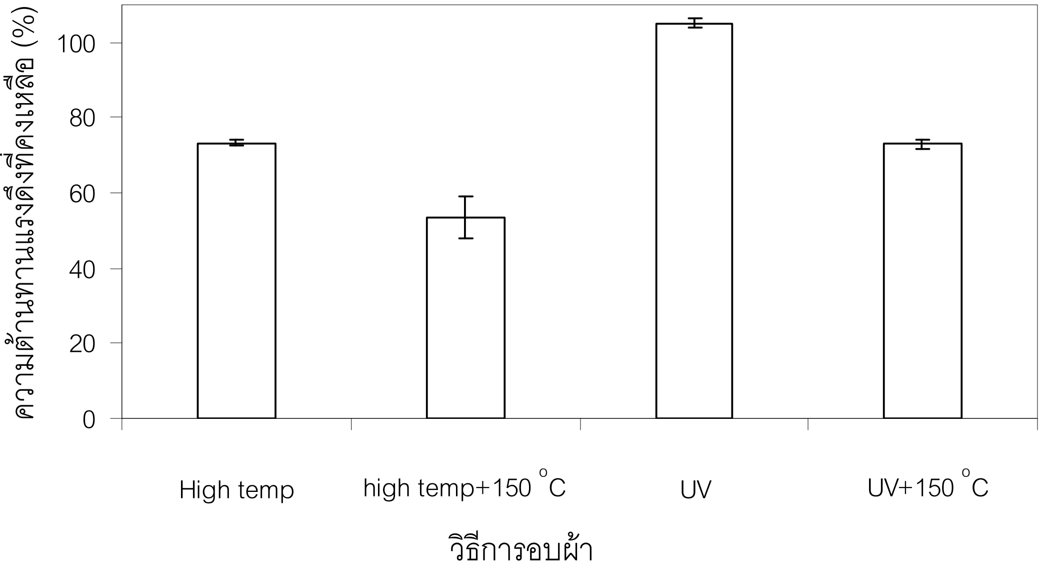
4.2.5 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

ผลของสมบัติทางกายภาพที่ได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 4.2 การอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งมีผลทำให้ผ้าเหลืองขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนซึ่งเป็นผลจากความร้อนที่สูง ส่วนค่าองศาการคืนตัวต่อการยับดีขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการอบผนึกเพิ่มที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้น ทำให้ไททาเนียที่อยู่บนผิวผ้าเกิดการ dehydration เกิดเป็นน้ำระเหยไป จึงทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลงส่งผลให้ผ้าสามารถคืนตัวได้ดีขึ้นเล็กน้อยแต่ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับก็ยังคงน้อยกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ส่วนสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.24 จากรูปจะพบว่า เมื่อทำการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้น ทำให้ผ้ามีความ

แข็งแรงลดลงอย่างชัดเจน โดยผ้าที่อบด้วยรังสียูวีและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้นผ้าจะมีความแข็งแรงที่คงเหลือพอๆ
กับผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลืองและค่าดัชนีความขาวของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

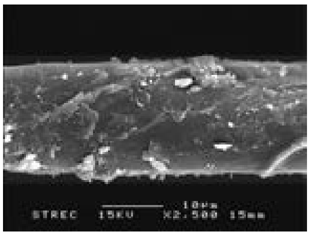
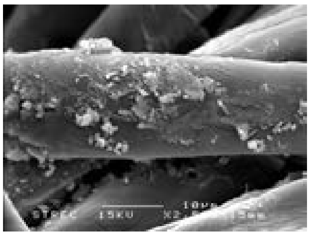
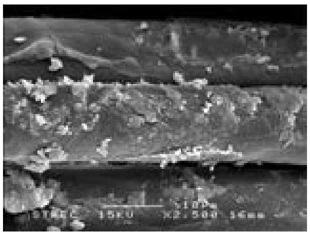
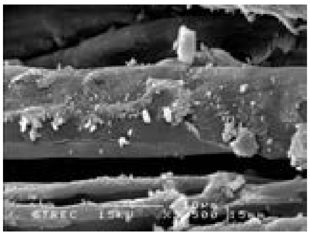
สมบัติทางกายภาพของผ้า	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% แล้วอบด้วยวิธีที่แตกต่างกัน			
	รังสียูวี (294 mJ/cm^2)	รังสียูวีและ 150 ^{o}C	ความร้อน ที่ 100 ^{o}C	ความร้อนที่ 100 ^{o}C และ150 ^{o}C
องศาการคืนตัวต่อการยับ (องศา)	116	135	120	133
ดัชนีความเหลือง	11.08	16.79	8.26	12.53
ดัชนีความขาว	58.27	42.05	66.23	54.38



รูปที่ 4.24 ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

4.2.6 ผลกระทบของการอบผนึกที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ต่อลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

นำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีหรือความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที มาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.25 จากผลการวิเคราะห์ไม่สามารถที่จะบอกความแตกต่างของผลึกไททาเนียที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน ไททาเนียที่ปรากฏบนผ้าทั้งของผ้าที่ไม่ได้ทำการอบผนึกและผ้าที่ทำการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้น พบว่า มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ใหญ่บ้างเล็กบ้างกระจายอยู่ทั่วเส้นใย

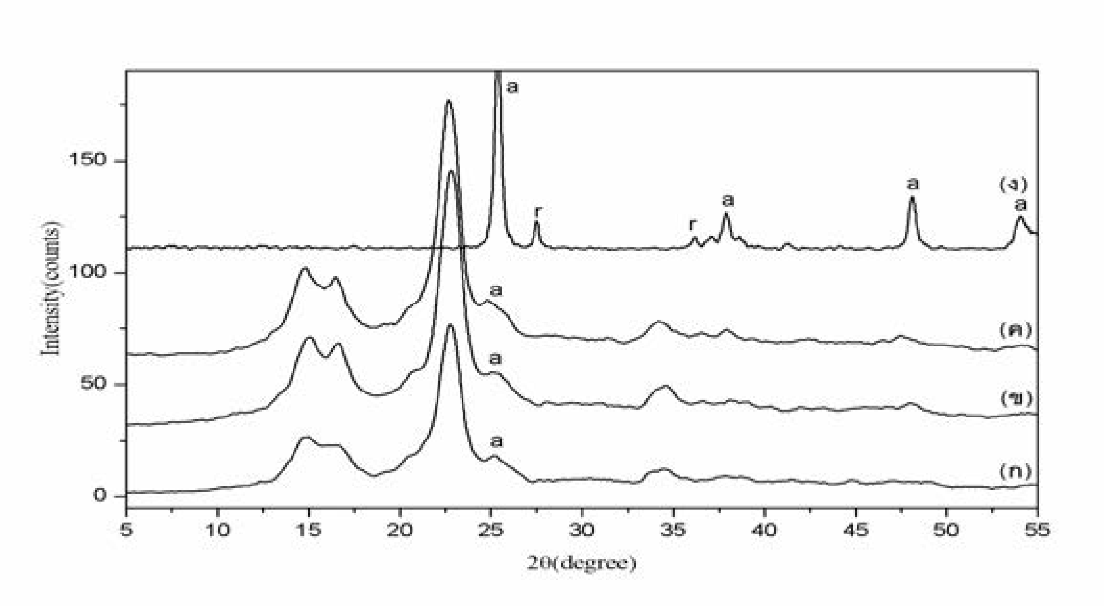
ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี	ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีและ อบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
	
ผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	ผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนและ อบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
	

รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

4.3 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในการอบผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction, XRD)

นำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่มีพลังงานความเข้มแสงที่ 294 622 และ 938 mJ/cm^2 ไปวิเคราะห์ลักษณะผลึกของไททาเนียที่อยู่บนผ้าด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ผลึกไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง (ก) 294 mJ/cm^2 (ข) 622 mJ/cm^2 (ค) 938 mJ/cm^2 (ง) ไททาเนียทางการค้า (P25) (a=anatase และ r=rutile)

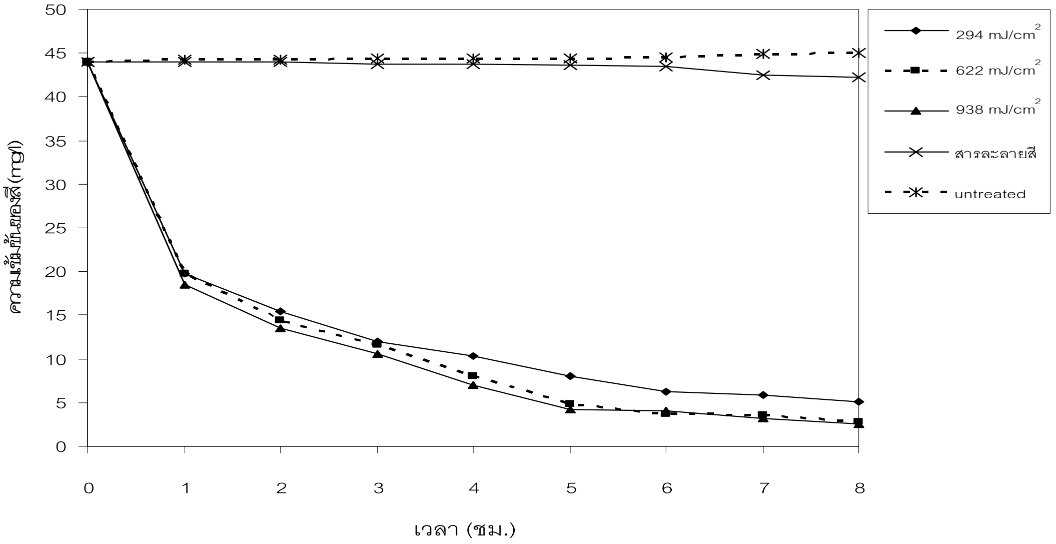
จากรูปที่ 4.26 พบว่าโครงสร้างผลึกของไททาเนียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งปรากฏพีค 2θ ที่ตำแหน่ง 25.28° ซึ่งเป็นพีคของผลึกชนิดอะนาเทส โดยเมื่อเพิ่มพลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีในการอบผ้าเป็น 622 และ 938 mJ/cm^2 พบว่า พีคมีความชัดเจนขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2

4.3.2 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในการอบผ้าต่อความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

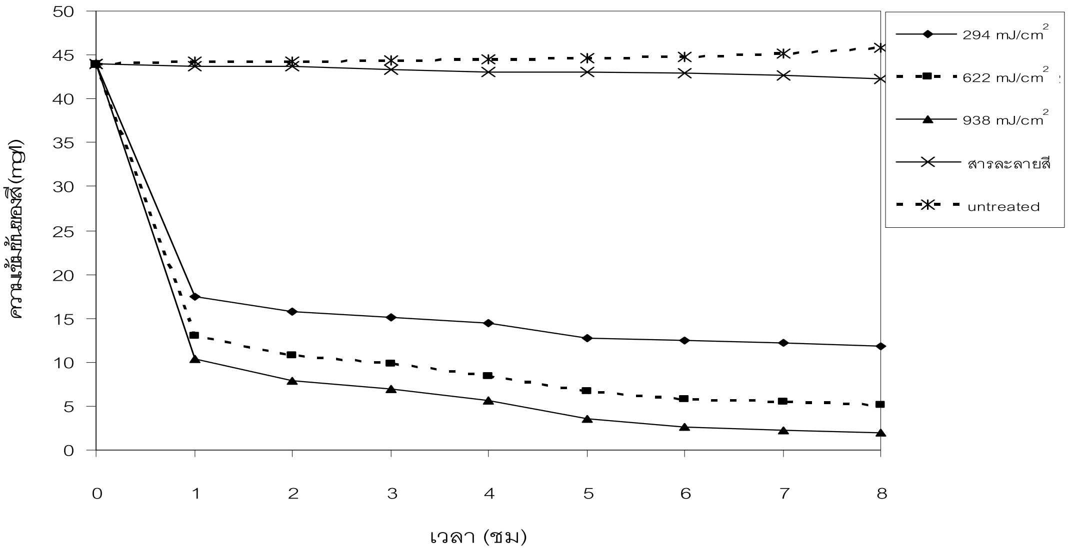
เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 มาทดสอบความสามารถในการสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟ ทดสอบการสลายตัวของสีภายใต้หลอดยูวีได้แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 4.27 และทดสอบภายใต้หลอด D65 ได้แสดงดังรูปที่ 4.28

จากรูปที่ 4.27 พบว่า ภายใต้การทดสอบด้วยหลอดยูวีที่เวลา 3 ชั่วโมงแรก ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีทั้ง 3 ระดับมีความสามารถในการสลายสีย้อมรีแอคทีฟได้ใกล้เคียงกันมาก แต่ที่เวลา 8 ชั่วโมง พบว่า ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 622 และ 938 mJ/cm^2 สามารถสลายสีย้อมได้ดีกว่าผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของสีรีแอคทีฟพบว่า ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 นั้น มีเปอร์เซ็นต์ลดลงที่ประมาณ 88.5 93.6 และ 94.1% ตามลำดับ

ส่วนรูปที่ 4.28 เป็นการทดสอบการสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 พบว่า การสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟเกิดได้ดีขึ้นเมื่อผ้าที่ใช้ทดสอบอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงเพิ่มขึ้น โดยผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 mJ/cm^2 สามารถสลายสีย้อมรีแอคทีฟได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นของสีรีแอคทีฟพบว่า ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 นั้น มีเปอร์เซ็นต์ลดลงที่ประมาณ 73.2 88.3 และ 95.4% ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 การสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวี ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2



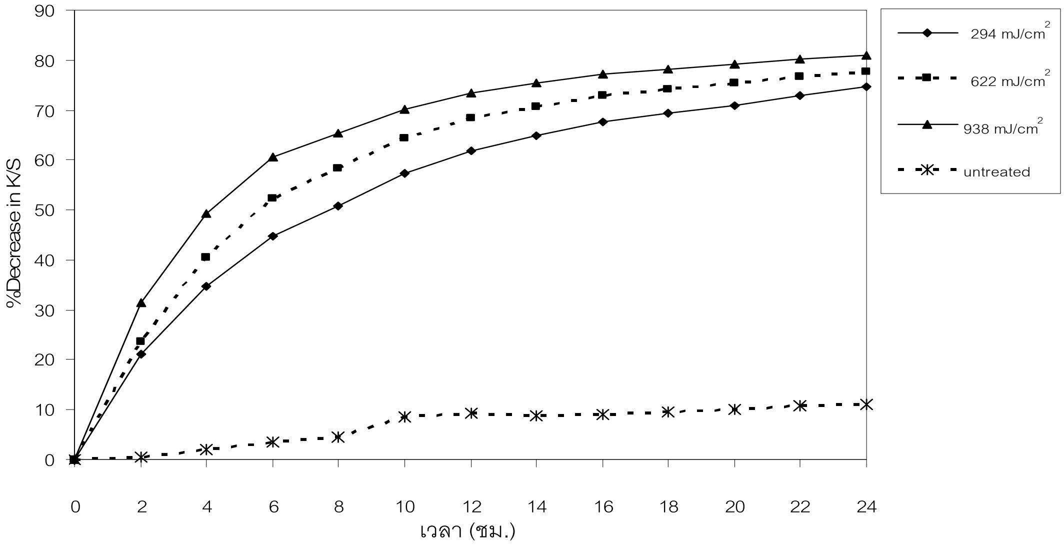
รูปที่ 4.28 การสลายตัวของสีย้อมรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2

4.3.3 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในการอบผ้าต่อความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

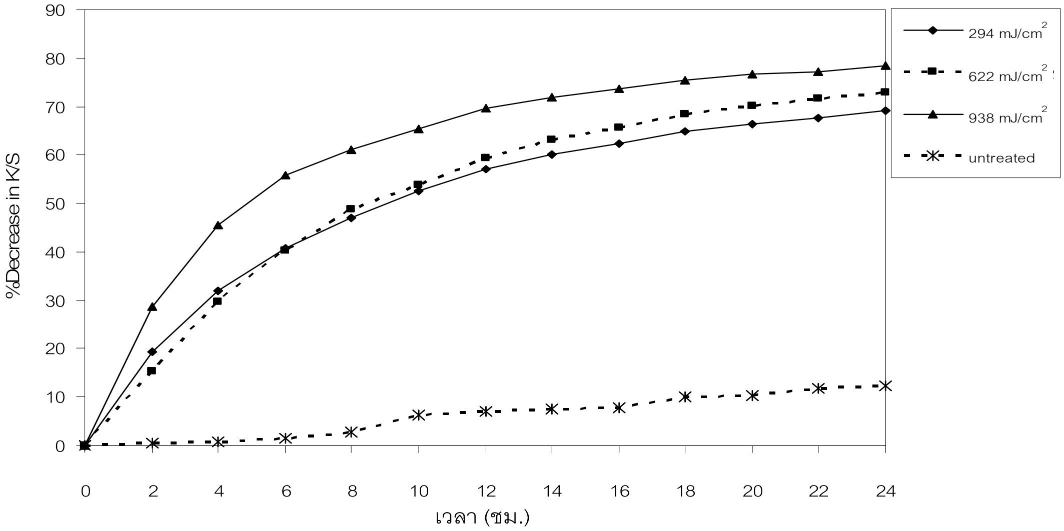
เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 มาทดสอบความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ โดยดูจากค่า K/S ที่เปลี่ยนไปที่ระยะเวลาต่างๆ จากนั้นนำค่า K/S ที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ที่เวลาต่างๆ ทดสอบภายใต้หลอดยูวี และหลอด D65 แสดงดังรูปที่ 4.29 และ 4.30

จากรูปที่ 4.29 เป็นการทดสอบภายใต้หลอดยูวี พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมงผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 mJ/cm^2 สามารถขจัดคราบกาแฟได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 81% รองลงมาคือผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 622 mJ/cm^2 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 78% ส่วนผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 นั้นมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 75%

ส่วนรูปที่ 4.30 เป็นการทดสอบภายใต้หลอด D65 พบว่า ที่เวลา 6 ชั่วโมงแรก ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 และ 622 mJ/cm^2 มีความสามารถในการขจัดคราบกาแฟได้ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาที่ 24 ชั่วโมงพบว่า ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 mJ/cm^2 สามารถขจัดคราบกาแฟบนผ้าได้ดีที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S อยู่ที่ประมาณ78% รองลงมาคือผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 622 และ 294 mJ/cm^2 ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ประมาณ 73 และ 69% ตามลำดับ ซึ่งการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลสามารถขจัดคราบดังกล่าวภายใต้หลอดยูวีได้ดีกว่าภายใต้หลอด D65



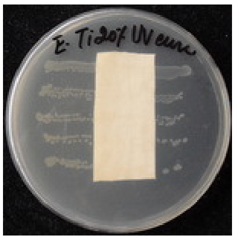
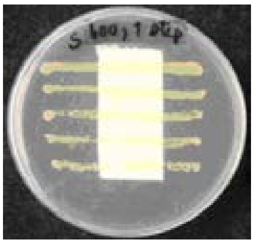
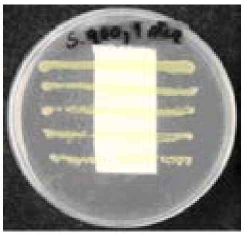
รูปที่ 4.29 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอดยูวี



รูปที่ 4.30 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอด D65

4.3.4 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในการอบผ้าต่อความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

เนื่องจากผลการทดสอบด้านความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100 ที่ผ่านมาไม่เกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดเลย ในส่วนนี้จึงไม่ได้ทำการศึกษาการต้านทานเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐานนี้อีกแต่จะทำการศึกษาตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 147 เท่านั้น โดยทำการทดสอบกับแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ก่อนการทดสอบนำชิ้นทดสอบไปอังด้วยหลอดยูวีด้านละ 20 นาทีก่อน ผลการทดสอบได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.31 จากรูปพบว่า ผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 นั้นจะไม่เกิดขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า clear zone ทั้งสองชนิด และเมื่อตรวจดูใต้ผ้าชิ้นทดสอบก็ยังคงพบเชื้อแบคทีเรียอยู่ ส่วนผ้าที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงาน 622 และ 938 mJ/cm^2 นั้นพบว่า ใต้ผ้าชิ้นทดสอบแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ยังคงพบเชื้ออยู่ แต่ผ้าที่ทดสอบด้วยเชื้อ *Escherichia coli* กลับพบว่าใต้ผ้าชิ้นทดสอบไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแต่ไม่เกิดระยะขอบเขตการยับยั้งเชื้อที่เรียกว่า clear zone นั่นแสดงว่า ผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานความเข้มแสง 622 และ 938 mJ/cm^2 นั้นสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ระดับหนึ่งแต่ไม่ถึงขั้นที่เกิดระยะขอบเขตการยับยั้งเชื้อที่เรียกว่า clear zone

พลังงานความเข้มแสงที่ใช้อบผ้า (mJ/cm^2)	*Staphylococcus aureus*	*Escherichia coli*
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง		
294		
622		
938		

รูปที่ 4.31 แสดงผลการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดตามาตรฐานการทดสอบ AATCC 147

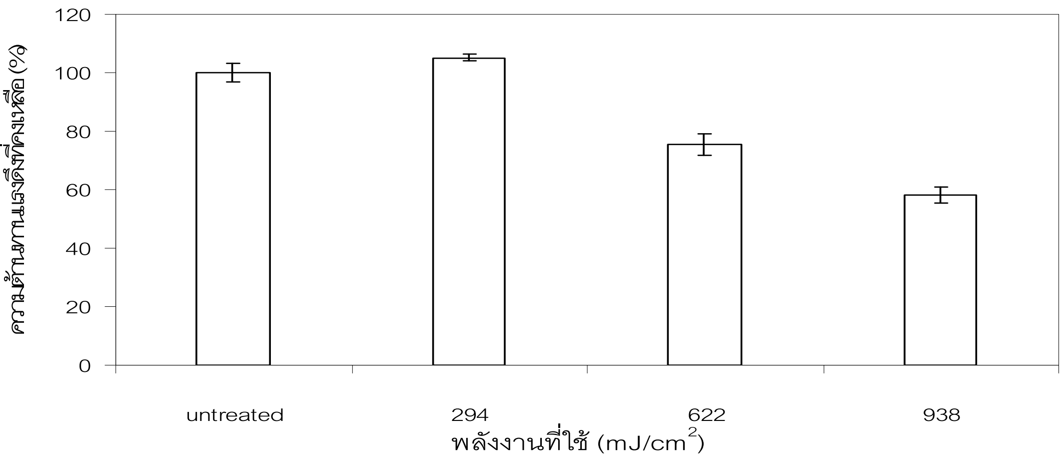
4.3.5 ผลกระทบของพลังงานความเข้มแสงยูวีที่มีระดับความเข้มแสงแตกต่างกันในการอบผ้าต่อสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร)

สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่อบด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 จะพบว่า เมื่อเพิ่มพลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีในการอบผ้าเป็น 622

mJ/cm^2 จะทำให้ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าลดลง และคงที่เมื่อเพิ่มพลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีเป็น 938 mJ/cm^2 ในขณะที่ผ้ามีความเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าแสดงไว้ดังรูปที่ 4.32 จากรูปพบว่า เมื่อเพิ่มพลังงานความเข้มแสงของรังสียูวีในการอบผ้า ทำให้ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีความแข็งแรงลดลง

ตารางที่ 4.3 ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลืองและค่าดัชนีความขาวของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน

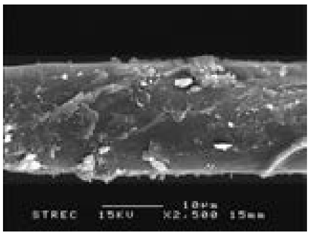
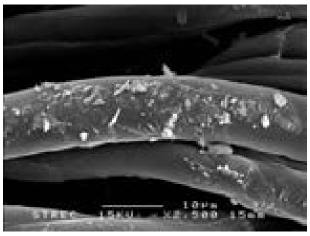
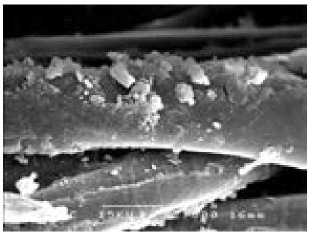
ระดับพลังงานของรังสียูวี (mJ/cm^2)	องศาการคืนตัวต่อการยับ ด้ายพุ่ง+ด้ายยืน (องศา)	ดัชนีความเหลือง	ดัชนีความขาว
294	116	11.08	58.27
622	108	14.47	47.64
938	108	17.7	39.49



รูปที่ 4.32 ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2

4.3.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน

เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2 มาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.33 จากรูป เมื่อผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล และอบแห้งด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้น พบว่า ไททาเนียที่อยู่บนผ้าเกิดการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น โดยเฉพาะผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 mJ/cm^2

294 mJ/cm^2	622 mJ/cm^2	938 mJ/cm^2
		

รูปที่ 4.33 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 622 และ 938 mJ/cm^2

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP 5-20% (ปริมาตร/ปริมาตร) หลังจากนั้นนำผ้าจุ่มในไททาเนียโซลที่เตรียมขึ้นแล้วทำการอบแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบ หรือ อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งแล้วมาศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง ซึ่งจะทำการศึกษา 3 ด้าน คือ การสลายตัวของสีรีแอคทีฟ การขจัดคราบกาแฟที่เปื้อนบนผ้า และการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ว่า

สำหรับการสลายตัวของสีรีแอคทีฟ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ TTIP แล้วอบด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี พบว่า การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการอบด้วยวิธีทั้งสองมีประสิทธิภาพการสลายตัวของสีรีแอคทีฟดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ TTIP ให้มากขึ้น ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) จะมีการสลายตัวของสีดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่ำที่ 5-15% (ปริมาตร/ปริมาตร)

สำหรับการขจัดคราบกาแฟที่เปื้อนบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล สรุปได้ว่า ผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลจะดูดซับกาแฟได้น้อยกว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล เมื่อนำผ้าทั้งสองมาทดสอบการขจัดคราบกาแฟภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 พบว่า ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟซึ่งดูจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ภายในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S น้อยมาก ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและอบด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธีนั้นพบว่า ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) มีความสามารถในการขจัดคราบกาแฟได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

สำหรับการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ได้ทำการศึกษาการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100 และ AATCC 147 โดยก่อนทำการทดสอบได้ทำการอังผ้าชิ้นทดสอบด้วยหลอดยูวี

ก่อนด้านละ 20 นาที จากผลการทดสอบทั้งสองวิธีพบว่า ผ้าไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้

สำหรับสมบัติทางกายภาพ พบว่า ผ้าที่ทำการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลจะแสดงดัชนีความเหลืองบนผ้ามากกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และดัชนีความเหลืองบนผ้าจะมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณความเข้มข้นของ TTIP เพิ่มมากขึ้นในการเตรียมไททาเนียโซลที่ใช้ตกแต่งผ้า ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีมีผลความเหลืองบนผ้ามากกว่าผ้าที่อบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ส่วนความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่อบด้วยรังสียูวีมีความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือใกล้เคียงกับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง แต่สำหรับผ้าที่อบด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดึงที่คงเหลือของผ้าจะน้อยลง และน้อยที่สุดสำหรับผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 5% (ปริมาตร/ปริมาตร) ส่วนองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าไม่ดีนักและน้อยกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง

เนื่องจากสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองทางด้านการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล แล้วอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรืออบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 นั้นได้ผลไม่ดีนัก จึงได้นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสภาวะดังกล่าวมาอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที แล้วทำการทดสอบสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองอีกครั้งพบว่า ผ้าที่ผ่านการอบผนึกสามารถสลายสีรีแอคทีฟได้ดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ได้ทำการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ส่วนความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่อบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้นทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 147 พบว่า ผ้าสามารถเกิดการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ แต่ยังไม่ถึงขั้นแสดงขอบเขตการยับยั้งเชื้อที่เรียกว่า clear zone ส่วนสมบัติการขจัดคราบกาแฟกลับพบว่า ผ้าที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสนั้นสามารถขจัดคราบกาแฟได้น้อยกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการอบผนึกเล็กน้อย นั่นอาจเป็นเพราะ การอบผนึกอาจทำให้อนุภาคไททาเนียที่อยู่บนผ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง

เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบผนึกผ้ามีผลต่อสมบัติทางกายภาพของผ้าค่อนข้างมาก จึงได้ทำการศึกษาการใช้รังสียูวีที่ระดับพลังงานความเข้มแสง 622 และ 938 mJ/cm^2 ในการอบผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) ว่ามีผลต่อสมบัติต่างๆ ของผ้าอย่างไรบ้างโดยได้ทำการเปรียบเทียบกับผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จากการศึกษาพบว่า ผ้าสามารถสลายสีรีแอคทีฟและขจัดคราบกาแฟได้ดีขึ้นเมื่อผ้าผ่านการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานที่เพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการต้านทานเชื้อ

แบคทีเรียตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 147 พบว่า ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 622 และ 938 mJ/cm^2 สามารถเกิดการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้ในระดับหนึ่ง แต่การยับยั้งเชื้อยังไม่มากพอที่จะแสดงระยะ clear zone ได้ ส่วนสมบัติทางกายภาพนั้น พบว่า เมื่อผ้าอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 mJ/cm^2 ผ้ามีความเหลืองที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนในขณะที่ความแข็งแรงของผ้าก็ลดลงเมื่อพลังงานรังสียูวีที่ใช้อบมีพลังงานเพิ่มขึ้น

ผลของการวิเคราะห์เฟสของไททาเนียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลพบว่า จะมีพีคชนิดอะนาเทสเกิดขึ้นบนผ้าแต่ความชัดเจนของพีคนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของความเข้มข้นของ TTIP ที่ใช้เตรียมไททาเนียโซลที่นำมาตกแต่งลงบนผ้า ถ้าความเข้มข้นของ TTIP มากความชัดเจนของพีคก็จะเห็นชัดขึ้น เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งแล้วอบด้วยความร้อนที่วิธีที่แตกต่างกันทั้งสองวิธีไปอบผนึกอีกครั้งก็ทำให้พีคชัดเจนกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการอบผนึกเล็กน้อย ส่วนผ้าที่อบด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่มากขึ้นความชัดเจนของพีคก็จะเห็นชัดขึ้นด้วย

ผลของอสัณฐานวิทยาของผ้าที่ไม่ได้ผ่านตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลมาส่องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งจะแสดงผิวที่เรียบไม่มีอนุภาคอะไรเกาะอยู่บนผิวเส้นใยแต่สำหรับผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลจะแสดงอนุภาคของไททาเนียซึ่งเป็นกลุ่มก้อนสีขาว มีขนาดไม่เท่ากันเกาะอยู่บนเส้นใยแต่ไม่สามารถบอกความแตกต่างของปริมาณอนุภาคไททาเนียได้ว่ามากน้อยแตกต่างกันอย่างไรทั้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ใช้ความเข้มข้นของ TTIP ที่แตกต่างกันหรือที่มีการอบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส หรือที่อบด้วยรังสียูวีที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีหรืออบแห้งด้วยความร้อนนั้น พบว่า ผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบนั้น ความแข็งแรงของผ้ายังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่ผ้าที่อบแห้งด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ผ้ามีความแข็งแรงลดลง และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าที่อบแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธี พบว่า ผ้ามีสมบัติด้านการทำความสะอาดด้วยตนเองใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มพลังงานความเข้มแสงยูวีในการอบแห้งให้มากขึ้นถึง 938 mJ/cm^2 พบว่า ผ้ามีสมบัติด้านการทำความสะอาดด้วยตนเองด้านความสามารถในการสลายสีรีแอคทีฟ และการต้านทานเชื้อแบคทีเรียดีเทียบเท่ากับผ้าที่ผ่านการอบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อีกทั้งผ้าที่อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 938 mJ/cm^2 ยังแสดงสมบัติด้านการขจัดคราบกาแฟได้ดีกว่าผ้าที่อบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทดลองการใช้สารตั้งต้น (precursor) ตัวอื่นๆ ในการเตรียมไททาเนียโซลว่าจะแสดงสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองที่แตกต่างกันหรือไม่ เมื่อตกแต่งลงบนผ้าแล้ว

2. การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียนั้นควรจะอังผ้าชิ้นทดสอบด้วยหลอดยูวีก่อนนำไปทดสอบเป็นระยะเวลาที่นานกว่า 40 นาที และนำไปทดสอบทันที

3. ทดสอบตกแต่งไททาเนียโซลลงบนผ้าชนิดอื่นๆ ว่ามีผลของสมบัติการทำความสะอาดด้วยตนเองแตกต่างไปจากผ้าฝ้ายหรือไม่ อย่างไร

รายการอ้างอิง

[1] สุดารัตน์ เลิศวิทยาพนธ์. ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide). กรุงเทพมหานคร : กระทรวงการคลัง, 2546.

[2] Ahonen, P. Aerosol production and crystallization of titanium dioxide from metal alkoxide droplets. Technical Research Center of Finland. 439(2001) : 1-55.

[3] Diebold, U. The surface science of titanium dioxide. Surface science report. 48(2003) : 53-229.

[4] Kaneko, M. and Okura, I. Photocatalysis Science and Technology. Newyork : Springer-Verlag Berlin, 2002.

[5] Kondarides, D.I. Photocatalysis [online]. 2010. Available from : http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C06/E6-190-16-00.pdf [2012,June15]

[6] Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W. and Bahnemann, D. W. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. 95 (1995): 69-96.

[7] Yuen, C. W. M., Ku, S. K. A., Li, Y., Cheng, Y. F., Kan, C. W. and Choi, P. S. R. Improvement of wrinkle-resistant treatment by nanotechnology. Journal of the Textile Institute. 100(2009) : 173-180.

[8] Ilisz, I. and Dombi, A. Investigation of the photodecomposition of phenol in near-UV-irradiated aqueous TiO_2 suspensions. II Effect of charge-trapping species on product distribution. Applied Catalysis A 180(1999) : 35-45.

[9] Wold, A. Photocatalytic properties of TiO_2 Chem Mater. 5(1993) : 280-283.

[10] Herrmann, J. M. Fundamentals and misconceptions in photocatalysis. Journal of photochemistry and photobiology A : Chemistry. 216(2010) : 85-93.

[11] Yuranova, T., Laub, D. and Kiwi, J. Synthesis, activity and characterization of textile showing self-cleaning activity under daylight irradiation. Catalysis Today 122(2007) : 109-117.

[12] Banerjee, S. Gopal, J., Muraleedharan P., Tyagi, A. K. and Raj, B. Physics and chemistry of photocatalytic titanium dioxide : Visualization of bactericidal activity using atomic force microscopy. Current Science. 90(2006) : 1378-1383.

[13] Belloni, J. Heterogeneous photocatalysts. John Wiley & Sons, Chichester (1997).

[14] ปาริชาต นรนาถตระกูล. ผลของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ในฟิล์มไคโตซานเพื่อการกำจัดสีย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[15] Ornicha Kongwut. Effect of gamma ray irradiation on fundamental properties of perovskite thin film prepared by a sol gel technique. Master's thesis, Department of Physics, Faculty of science, Chulalongkorn university,2010.

[16] Wang, J. Sol gel materials for electrochemical biosensors. Analytica Chimica Acta. 399(1999) : 21-27.

[17] Gupta, K. K.,Jassal, M. and Agrawal, A. K. Sol-gel derived titanium dioxide finishing of cotton fabric for self cleaning. Indian Journal of Fibre & Textile Research 33(2008) : 443-450.

[18] Abidi, N., Cabrales, L. and Hequet, E. Functionalization of a cotton fabric surface with titania nanosols: Applications for self-cleaning and UV-protection properties. Applied materials & Interface. 1(2009) : 2141-2146.

[19] Qi, K., Daoud, W. A., Xin, J. H., Mak, C.L., Tang, W. and Cheung, W. P. Self-cleaning cotton. Journal of materials Chemistry 16(2006) : 4567-4574.

[20] Qi, K., Chen, X., Liu, Y., Xin, J. H., Mak, C. L. and Daoud, W. A. Facile preparation of anatase/SiO_2 spherical nanocomposites and their application in self-cleaning textiles. Journal of Materials Chemistry. 17(2007) : 3504-3508.

[21] 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 TiO_2 through a facile approach. Surface & Coatings Technology 203(2009) : 3728-3733.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สรุปผลการศึกษาเบื้องต้น

ภาคผนวก ก
สรุปผลการศึกษาเบื้องต้น

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไททาเนียโซลเพื่อใช้ตกแต่งลงบนผ้าเพื่อให้ผ้ามีสมบัติกันยับโดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาเบื้องต้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ใน การตกแต่งผ้าให้มีสมบัติกันยับด้วยการใช้ไททาเนียโซลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้การอบด้วยรังสียูวี

ขั้นตอนแรกในการศึกษาเบื้องต้นเป็นการเตรียมไททาเนียโซลด้วยกรด

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียว นำสารกันยับ BTCA ที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร) เติมลงในไททาเนียโซล หรือใน TiO_2/SiO_2 โซล แล้วทำการคนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจุ่มผ้าหนัก 3.7 กรัม ในสารละลายเป็นเวลา 5 นาที บีบอัดด้วยลูกกลิ้งเพื่อควบคุม %pick up เท่ากับ 80% หลังจากนั้นอบผ้าด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 1053 mJ/cm^2 จำนวน 1 รอบ (อบทั้งด้านหน้าและด้านหลัง) และทำการวัดองศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ การเตรียมสารเพื่อใช้ตกแต่งผ้าในขั้นตอนนี้ไม่ได้ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา Sodium hypophosphite monohydrate (SHP) ซึ่งเป็นตัวเร่งสำหรับสารกันยับ BTCA ทั้งนี้เพราะเมื่อใส่ตัวเร่ง SHP ลงในสารละลายที่เตรียมได้จะทำให้เกิดตะกอน ส่วนวิธีการเตรียมโซลต่างๆ ทำได้ดังนี้

การเตรียมไททาเนียโซลด้วยกรด หยด 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) TTIP ลงใน 5% (ปริมาตร/ปริมาตร) ของกรดอะซิติกความเข้มข้นที่ 99.7% แล้วค่อยๆ คนเป็นระยะเวลา 30 นาที พร้อมกับค่อยๆ เติม 1% (ปริมาตร/ปริมาตร) ของกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 70% พร้อมให้ความร้อนกับสารละลายไปจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พร้อมกับคนสารละลายไปพร้อมกันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

การเตรียม SiO_2 โซล หยด 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) TEOS ลงใน 15% (ปริมาตร/ปริมาตร) เอทานอล แล้วคนสารละลายเป็นระยะเวลา 30 นาที

การเตรียม SiO_2/TiO_2 โซล นำเอา SiO_2 โซลเทลงในไททาเนียโซลแล้วทำการคนสารละลายผสมเป็นระยะเวลาต่ออีก 1 ชั่วโมง

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบสองขั้นตอน การตกแต่งผ้าในขั้นตอนนี้จะทำการตกแต่งสารกันยับ BTCA ลงบนผ้าก่อนโดยสารกันยับที่ใช้จะไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา Sodium hypophosphite monohydrate (SHP) โดยควบคุม % wet pick up เท่ากับ 80% จากนั้นอบผ้าให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงนำผ้าที่ตกแต่งสารกันยับนี้ไปจุ่มในไททาเนียโซล หรือใน TiO_2/SiO_2 แล้วอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 1053 mJ/cm^2

จำนวน 1 รอบ และทำการวัดองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง ซึ่งผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งสองแบบได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ ก1 นอกจากนี้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งแบบขั้นตอนเดียวหรือแบบสองขั้นตอนยังมีลักษณะเหลืองและฉีกขาดง่ายอีกด้วย

ตารางที่ ก1 องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล หรือ TiO_2/SiO_2 โซล ทั้งแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน

วิธีการตกแต่งผ้า	องศาการคืนตัวต่อการยับ แนวด้ายยืน+แนวด้ายพุ่ง (องศา)	
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	145	
ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA[1]	293	
โซลที่ใช้ตกแต่งผ้า	TiO_2 โซล	TiO_2/SiO_2 โซล
การตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียวด้วยสารกันยับ BTCA	140	161
การตกแต่งผ้าแบบ 2 ขั้นตอนด้วยสารกันยับ BTCA	86	105

[1]การตกแต่งกันยับด้วยสารกันยับ BTCA ที่ 8% อัตราส่วนโมล SHP:BTCA=0.3:1 ทำการอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที และอบผนึกด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

ขั้นตอนที่สองในการศึกษาเบื้องต้นเป็นการเตรียมไททาเนียโซลด้วยเอทานอล

การเตรียมไททาเนียโซลด้วยเอทานอล การเตรียมไททาเนียโซลในขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมโดยใช้เอทานอล จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 38% (TTIP:Ethanol = 10:40 ปริมาตร/ปริมาตร) หลังจากนั้นคนสารละลายต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 45 นาที

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียว นำไททาเนียโซลที่เตรียมได้มาผสมลงในสารละลายกันยับ 50 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของ BTCA 8% น้ำหนัก/ปริมาตร โดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา SHP หลังจากนั้นกวนสารละลายให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำผ้า 3.7 กรัม จุ่มลงในสารผสมเป็นระยะเวลา 5 นาที บีบอัดเพื่อควบคุมผ้าให้มี %wet pick up 80% จากนั้นอบผ้าด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 616 mJ/cm^2 พลังงานที่ใช้ในการอบด้วยรังสียูวีในขั้นตอนนี้จะน้อยกว่าในขั้นแรกของการศึกษาเบื้องต้น เพราะผ้าที่เตรียมได้จากไททาเนียโซลที่เตรียมจากเอทานอลนั้นแห้งเร็วกว่าของผ้าที่เตรียมได้จากไททาเนียโซลที่เตรียมจากกรด จึง

ลดพลังงานของการใช้รังสียูวีลง หลังจากนั้นทำการวัดองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ได้ผ่านการตกแต่งแล้ว

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบสองขั้นตอน การเตรียมผ้าในขั้นตอนนี้จะทำการตกแต่งผ้าด้วยสารกันยับ BTCA (8% น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยไม่มีการเติมตัวเร่ง SHP หรือทีมีการเติมตัวเร่ง SHP ที่อัตราส่วนโมลของ BTCA:SHP=1:0.3 ก่อนโดยควบคุม %wet pick up บนผ้าให้ได้ 80% จากนั้นอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 นาที จากนั้นนำผ้าที่เตรียมได้นี้ไปจุ่มลงในไททาเนียโซล บีบอัด และอบด้วยรังสียูวีเป็นจำนวน 1 และ 2 รอบ ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งในขั้นตอนนี้ได้แสดงไว้ดังตารางที่ ก2

ตารางที่ ก2 องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมในเอทานอลทั้งแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน

วิธีการตกแต่งผ้า	จำนวนรอบในการอบด้วยรังสียูวี/องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้า แนวด้ายยืน+แนวด้ายพุ่ง (องศา)	
	1 รอบ	2 รอบ
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	145	
การตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียว	98	102
การตกแต่งผ้าแบบสองขั้นตอน (ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา SHP)	95	100
การตกแต่งผ้าแบบสองขั้นตอน (มีตัวเร่งปฏิกิริยา SHP)	97	101

จากตารางที่ ก2 พบว่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมด้วยเอทานอลนั้นน้อยมาก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะ $Ti(OH)_4$ ที่เกิดขึ้นอาจจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารกันยับ BTCA แทนการไปทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อทำให้เกิดพันธะร่างแหระหว่างสารกันยับ BTCA กับผ้าฝ้าย นอกจากนี้ $Ti(OH)_4$ ที่เกิดขึ้นอาจจะไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ ไฮดรอกซิลของผ้าฝ้ายแทน จึงเป็นการเพิ่มพันธะไฮโดรเจนบนผ้าให้มากขึ้นจึงอาจส่งผลให้ผ้ายับง่ายขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้องศาการคืนตัวต่อการยับยิ่งน้อยลง จึงได้ลดปริมาณของสารตั้งต้น TTIP ลงจาก 10 มิลลิลิตร ลดลงเหลือ 7.5 5 และ 2.5 มิลลิลิตรตามลำดับ และลดปริมาณการใช้กรด ไฮโดรคลอริกลงตามสูตรที่เตรียมเอาไว้ตามตารางที่ ก3 และอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 518 mJ/cm^2 จำนวน 1 รอบ

ตารางที่ ก3 สรุปการเตรียมสูตรไททาเนียโซลในเอทานอลเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้ายและผลของค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

สารประกอบในสูตร	1	2	3	4
สารตั้งต้น TTIP (มิลลิลิตร)	2.5	5.0	7.5	2.5
เอทานอล (มิลลิลิตร)	40	40	40	40
กรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)	5	5	5	2.5
สารกันยับ BTCA (%)	8	8	8	8
น้ำ (มิลลิลิตร)	52.5	50.0	47.5	55.0
pH ของสารที่เตรียม	2	2	2	3
องศาการคืนตัวต่อการยับ (องศา)	103	99	98	112

จากตารางที่ ก3 จะเห็นได้ว่า การเตรียมไททาเนียโซลพร้อมด้วยสารกันยับ BTCA แล้วนำมาตกแต่งผ้าด้วยการอบด้วยรังสียูวีแบบขั้นตอนเดียว เพื่อให้ได้สมบัติกันยับของผ้าคงเป็นไปไม่ได้ ทั้งนี้เพราะ ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่มีสารกันยับ BTCA ด้วยนั้น มีค่าที่ค่อนข้างห่างจากค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA แบบวิธีทั่วไปคือ บีบอัด อบแห้ง และอบผนึก ซึ่งมีค่าองศาการคืนตัวต่อการยับประมาณ 293 องศา การทดลองขั้นตอนต่อไปได้มีการนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสูตรที่ 4 ที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีและล้างด้วยน้ำเปล่าแล้ว มาอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที พบว่า ค่าขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าเพิ่มขึ้นมาเป็น 159 องศา จาก 112 องศา การเพิ่มการอบด้วยความร้อนเข้าไปอีกครั้งอาจมีผลกระทบต่อผลึกของอนุภาคไททาเนียที่อยู่บนผ้าและการใช้ความร้อนสูงในการอบผนึกอีกครั้งอาจช่วยให้ไททาเนียทำหน้าที่มีตัวเร่งให้สารกันยับ BTCA สามารถเกิดร่างแหในโครงสร้างของผ้าฝ้ายได้ทำให้ผ้ามีองศาการคืนตัวต่อการยับได้ดีขึ้น

เนื่องจากการเตรียมไททาเนียโซลในเอทานอลพร้อมด้วยสารกันยับ BTCA ไม่มีแนวโน้มที่จะตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับได้แบบขั้นตอนเดียวด้วยการอบด้วยรังสียูวี จึงได้ย้อนกลับมาทำการทดลองเพิ่มเติมในการเตรียมไททาเนียโซลด้วยกรดอีกครั้ง แต่ลดความเข้มข้นของกรดในตริกที่ใช้ลงอย่างมาก ตารางที่ ก4 ได้สรุปการเตรียมไททาเนียโซลเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าและทำการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรือทำการอบด้วยความร้อนที่ 180

องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นล้างผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยน้ำเปล่าและอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที

ตารางที่ ก4 สรุปการเตรียมสูตรไททาเนียโซลในกรดเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้ายและผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแบบขั้นตอนเดียวด้วยสารกันยับ BTCA

สารประกอบในสูตร	1	2	3
สารตั้งต้น TTIP (มิลลิลิตร)	5	5	5
กรดไนตริก (มิลลิลิตร)	0.1	0.1	0.1
กรดแอซิติก (มิลลิลิตร)	5	5	5
สารกันยับ BTCA (%)	-	8	-
น้ำ (มิลลิลิตร)	100	100	100
pH ของสารละลาย	2	2	2
องศาการคืนตัวต่อการยับจากผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี (องศา)	124	115	117
องศาการคืนตัวต่อการยับจากผ้าที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา นาที (องศา)	ไหม้	ไหม้	ไหม้

จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ ก4 ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสูตรดังกล่าวข้างต้นไม่สามารถทำการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้เพราะมีผลทำให้ผ้าไหม้ นอกจากนี้ องศาการคืนตัวต่อการยับที่ได้ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลในกรดจะสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมในเอทานอล แต่อย่างไรก็ตาม ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง ยังมีค่าที่ห่างจากความเป็นจริงที่พึงต้องการ เพราะฉะนั้นการใช้ไททาเนียโซลและสารกันยับ BTCA ในการตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับแบบขั้นตอนเดียวนั้นไม่น่าที่จะเป็นไปได้ จึงได้ทำการเปลี่ยนแนวทางการศึกษาไปทางด้านการทำความสะอาดด้วยตนเองและสมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบแห้งด้วยความร้อนเปรียบเทียบกับผลของสมบัติดังกล่าวของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบแห้งด้วยรังสียูวี จากนั้นจึงได้ทำการศึกษาเบื้องต้นว่าควรจะทำการอบด้วยรังสียูวีเป็นจำนวนกี่รอบหรืออบด้วยความร้อนเป็นเวลานานเท่าใดจึงจะเหมาะสม ในการศึกษาขั้นตอนนี้ได้เลือกการเตรียมไททาเนียโซลในกรดแล้วทำการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 294 mJ/cm^2 จำนวน 3 5

และ 7 รอบ หรือทำการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 10 15 และ 30 นาที สูตรที่ใช้ในการตกแต่งผ้าสำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้ได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ ก5

ตารางที่ ก5 ผลของจำนวนรอบการอบด้วยรังสียูวีหรือเวลาในการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสต่อองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าและค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมในกรด

<table>
<tr><td>สารประกอบในสูตร</td><td colspan="12">1</td><td colspan="12">2</td></tr>
<tr><td>สารตั้งต้น TTIP (มิลลิลิตร)</td><td colspan="12">5</td><td colspan="12">10</td></tr>
<tr><td>กรดไนตริก</td><td colspan="12">0.1</td><td colspan="12">0.1</td></tr>
<tr><td>กรดแอซิติก</td><td colspan="12">5</td><td colspan="12">5</td></tr>
<tr><td>น้ำ</td><td colspan="12">89.9</td><td colspan="12">84.9</td></tr>
<tr><td>pH ของสารที่เตรียมได้</td><td colspan="12">2</td><td colspan="12">2</td></tr>
<tr><td colspan="25">ผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี</td></tr>
<tr><td>จำนวนรอบ (รอบ)</td><td colspan="4">3</td><td colspan="4">5</td><td colspan="4">7</td><td colspan="4">3</td><td colspan="4">5</td><td colspan="4">7</td></tr>
<tr><td>องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้า (องศา)</td><td colspan="4">117</td><td colspan="4">110</td><td colspan="4">117</td><td colspan="4">117</td><td colspan="4">126</td><td colspan="4">112</td></tr>
<tr><td>ค่าดัชนีความเหลืองของผ้า</td><td colspan="4">8.37</td><td colspan="4">8.69</td><td colspan="4">8.83</td><td colspan="4">8.34</td><td colspan="4">9.42</td><td colspan="4">9.77</td></tr>
<tr><td colspan="25">ผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อน</td></tr>
<tr><td>เวลาที่ใช้ (นาที)</td><td colspan="3">5</td><td colspan="3">10</td><td colspan="3">15</td><td colspan="3">30</td><td colspan="3">5</td><td colspan="3">10</td><td colspan="3">15</td><td colspan="3">30</td></tr>
<tr><td>องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้า (องศา)</td><td colspan="3">124</td><td colspan="3">126</td><td colspan="3">127</td><td colspan="3">128</td><td colspan="3">123</td><td colspan="3">126</td><td colspan="3">129</td><td colspan="3">133</td></tr>
<tr><td>ค่าดัชนีความเหลืองของผ้า</td><td colspan="3">7.16</td><td colspan="3">8.41</td><td colspan="3">8.56</td><td colspan="3">8.63</td><td colspan="3">8.07</td><td colspan="3">8.25</td><td colspan="3">8.40</td><td colspan="3">8.80</td></tr>
</table>

จากตารางที่ ก5 สรุปได้ว่า เมื่อจำนวนรอบในการอบด้วยรังสียูวีเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผ้าที่ผ่านการอบมีความเหลืองมากขึ้นและในขณะเดียวกันค่าขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการอบจาก 3 รอบเป็น 5 รอบ แต่เมื่อผ้าผ่านการอบที่ 7 รอบพบว่า องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้ากลับน้อยลง ส่วนผลของการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นพบว่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าไม่ต่างกันมากนัก แต่เมื่อใช้เวลาในการอบนานขึ้นพบว่าผ้ามีความเหลืองเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นสภาวะในการอบด้วยความร้อนจึงสรุปได้ดังนี้ เลือกเวลาของการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100

องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที และเลือกการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสง 294 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ภาคผนวก ข

การสลายตัวของสีรีแอคทีฟ

ตารางที่ ข1 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยรังสียูวี

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 5% (v/v)	1	0.990	0.878	0.827	0.825	0.803	0.791	0.648	0.631	0.620
	2	0.915	0.859	0.805	0.763	0.727	0.662	0.623	0.615	0.587
	3	0.958	0.891	0.834	0.808	0.788	0.793	0.774	0.778	0.725
	เฉลี่ย	0.954	0.876	0.822	0.799	0.773	0.748	0.682	0.675	0.644
	SD	0.038	0.016	0.016	0.032	0.040	0.075	0.081	0.090	0.072
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	40.404	37.905	36.822	35.629	34.507	31.426	31.116	29.702
	% decrease	0.000	8.183	13.863	16.323	19.034	21.584	28.585	29.290	32.503
TTIP 10% (v/v)	1	0.990	0.800	0.780	0.749	0.718	0.673	0.499	0.477	0.465
	2	0.915	0.756	0.714	0.665	0.639	0.639	0.577	0.577	0.505
	3	0.958	0.773	0.693	0.660	0.596	0.527	0.511	0.509	0.447
	เฉลี่ย	0.954	0.776	0.729	0.691	0.651	0.613	0.529	0.521	0.472
	SD	0.038	0.022	0.046	0.050	0.062	0.077	0.042	0.051	0.030
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	35.802	33.609	31.875	30.024	28.266	24.400	24.030	21.771
	% decrease	0.000	18.641	23.625	27.567	31.771	35.767	44.553	45.394	50.527

ตารางที่ ข2 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยรังสียูวี (ต่อ)

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 15% (v/v)	1	0.990	0.735	0.711	0.672	0.629	0.592	0.454	0.441	0.425
	2	0.915	0.627	0.542	0.464	0.420	0.390	0.360	0.313	0.284
	3	0.958	0.738	0.667	0.618	0.572	0.499	0.490	0.498	0.441
	เฉลี่ย	0.954	0.700	0.640	0.585	0.540	0.494	0.435	0.417	0.383
	SD	0.038	0.064	0.088	0.108	0.108	0.101	0.067	0.095	0.086
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	32.283	29.508	26.957	24.918	22.759	20.039	19.242	17.683
	% decrease	0.000	26.639	32.944	38.741	43.376	48.282	54.463	56.274	59.816
TTIP 20% (v/v)	1	0.990	0.352	0.292	0.235	0.203	0.180	0.077	0.063	0.080
	2	0.915	0.371	0.260	0.170	0.151	0.150	0.120	0.126	0.098
	3	0.958	0.564	0.453	0.372	0.315	0.193	0.211	0.197	0.153
	เฉลี่ย	0.954	0.429	0.335	0.259	0.223	0.174	0.136	0.129	0.110
	SD	0.038	0.117	0.103	0.103	0.084	0.022	0.069	0.067	0.038
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	19.796	15.449	11.951	10.278	8.025	6.267	5.927	5.074
	% decrease	0.000	55.014	64.894	72.843	76.643	81.763	85.758	86.530	88.469

ตารางที่ ข3 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ปริมาตรของ TTIP (%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 5% (v/v)	1	0.990	0.842	0.839	0.812	0.798	0.770	0.663	0.640	0.623
	2	0.915	0.864	0.805	0.781	0.746	0.726	0.707	0.658	0.637
	3	0.958	0.855	0.808	0.778	0.746	0.737	0.723	0.683	0.652
	เฉลี่ย	0.954	0.853	0.817	0.791	0.763	0.744	0.698	0.660	0.637
	SD	0.038	0.011	0.019	0.019	0.030	0.023	0.031	0.021	0.015
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	39.354	37.683	36.456	35.198	34.314	32.173	30.442	29.383
	% decrease	0.000	10.570	14.368	17.155	20.015	22.024	26.889	30.821	33.229
TTIP 10% (v/v)	1	0.990	0.688	0.630	0.583	0.541	0.523	0.412	0.394	0.121
	2	0.915	0.601	0.490	0.421	0.378	0.344	0.311	0.247	0.283
	3	0.958	0.667	0.594	0.540	0.490	0.424	0.424	0.376	0.398
	เฉลี่ย	0.954	0.652	0.571	0.515	0.470	0.430	0.383	0.339	0.268
	SD	0.038	0.046	0.072	0.084	0.084	0.090	0.062	0.080	0.139
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	30.060	26.339	23.733	21.651	19.845	17.639	15.622	12.337
	% decrease	0.000	31.691	40.147	46.069	50.799	54.903	59.916	64.500	71.966

ตารางที่ ข4 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 15% (v/v)	1	0.990	0.443	0.386	0.337	0.286	0.249	0.125	0.121	0.117
	2	0.915	0.350	0.218	0.097	0.082	0.080	0.065	0.058	0.048
	3	0.958	0.652	0.607	0.550	0.497	0.438	0.421	0.388	0.373
	เฉลี่ย	0.954	0.482	0.404	0.328	0.289	0.256	0.204	0.189	0.179
	SD	0.038	0.155	0.195	0.227	0.207	0.179	0.191	0.176	0.171
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	22.208	18.611	15.122	13.306	11.781	9.404	8.715	8.273
	% decrease	0.000	49.533	57.708	65.637	69.764	73.228	78.630	80.195	81.199
TTIP 20% (v/v)	1	0.990	0.527	0.344	0.276	0.224	0.181	0.076	0.063	0.062
	2	0.915	0.301	0.190	0.125	0.017	0.015	0.012	0.012	0.013
	3	0.958	0.781	0.659	0.565	0.479	0.360	0.328	0.301	0.281
	เฉลี่ย	0.954	0.537	0.398	0.322	0.240	0.185	0.139	0.125	0.118
	SD	0.038	0.240	0.239	0.224	0.232	0.172	0.167	0.154	0.143
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	24.741	18.345	14.850	11.071	8.552	6.386	5.766	5.462
	% decrease	0.000	43.777	58.312	66.254	74.842	80.566	85.487	86.898	87.589

ตารางที่ ข5 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยรังสียูวี

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 5% (v/v)	1	0.990	0.798	0.793	0.790	0.787	0.738	0.739	0.734	0.734
	2	0.915	0.842	0.839	0.835	0.829	0.788	0.787	0.786	0.790
	3	0.958	0.882	0.889	0.872	0.881	0.879	0.876	0.873	0.848
	เฉลี่ย	0.954	0.841	0.840	0.832	0.832	0.802	0.800	0.798	0.791
	SD	0.038	0.042	0.048	0.041	0.047	0.071	0.070	0.070	0.057
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	38.768	38.750	38.369	38.380	36.966	36.911	36.794	36.466
	% decrease	0.000	11.901	11.942	12.809	12.783	15.996	16.122	16.388	17.132
TTIP 10% (v/v)	1	0.990	0.663	0.662	0.668	0.667	0.623	0.623	0.614	0.613
	2	0.915	0.647	0.635	0.639	0.630	0.586	0.584	0.579	0.571
	3	0.958	0.683	0.650	0.612	0.607	0.586	0.568	0.558	0.596
	เฉลี่ย	0.954	0.664	0.649	0.640	0.635	0.598	0.592	0.584	0.593
	SD	0.038	0.018	0.014	0.028	0.030	0.021	0.028	0.028	0.021
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	30.639	29.929	29.502	29.268	27.591	27.284	26.923	27.352
	% decrease	0.000	30.373	31.988	32.958	33.489	37.301	37.998	38.819	37.844

ตารางที่ ข6 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยรังสียูวี (ต่อ)

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 15% (v/v)l	1	0.990	0.612	0.607	0.608	0.598	0.553	0.546	0.540	0.535
	2	0.915	0.667	0.651	0.647	0.635	0.586	0.579	0.573	0.559
	3	0.958	0.397	0.258	0.171	0.122	0.085	0.065	0.049	0.064
	เฉลี่ย	0.954	0.558	0.505	0.475	0.452	0.408	0.397	0.387	0.386
	SD	0.038	0.143	0.215	0.264	0.286	0.280	0.287	0.293	0.279
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	25.750	23.302	21.916	20.825	18.809	18.292	17.863	17.793
	% decrease	0.000	41.485	47.048	50.198	52.676	57.257	58.433	59.408	59.565
TTIP 20% (v/v)	1	0.990	0.322	0.285	0.260	0.247	0.196	0.193	0.190	0.182
	2	0.915	0.230	0.195	0.176	0.150	0.099	0.094	0.086	0.077
	3	0.958	0.587	0.543	0.548	0.542	0.532	0.521	0.515	0.509
	เฉลี่ย	0.954	0.380	0.341	0.328	0.313	0.275	0.269	0.264	0.256
	SD	0.038	0.185	0.181	0.195	0.204	0.227	0.223	0.224	0.226
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	17.504	15.717	15.135	14.449	12.702	12.421	12.156	11.801
	% decrease	0.000	60.224	64.284	65.605	67.165	71.136	71.774	72.377	73.183

ตารางที่ ข7 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 5% (v/v)	1	0.990	0.816	0.817	0.809	0.798	0.725	0.730	0.720	0.715
	2	0.915	0.808	0.795	0.816	0.774	0.739	0.727	0.717	0.708
	3	0.958	0.762	0.762	0.745	0.751	0.743	0.735	0.735	0.699
	เฉลี่ย	0.954	0.795	0.792	0.790	0.774	0.736	0.731	0.724	0.708
	SD	0.038	0.029	0.028	0.039	0.023	0.010	0.004	0.010	0.008
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	36.677	36.497	36.426	35.704	33.929	33.699	33.388	32.628
	% decrease	0.000	16.652	17.062	17.223	18.864	22.898	23.420	24.126	25.854
TTIP 10% (v/v)	1	0.990	0.613	0.610	0.616	0.616	0.595	0.572	0.567	0.567
	2	0.915	0.495	0.481	0.483	0.499	0.483	0.472	0.495	0.483
	3	0.958	0.512	0.446	0.397	0.367	0.309	0.338	0.341	0.292
	เฉลี่ย	0.954	0.540	0.512	0.499	0.494	0.463	0.460	0.467	0.447
	SD	0.038	0.064	0.087	0.110	0.124	0.144	0.117	0.115	0.141
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	24.896	23.629	22.996	22.788	21.331	21.230	21.553	20.615
	% decrease	0.000	43.425	46.305	47.742	48.215	51.527	51.755	51.022	53.153

ตารางที่ ข8 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล อบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ปริมาตรของ TTIP(%)	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
TTIP 15% (v/v)	1	0.990	0.313	0.292	0.286	0.281	0.236	0.243	0.224	0.226
	2	0.915	0.738	0.724	0.735	0.717	0.672	0.668	0.656	0.656
	3	0.958	0.372	0.250	0.169	0.135	0.096	0.074	0.092	0.058
	เฉลี่ย	0.954	0.474	0.422	0.397	0.378	0.335	0.328	0.324	0.313
	SD	0.038	0.230	0.262	0.298	0.303	0.300	0.306	0.295	0.309
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	21.867	19.462	18.293	17.421	15.447	15.142	14.953	14.452
	% decrease	0.000	50.308	55.774	58.431	60.413	64.898	65.591	66.021	67.158
TTIP 20% (v/v)	1	0.990	0.216	0.177	0.154	0.141	0.096	0.094	0.090	0.094
	2	0.915	0.251	0.241	0.259	0.267	0.237	0.249	0.256	0.264
	3	0.958	0.237	0.216	0.214	0.206	0.210	0.213	0.209	0.208
	เฉลี่ย	0.954	0.235	0.211	0.209	0.205	0.181	0.185	0.185	0.189
	SD	0.038	0.018	0.032	0.052	0.063	0.075	0.081	0.086	0.087
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	10.818	9.730	9.641	9.445	8.350	8.538	8.513	8.706
	% decrease	0.000	75.416	77.890	78.091	78.536	81.025	80.599	80.655	80.216

ตารางที่ ข9 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีและอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ภาวะที่ใช้อบ	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
UV	1	0.990	0.352	0.292	0.235	0.203	0.180	0.077	0.063	0.080
	2	0.915	0.371	0.260	0.170	0.151	0.150	0.120	0.126	0.098
	3	0.958	0.564	0.453	0.372	0.315	0.193	0.211	0.197	0.153
	เฉลี่ย	0.954	0.429	0.335	0.259	0.223	0.174	0.136	0.129	0.110
	SD	0.038	0.117	0.103	0.103	0.084	0.022	0.069	0.067	0.038
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	19.796	15.449	11.951	10.278	8.025	6.267	5.927	5.074
	% decrease	0.000	55.014	64.894	72.843	76.643	81.763	85.758	86.530	88.469
UV+150 °C	1	0.990	0.554	0.408	0.329	0.280	0.219	0.114	0.098	0.099
	2	0.915	0.294	0.150	0.097	0.014	0.011	0.013	0.010	0.011
	3	0.958	0.660	0.522	0.386	0.315	0.162	0.143	0.135	0.122
	เฉลี่ย	0.954	0.502	0.360	0.271	0.203	0.131	0.090	0.081	0.077
	SD	0.038	0.188	0.191	0.153	0.165	0.108	0.068	0.064	0.059
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	23.165	16.610	12.490	9.363	6.027	4.152	3.731	3.554
	% decrease	0.000	47.359	62.254	71.618	78.722	86.304	90.565	91.521	91.924

ตารางที่ ข10 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยความร้อน และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ภาวะที่ใช้อบ	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
high temp	1	0.990	0.527	0.344	0.276	0.224	0.181	0.076	0.063	0.062
	2	0.915	0.301	0.190	0.125	0.017	0.015	0.012	0.012	0.013
	3	0.958	0.781	0.659	0.565	0.479	0.360	0.328	0.301	0.281
	เฉลี่ย	0.954	0.537	0.398	0.322	0.240	0.185	0.139	0.125	0.118
	SD	0.038	0.240	0.239	0.224	0.232	0.172	0.167	0.154	0.143
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	24.741	18.345	14.850	11.071	8.552	6.386	5.766	5.462
	% decrease	0.000	43.777	58.312	66.254	74.842	80.566	85.487	86.898	87.589
high temp+ 150 ^{o}C	1	0.990	0.358	0.231	0.177	0.169	0.135	0.046	0.036	0.037
	2	0.915	0.357	0.279	0.102	0.083	0.076	0.061	0.051	0.046
	3	0.958	0.535	0.439	0.355	0.277	0.121	0.132	0.120	0.100
	เฉลี่ย	0.954	0.416	0.316	0.211	0.176	0.111	0.079	0.069	0.061
	SD	0.038	0.102	0.109	0.130	0.097	0.031	0.046	0.045	0.034
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	19.204	14.590	9.732	8.137	5.113	3.662	3.169	2.819
	% decrease	0.000	56.360	66.845	77.883	81.510	88.381	91.679	92.798	93.593

ตารางที่ ข11 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวี และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ภาวะที่ใช้อบ	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
UV	1	0.990	0.322	0.285	0.260	0.247	0.196	0.193	0.190	0.182
	2	0.915	0.230	0.195	0.176	0.150	0.099	0.094	0.086	0.077
	3	0.958	0.587	0.543	0.548	0.542	0.532	0.521	0.515	0.509
	เฉลี่ย	0.954	0.380	0.341	0.328	0.313	0.275	0.269	0.264	0.256
	SD	0.038	0.185	0.181	0.195	0.204	0.227	0.223	0.224	0.226
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	17.504	15.717	15.135	14.449	12.702	12.421	12.156	11.801
	% decrease	0.000	60.224	64.284	65.605	67.165	71.136	71.774	72.377	73.183
UV+150 °C	1	0.990	0.294	0.282	0.295	0.284	0.237	0.240	0.253	0.243
	2	0.915	0.184	0.176	0.188	0.190	0.142	0.149	0.157	0.147
	3	0.958	0.394	0.293	0.226	0.185	0.211	0.156	0.134	0.115
	เฉลี่ย	0.954	0.291	0.250	0.236	0.220	0.197	0.182	0.181	0.168
	SD	0.038	0.105	0.065	0.054	0.056	0.049	0.051	0.063	0.067
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	13.397	11.546	10.888	10.130	9.077	8.379	8.368	7.767
	% decrease	0.000	69.556	73.761	75.258	76.980	79.374	80.959	80.984	82.349

ตารางที่ ข12 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยความร้อน และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ภาวะที่ใช้อบ	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
high temp	1	0.990	0.216	0.177	0.154	0.141	0.096	0.094	0.090	0.094
	2	0.915	0.251	0.241	0.259	0.267	0.237	0.249	0.256	0.264
	3	0.958	0.237	0.216	0.214	0.206	0.210	0.213	0.209	0.208
	เฉลี่ย	0.954	0.235	0.211	0.209	0.205	0.181	0.185	0.185	0.189
	SD	0.038	0.018	0.032	0.052	0.063	0.075	0.081	0.086	0.087
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	10.818	9.730	9.641	9.445	8.350	8.538	8.513	8.706
	% decrease	0.000	75.416	77.890	78.091	78.536	81.025	80.599	80.655	80.216
high temp+ 150 °C	1	0.990	0.337	0.316	0.316	0.303	0.239	0.269	0.259	0.246
	2	0.915	0.161	0.144	0.125	0.125	0.107	0.104	0.090	0.102
	3	0.958	0.435	0.331	0.269	0.237	0.266	0.179	0.196	0.157
	เฉลี่ย	0.954	0.311	0.264	0.237	0.222	0.204	0.184	0.182	0.168
	SD	0.038	0.139	0.104	0.100	0.090	0.085	0.083	0.086	0.072
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	14.347	12.156	10.914	10.215	9.400	8.495	8.383	7.762
	% decrease	0.000	67.397	72.377	75.199	76.787	78.640	80.695	80.950	82.362

ตารางที่ ข13 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่ระดับต่างกัน

ระดับพลังงาน	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
294 mJ/cm^2	1	0.990	0.352	0.292	0.235	0.203	0.180	0.077	0.063	0.080
	2	0.915	0.371	0.260	0.170	0.151	0.150	0.120	0.126	0.098
	3	0.958	0.564	0.453	0.372	0.315	0.193	0.211	0.197	0.153
	เฉลี่ย	0.954	0.429	0.335	0.259	0.223	0.174	0.136	0.129	0.110
	SD	0.038	0.117	0.103	0.103	0.084	0.022	0.069	0.067	0.038
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	19.796	15.449	11.951	10.278	8.025	6.267	5.927	5.074
	% decrease	0.000	55.014	64.894	72.843	76.643	81.763	85.758	86.530	88.469
622 mJ/cm^2	1	0.990	0.417	0.331	0.263	0.223	0.181	0.109	0.086	0.081
	2	0.915	0.336	0.216	0.147	0.032	0.020	0.015	0.015	0.015
	3	0.958	0.532	0.395	0.342	0.265	0.112	0.117	0.131	0.086
	เฉลี่ย	0.954	0.428	0.314	0.251	0.174	0.104	0.080	0.077	0.061
	SD	0.038	0.099	0.091	0.098	0.124	0.081	0.057	0.058	0.040
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	19.753	14.477	11.562	8.006	4.818	3.698	3.553	2.796
	% decrease	0.000	55.113	67.102	73.726	81.807	89.051	91.597	91.925	93.647

ตารางที่ ข14 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่ระดับต่างกัน (ต่อ)

ระดับพลังงาน	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
938 mJ/cm^2	1	0.990	0.363	0.272	0.220	0.169	0.140	0.063	0.084	0.068
	2	0.915	0.355	0.234	0.173	0.064	0.044	0.136	0.035	0.032
	3	0.958	0.483	0.372	0.295	0.225	0.087	0.064	0.090	0.069
	เฉลี่ย	0.954	0.400	0.293	0.229	0.153	0.090	0.088	0.070	0.056
	SD	0.038	0.071	0.071	0.062	0.081	0.048	0.041	0.030	0.021
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	18.457	13.504	10.561	7.047	4.160	4.050	3.206	2.602
	% decrease	0.000	58.057	69.313	76.000	83.986	90.546	90.796	92.714	94.088

ตารางที่ ข15 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่ระดับต่างกัน

ระดับพลังงาน	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
294 mJ/cm^2	1	0.990	0.322	0.285	0.260	0.247	0.196	0.193	0.190	0.182
	2	0.915	0.230	0.195	0.176	0.150	0.099	0.094	0.086	0.077
	3	0.958	0.587	0.543	0.548	0.542	0.532	0.521	0.515	0.509
	เฉลี่ย	0.954	0.380	0.341	0.328	0.313	0.275	0.269	0.264	0.256
	SD	0.038	0.185	0.181	0.195	0.204	0.227	0.223	0.224	0.226
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	17.504	15.717	15.135	14.449	12.702	12.421	12.156	11.801
	% decrease	0.000	60.224	64.284	65.605	67.165	71.136	71.774	72.377	73.183
622 mJ/cm^2	1	0.990	0.212	0.180	0.170	0.132	0.086	0.070	0.064	0.055
	2	0.915	0.171	0.149	0.163	0.162	0.133	0.135	0.131	0.131
	3	0.958	0.467	0.370	0.303	0.256	0.217	0.173	0.161	0.147
	เฉลี่ย	0.954	0.283	0.233	0.212	0.183	0.145	0.126	0.119	0.111
	SD	0.038	0.161	0.120	0.079	0.065	0.066	0.052	0.050	0.049
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	13.051	10.739	9.787	8.444	6.701	5.803	5.472	5.128
	% decrease	0.000	70.341	75.596	77.759	80.812	84.771	86.814	87.566	88.347

ตารางที่ ข16 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) อบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่ระดับต่างกัน (ต่อ)

ระดับพลังงาน	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
938 mJ/cm^2	1	0.990	0.131	0.103	0.109	0.097	0.049	0.053	0.043	0.041
	2	0.915	0.133	0.108	0.109	0.093	0.045	0.041	0.030	0.024
	3	0.958	0.412	0.298	0.237	0.178	0.140	0.076	0.073	0.067
	เฉลี่ย	0.954	0.225	0.170	0.152	0.122	0.078	0.057	0.049	0.044
	SD	0.038	0.162	0.111	0.074	0.048	0.053	0.018	0.022	0.022
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	10.391	7.830	6.997	5.645	3.600	2.606	2.237	2.020
	% decrease	0.000	76.388	82.207	84.099	87.172	91.819	94.078	94.916	95.409

ตารางที่ ข17 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟ

	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
สารละลายสี	1	0.990	0.900	0.889	0.882	0.936	0.890	0.879	0.930	0.909
	2	0.915	1.016	1.037	1.018	0.979	1.018	0.996	0.927	0.940
	3	0.958	0.946	0.933	0.950	0.929	0.933	0.953	0.907	0.897
	เฉลี่ย	0.954	0.954	0.953	0.950	0.948	0.947	0.943	0.921	0.915
	SD	0.038	0.059	0.076	0.068	0.027	0.065	0.059	0.013	0.022
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	43.983	43.942	43.796	43.706	43.675	43.463	42.483	42.208
	% decrease	0.000	0.052	0.143	0.477	0.681	0.751	1.232	3.459	4.083
untreated	1	0.990	0.899	0.900	0.948	0.941	0.887	0.907	0.935	0.891
	2	0.915	1.078	1.012	1.025	0.999	1.086	1.093	1.097	1.104
	3	0.958	0.900	0.966	0.913	0.948	0.916	0.897	0.889	0.931
	เฉลี่ย	0.954	0.959	0.959	0.962	0.963	0.963	0.966	0.974	0.976
	SD	0.038	0.103	0.056	0.057	0.032	0.108	0.110	0.109	0.113
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	44.229	44.235	44.375	44.383	44.402	44.526	44.901	44.989

ตารางที่ ข18 การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและสารละลายสีย้อมรีแอคทีฟ

	No.	ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆ (ชม.)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
สารละลายสี	1	0.990	0.993	0.971	0.989	0.953	0.950	0.985	0.944	0.928
	2	0.915	0.912	0.888	0.916	0.876	0.880	0.912	0.873	0.900
	3	0.958	0.937	0.982	0.910	0.971	0.968	0.896	0.961	0.920
	เฉลี่ย	0.954	0.947	0.947	0.938	0.933	0.933	0.931	0.926	0.916
	SD	0.038	0.042	0.051	0.044	0.051	0.047	0.047	0.047	0.014
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	43.681	43.670	43.269	43.028	43.002	42.928	42.703	42.227
	% decrease	0.000	0.737	0.763	1.673	2.222	2.279	2.448	2.960	4.041
untreated	1	0.990	0.940	0.942	0.949	0.909	0.923	0.919	0.938	0.947
	2	0.915	0.914	0.924	0.913	0.885	0.898	0.897	0.911	0.927
	3	0.958	1.024	1.012	1.025	1.097	1.078	1.093	1.086	1.104
	เฉลี่ย	0.954	0.959	0.959	0.962	0.964	0.966	0.970	0.979	0.993
	SD	0.038	0.057	0.046	0.058	0.116	0.098	0.107	0.094	0.097
	ความเข้มข้น(mg/l)	44.005	44.223	44.242	44.377	44.437	44.554	44.706	45.128	45.775

ภาคผนวก ค

ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ

ตารางที่ ค1 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีพลังงาน 294 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอดยูวี

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 5% (v/v)	1	1.778	1.455	1.238	1.091	0.998	0.91	0.839	0.802	0.771	0.732	0.711	0.685	0.659
	2	1.695	1.405	1.237	1.112	1.041	0.96	0.891	0.86	0.833	0.792	0.773	0.748	0.723
	3	1.86	1.835	1.426	1.105	0.942	0.894	0.845	0.795	0.748	0.695	0.641	0.588	0.534
	เฉลี่ย	1.778	1.565	1.300	1.103	0.994	0.921	0.858	0.819	0.784	0.740	0.708	0.674	0.639
	SD	0.083	0.235	0.109	0.011	0.050	0.034	0.028	0.036	0.044	0.049	0.066	0.081	0.096
	%decrease	0	11.963	26.852	37.971	44.103	48.172	51.716	53.928	55.897	58.391	60.154	62.104	64.073
TTIP 10% (v/v)	1	1.938	1.719	1.515	1.331	1.169	1.03	0.921	0.858	0.768	0.737	0.687	0.642	0.597
	2	2.078	1.805	1.586	1.366	1.241	1.082	0.979	0.908	0.837	0.798	0.757	0.712	0.667
	3	1.983	1.72	1.536	1.395	1.255	1.205	1.16	1.1	1.041	0.993	0.943	0.883	0.846
	เฉลี่ย	2.000	1.748	1.546	1.364	1.222	1.106	1.020	0.955	0.882	0.843	0.796	0.746	0.703
	SD	0.071	0.049	0.036	0.032	0.046	0.090	0.125	0.128	0.142	0.134	0.132	0.124	0.128
	%decrease	0	12.585	22.704	31.789	38.906	44.707	48.991	52.225	55.893	57.860	60.210	62.710	64.827

ตารางที่ ค2 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีพลังงาน 294 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอดยูวี (ต่อ)

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 15% (v/v)	1	2.365	1.993	1.729	1.477	1.338	1.163	1.042	0.967	0.901	0.855	0.805	0.747	0.689
	2	2.475	2.171	1.863	1.582	1.392	1.181	1.06	0.982	0.912	0.858	0.822	0.766	0.71
	3	1.983	1.707	1.485	1.28	1.117	1.06	1	0.943	0.888	0.834	0.77	0.7	0.674
	เฉลี่ย	2.274	1.957	1.692	1.446	1.282	1.135	1.034	0.964	0.900	0.849	0.799	0.738	0.691
	SD	0.258	0.234	0.192	0.153	0.146	0.065	0.031	0.020	0.012	0.013	0.027	0.034	0.018
	%decrease	0	13.953	25.590	36.406	43.617	50.110	54.536	57.614	60.413	62.670	64.869	67.566	69.617
TTIP 20% (v/v)	1	4.771	3.86	3.063	2.415	2.076	1.797	1.581	1.432	1.315	1.217	1.168	1.085	1.038
	2	3.409	2.843	2.332	1.91	1.67	1.429	1.269	1.163	1.068	1.026	0.967	0.908	0.864
	3	2.917	2.147	1.802	1.581	1.438	1.269	1.139	1.063	0.974	0.912	0.875	0.807	0.737
	เฉลี่ย	3.163	2.495	2.067	1.746	1.554	1.349	1.204	1.113	1.021	0.969	0.921	0.858	0.801
	SD	0.348	0.492	0.375	0.233	0.164	0.113	0.092	0.071	0.066	0.081	0.065	0.071	0.090
	%decrease	0	21.119	34.651	44.815	50.869	57.351	61.935	64.812	67.721	69.365	70.882	72.890	74.692

ตารางที่ ค3 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีพลังงาน 294 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอด D65

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 5% (v/v)	1	1.84	1.766	1.61	1.517	1.448	1.388	1.344	1.295	1.283	1.235	1.214	1.195	1.176
	2	1.881	1.817	1.669	1.553	1.498	1.423	1.359	1.345	1.315	1.286	1.249	1.211	1.188
	3	1.983	1.945	1.868	1.765	1.654	1.571	1.488	1.405	1.322	1.3	1.278	1.258	1.234
	เฉลี่ย	1.901	1.843	1.716	1.612	1.533	1.461	1.397	1.348	1.307	1.274	1.247	1.221	1.199
	SD	0.074	0.092	0.135	0.134	0.107	0.097	0.079	0.055	0.021	0.034	0.032	0.033	0.031
	%decrease	0	3.086	9.765	15.235	19.355	23.177	26.525	29.085	31.276	33.012	34.414	35.764	36.921
TTIP 10% (v/v)	1	1.809	1.688	1.462	1.367	1.263	1.207	1.162	1.096	1.057	1.007	0.993	0.955	0.928
	2	1.827	1.688	1.462	1.345	1.265	1.178	1.131	1.066	1.029	0.987	0.954	0.919	0.888
	3	1.983	1.913	1.781	1.687	1.562	1.47	1.38	1.33	1.288	1.195	1.164	1.101	1.069
	เฉลี่ย	1.873	1.763	1.568	1.466	1.363	1.285	1.224	1.164	1.125	1.063	1.037	0.992	0.962
	SD	0.096	0.130	0.184	0.191	0.172	0.161	0.136	0.145	0.142	0.115	0.112	0.096	0.095
	%decrease	0	5.873	16.266	21.712	27.211	31.393	34.632	37.854	39.954	43.246	44.634	47.055	48.656

ตารางที่ ค4 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีพลังงาน 294 mJ/cm^2 ทดสอบภายใต้หลอด D65 (ต่อ)

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 15% (v/v)	1	2.154	1.869	1.508	1.325	1.149	1.043	0.997	0.932	0.92	0.844	0.817	0.782	0.745
	2	2.353	2.143	1.749	1.569	1.415	1.288	1.216	1.145	1.095	1.022	0.981	0.935	0.904
	3	1.86	1.767	1.645	1.509	1.396	1.305	1.215	1.25	1.035	1.01	0.986	0.961	0.936
	เฉลี่ย	2.122	1.926	1.634	1.468	1.320	1.212	1.143	1.109	1.017	0.959	0.928	0.893	0.862
	SD	0.248	0.194	0.121	0.127	0.148	0.147	0.126	0.162	0.089	0.099	0.096	0.097	0.102
	%decrease	0	9.235	23.009	30.847	37.804	42.893	46.160	47.746	52.097	54.830	56.275	57.939	59.400
TTIP 20% (v/v)	1	4.136	3.047	2.38	1.935	1.711	1.484	1.321	1.226	1.159	1.079	1.035	1	0.962
	2	2.242	2.026	1.774	1.601	1.395	1.246	1.126	1.035	0.962	0.886	0.845	0.8	0.763
	3	2.076	1.736	1.592	1.468	1.377	1.284	1.185	1.121	1.059	1.004	0.966	0.932	0.887
	เฉลี่ย	2.818	2.270	1.915	1.668	1.494	1.338	1.211	1.127	1.060	0.990	0.949	0.911	0.871
	SD	1.144	0.689	0.413	0.241	0.188	0.128	0.100	0.096	0.099	0.097	0.096	0.102	0.101
	%decrease	0	19.458	32.032	40.809	46.972	52.520	57.038	59.995	62.385	64.881	66.335	67.684	69.103

ตารางที่ ค5 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้หลอดยูวี

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 5% (v/v)l	1	1.363	1.112	0.994	0.918	0.88	0.816	0.765	0.794	0.712	0.687	0.67	0.641	0.612
	2	1.587	1.346	1.156	1.041	0.974	0.893	0.831	0.738	0.761	0.736	0.714	0.679	0.644
	3	1.965	1.576	1.385	1.236	1.155	1.116	1.078	1.039	1	0.977	0.954	0.931	0.908
	เฉลี่ย	1.638	1.345	1.178	1.065	1.003	0.942	0.891	0.857	0.824	0.800	0.779	0.750	0.721
	SD	0.304	0.232	0.196	0.160	0.140	0.156	0.165	0.160	0.154	0.155	0.153	0.158	0.162
	%decrease	0	17.925	28.077	34.995	38.779	42.523	45.595	47.691	49.685	51.170	52.431	54.201	55.972
TTIP 10% (v/v)	1	2.734	2.446	2.05	1.713	1.434	1.336	1.243	1.147	1.021	0.948	0.902	0.886	0.812
	2	1.835	1.587	1.398	1.222	1.118	0.989	0.909	0.862	0.806	0.759	0.731	0.697	0.63
	3	1.573	1.362	1.195	1.082	0.996	0.909	0.836	0.79	0.741	0.716	0.688	0.651	0.598
	เฉลี่ย	1.704	1.475	1.297	1.152	1.057	0.949	0.873	0.826	0.774	0.738	0.710	0.674	0.614
	SD	0.185	0.159	0.144	0.099	0.086	0.057	0.052	0.051	0.046	0.030	0.030	0.033	0.023
	%decrease	0	13.468	23.914	32.394	37.969	44.308	48.797	51.526	54.607	56.719	58.363	60.446	63.967

ตารางที่ ค6 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้หลอดยูวี (ต่อ)

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 15% (v/v)	1	1.798	1.484	1.265	1.109	1.019	0.911	0.848	0.796	0.751	0.719	0.695	0.651	0.607
	2	2.372	1.995	1.633	1.39	1.258	1.07	0.958	0.902	0.825	0.802	0.758	0.707	0.656
	3	2.246	2.045	1.807	1.579	1.368	1.302	1.237	1.171	1.105	1.037	0.968	0.899	0.831
	เฉลี่ย	2.139	1.841	1.568	1.359	1.215	1.094	1.014	0.956	0.894	0.853	0.807	0.752	0.698
	SD	0.302	0.310	0.277	0.236	0.178	0.197	0.201	0.193	0.187	0.165	0.143	0.130	0.118
	%decrease	0	13.903	26.668	36.440	43.189	48.831	52.572	55.284	58.214	60.131	62.266	64.822	67.363
TTIP 20% (v/v)	1	2.703	2.16	1.721	1.424	1.248	1.148	1.11	0.998	0.954	0.884	0.871	0.819	0.79
	2	2.554	2.111	1.755	1.433	1.243	1.12	1.053	0.941	0.894	0.835	0.796	0.751	0.723
	3	2.385	2.045	1.712	1.428	1.25	1.151	1.091	0.986	0.927	0.86	0.822	0.798	0.776
	เฉลี่ย	2.470	2.078	1.734	1.431	1.247	1.136	1.072	0.964	0.911	0.848	0.809	0.775	0.750
	SD	0.120	0.047	0.030	0.004	0.005	0.022	0.027	0.032	0.023	0.018	0.018	0.033	0.037
	%decrease	0	15.853	29.804	42.073	49.524	54.019	56.590	60.984	63.130	65.681	67.240	68.637	69.650

ตารางที่ ค7 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้หลอด D65

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 5% (v/v)l	1	1.802	1.596	1.43	1.264	1.174	1.118	1.073	1.027	1.025	0.975	0.939	0.92	0.908
	2	1.977	1.811	1.728	1.457	1.37	1.312	1.249	1.214	1.2	1.146	1.121	1.099	1.071
	3	1.965	1.85	1.722	1.594	1.467	1.399	1.33	1.263	1.198	1.181	1.164	1.144	1.131
	เฉลี่ย	1.915	1.752	1.627	1.438	1.337	1.276	1.217	1.168	1.141	1.101	1.075	1.054	1.037
	SD	0.098	0.137	0.170	0.166	0.149	0.144	0.131	0.125	0.100	0.110	0.119	0.118	0.115
	%decrease	0	8.478	15.042	24.878	30.171	33.339	36.421	38.997	40.407	42.514	43.872	44.934	45.857
TTIP 10% (v/v)	1	2.16	2.111	1.959	1.825	1.748	1.593	1.44	1.352	1.257	1.17	1.109	1.033	1.013
	2	1.755	1.678	1.604	1.531	1.456	1.375	1.276	1.268	1.192	1.027	1.014	0.981	0.916
	3	2.532	2.43	2.209	2.048	1.898	1.784	1.612	1.473	1.374	1.283	1.191	1.133	1.074
	เฉลี่ย	2.144	2.054	1.907	1.790	1.677	1.580	1.444	1.371	1.283	1.155	1.103	1.057	0.995
	SD	0.549	0.532	0.428	0.366	0.313	0.289	0.238	0.145	0.129	0.181	0.125	0.107	0.112
	%decrease	0	4.175	11.057	16.515	21.763	26.312	32.634	36.063	40.145	46.116	48.565	50.688	53.581

ตารางที่ ค8 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทดสอบภายใต้หลอด D65 (ต่อ)

ปริมาตร TTIP	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
TTIP 15% (v/v)	1	2.361	2.287	2.081	1.717	1.351	1.223	1.136	1.06	0.997	0.937	0.873	0.846	0.811
	2	2.84	2.697	2.473	2.448	2.093	1.934	1.821	1.687	1.607	1.485	1.419	1.375	1.293
	3	2.76	2.758	2.629	2.479	2.328	2.168	2.012	1.812	1.705	1.637	1.567	1.499	1.434
	เฉลี่ย	2.654	2.581	2.394	2.215	1.924	1.775	1.656	1.520	1.436	1.353	1.286	1.240	1.179
	SD	0.257	0.256	0.282	0.431	0.510	0.492	0.461	0.403	0.384	0.368	0.366	0.347	0.327
	%decrease	0	2.751	9.773	16.543	27.497	33.111	37.583	42.733	45.874	49.014	51.526	53.272	55.558
TTIP 20% (v/v)	1	3.387	2.509	1.869	1.57	1.376	1.241	1.122	1.048	0.986	0.926	0.893	0.849	0.82
	2	2.441	2.218	2.014	1.818	1.575	1.448	1.32	1.219	1.133	1.054	0.999	0.951	0.909
	3	1.807	1.566	1.297	1.167	1.05	0.98	0.947	0.845	0.785	0.737	0.714	0.701	0.655
	เฉลี่ย	2.545	2.098	1.727	1.518	1.334	1.223	1.130	1.037	0.968	0.906	0.869	0.834	0.795
	SD	0.795	0.483	0.379	0.329	0.265	0.235	0.187	0.187	0.175	0.159	0.144	0.126	0.129
	%decrease	0	17.577	32.155	40.341	47.597	51.945	55.612	59.240	61.965	64.414	65.868	67.243	68.775

ตารางที่ ค9 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวี และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทดสอบภายใต้หลอดยูวี

ภาวะที่สังเกต		K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
	no.	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
UV	1	4.771	3.86	3.063	2.415	2.076	1.797	1.581	1.432	1.315	1.217	1.168	1.085	1.038
	2	3.409	2.843	2.332	1.91	1.67	1.429	1.269	1.163	1.068	1.026	0.967	0.908	0.864
	3	2.917	2.147	1.802	1.581	1.438	1.269	1.139	1.063	0.974	0.912	0.875	0.807	0.737
	เฉลี่ย	3.163	2.495	2.067	1.745	1.554	1.349	1.204	1.113	1.021	0.969	0.921	0.857	0.800
	SD	0.348	0.492	0.375	0.233	0.164	0.113	0.092	0.071	0.066	0.081	0.065	0.071	0.090
	%decrease	0	21.119	34.651	44.815	50.869	57.351	61.935	64.812	67.721	69.365	70.882	72.89	74.692
UV+150 ^{o}C	1	3.731	2.662	1.998	1.599	1.384	1.19	1.057	0.984	0.919	0.865	0.821	0.777	0.736
	2	2.201	1.44	1.244	1.043	0.968	0.854	0.77	0.721	0.67	0.632	0.616	0.582	0.538
	3	2.293	1.986	1.736	1.492	1.34	1.196	1.085	1.035	0.961	0.911	0.885	0.833	0.75
	เฉลี่ย	2.247	1.713	1.49	1.267	1.154	1.025	0.927	0.878	0.815	0.771	0.750	0.707	0.644
	SD	0.065	0.386	0.348	0.317	0.263	0.242	0.223	0.222	0.206	0.197	0.190	0.177	0.150
	%decrease	0	23.765	33.689	43.591	48.643	54.384	58.723	60.926	63.707	65.665	66.6	68.514	71.34

ตารางที่ ค10 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทดสอบภายใต้หลอดยูวี

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
high temp	1	2.703	2.16	1.721	1.424	1.248	1.148	1.11	0.998	0.954	0.884	0.871	0.819	0.79
	2	2.554	2.111	1.755	1.433	1.243	1.12	1.053	0.941	0.894	0.835	0.796	0.751	0.723
	3	2.385	2.045	1.712	1.428	1.25	1.151	1.091	0.986	0.927	0.86	0.822	0.798	0.776
	เฉลี่ย	2.470	2.078	1.734	1.431	1.247	1.136	1.072	0.964	0.911	0.848	0.809	0.775	0.750
	SD	0.120	0.047	0.030	0.004	0.005	0.022	0.027	0.032	0.023	0.018	0.018	0.033	0.037
	%decrease	0	15.853	29.804	42.073	49.524	54.019	56.59	60.984	63.13	65.681	67.24	68.637	69.65
high temp+ 150 ^{o}C	1	2.374	2.064	1.783	1.535	1.373	1.219	1.096	1.045	0.977	0.933	0.883	0.842	0.8
	2	1.596	1.023	0.888	0.757	0.709	0.637	0.58	0.553	0.521	0.505	0.481	0.458	0.41
	3	1.618	1.464	1.337	1.249	1.165	1.084	1.019	0.987	0.958	0.935	0.899	0.88	0.72
	เฉลี่ย	1.607	1.2435	1.1125	1.003	0.937	0.8605	0.7995	0.77	0.7395	0.72	0.69	0.669	0.565
	SD	0.016	0.312	0.317	0.348	0.322	0.316	0.310	0.307	0.309	0.304	0.296	0.298	0.219
	%decrease	0	22.62	30.772	37.586	41.693	46.453	50.249	52.085	53.983	55.196	57.063	58.37	64.841

ตารางที่ ค11 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวี และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทดสอบภายใต้หลอด D65

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
UV	1	4.136	3.047	2.38	1.935	1.711	1.484	1.321	1.226	1.159	1.079	1.035	1	0.962
	2	2.242	2.026	1.774	1.601	1.395	1.246	1.126	1.035	0.962	0.886	0.845	0.8	0.763
	3	2.076	1.736	1.592	1.468	1.377	1.284	1.185	1.121	1.059	1.004	0.966	0.932	0.887
	เฉลี่ย	2.818	2.270	1.915	1.668	1.494	1.338	1.211	1.127	1.060	0.990	0.949	0.911	0.871
	SD	1.144	0.689	0.413	0.241	0.188	0.128	0.100	0.096	0.099	0.097	0.096	0.102	0.101
	%decrease	0	19.458	32.032	40.809	46.972	52.520	57.038	59.995	62.385	64.881	66.335	67.684	69.103
UV+150 ^{o}C	2	2.641	2.374	2.021	1.773	1.483	1.391	1.2	1.083	1.012	0.924	0.865	0.824	0.792
	3	2.351	2.182	1.924	1.756	1.511	1.394	1.237	1.119	1.025	0.944	0.874	0.82	0.785
	2	2.448	2.164	1.892	1.677	1.454	1.322	1.186	1.083	1.018	0.954	0.897	0.847	0.815
	เฉลี่ย	2.480	2.240	1.946	1.735	1.483	1.369	1.208	1.095	1.018	0.941	0.879	0.830	0.797
	SD	0.148	0.116	0.067	0.051	0.029	0.041	0.026	0.021	0.007	0.015	0.017	0.015	0.016
	%decrease	0	9.677	21.546	30.027	40.215	44.798	51.304	55.847	58.938	62.070	64.570	66.519	67.849

ตารางที่ ค12 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทดสอบภายใต้หลอด D65

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
high temp	1	3.387	2.509	1.869	1.57	1.376	1.241	1.122	1.048	0.986	0.926	0.893	0.849	0.82
	2	2.441	2.218	2.014	1.818	1.575	1.448	1.32	1.219	1.133	1.054	0.999	0.951	0.909
	3	1.807	1.566	1.297	1.167	1.05	0.98	0.947	0.845	0.785	0.737	0.714	0.701	0.655
	เฉลี่ย	2.545	2.098	1.727	1.518	1.334	1.223	1.130	1.037	0.968	0.906	0.869	0.834	0.795
	SD	0.795	0.483	0.379	0.329	0.265	0.235	0.187	0.187	0.175	0.159	0.144	0.126	0.129
	%decrease	0	17.577	32.155	40.341	47.597	51.945	55.612	59.240	61.965	64.414	65.868	67.243	68.775
high temp + 150 ^{o}C	1	3.832	3.01	2.37	1.985	1.727	1.532	1.373	1.249	1.19	1.09	1.035	0.991	0.959
	2	2.629	2.342	2.196	1.943	1.7	1.596	1.435	1.32	1.245	1.142	1.068	1.012	0.972
	3	2.052	1.744	1.605	1.507	1.38	1.284	1.184	1.114	1.046	1.006	0.972	0.933	0.894
	เฉลี่ย	2.838	2.365	2.057	1.812	1.602	1.471	1.331	1.228	1.160	1.079	1.025	0.979	0.942
	SD	0.908	0.633	0.401	0.265	0.193	0.165	0.131	0.105	0.103	0.069	0.049	0.041	0.042
	%decrease	0	16.645	27.511	36.156	43.533	48.173	53.107	56.737	59.110	61.964	63.879	65.512	66.815

ตารางที่ ค13 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ทดสอบภายใต้หลอดยูวี

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
294 mJ/cm^2	1	4.771	3.86	3.063	2.415	2.076	1.797	1.581	1.432	1.315	1.217	1.168	1.085	1.038
	2	3.409	2.843	2.332	1.91	1.67	1.429	1.269	1.163	1.068	1.026	0.967	0.908	0.864
	3	2.917	2.147	1.802	1.581	1.438	1.269	1.139	1.063	0.974	0.912	0.875	0.807	0.737
	เฉลี่ย	3.163	2.495	2.067	1.746	1.554	1.349	1.204	1.113	1.021	0.969	0.921	0.858	0.801
	SD	0.348	0.492	0.375	0.233	0.164	0.113	0.092	0.071	0.066	0.081	0.065	0.071	0.090
	%decrease	0	21.119	34.651	44.815	50.869	57.351	61.935	64.812	67.721	69.365	70.882	72.890	74.692
622 mJ/cm^2	1	3.605	2.554	1.907	1.505	1.31	1.134	1.011	0.944	0.879	0.846	0.804	0.754	0.726
	2	3.752	3.016	2.432	1.964	1.711	1.468	1.298	1.198	1.112	1.049	0.996	0.953	0.923
	3	3.962	3.063	2.385	1.927	1.69	1.427	1.26	1.173	1.083	1.037	0.975	0.946	0.878
	เฉลี่ย	3.773	2.878	2.241	1.799	1.570	1.343	1.190	1.105	1.025	0.977	0.925	0.884	0.842
	SD	0.179	0.281	0.290	0.255	0.226	0.182	0.156	0.140	0.127	0.114	0.105	0.113	0.103
	%decrease	0	23.730	40.595	52.328	58.380	64.405	68.469	70.713	72.842	74.097	75.484	76.562	77.675

ตารางที่ ค14 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ทดสอบภายใต้หลอดยูวี (ต่อ)

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
938 mJ/cm^2	1	4.613	3.196	2.287	1.744	1.528	1.311	1.159	1.065	0.976	0.942	0.905	0.848	0.822
	2	3.417	2.301	1.711	1.37	1.194	1.019	0.925	0.859	0.8	0.763	0.724	0.693	0.657
	3	3.279	2.257	1.74	1.352	1.202	1.052	0.93	0.868	0.808	0.775	0.734	0.697	0.676
	เฉลี่ย	3.770	2.585	1.913	1.489	1.308	1.127	1.005	0.931	0.861	0.827	0.788	0.746	0.718
	SD	0.734	0.530	0.325	0.221	0.191	0.160	0.134	0.116	0.099	0.100	0.102	0.088	0.090
	%decrease	0	31.435	49.262	60.509	65.302	70.095	73.349	75.312	77.151	78.071	79.105	80.210	80.944

ตารางที่ ค15 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ทดสอบภายใต้หลอด D65

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
294 mJ/cm^2	1	4.136	3.047	2.38	1.935	1.711	1.484	1.321	1.226	1.159	1.079	1.035	1	0.962
	2	2.242	2.026	1.774	1.601	1.395	1.246	1.126	1.035	0.962	0.886	0.845	0.8	0.763
	3	2.076	1.736	1.592	1.468	1.377	1.284	1.185	1.121	1.059	1.004	0.966	0.932	0.887
	เฉลี่ย	2.818	2.270	1.915	1.668	1.494	1.338	1.211	1.127	1.060	0.990	0.949	0.911	0.871
	SD	1.144	0.689	0.413	0.241	0.188	0.128	0.100	0.096	0.099	0.097	0.096	0.102	0.101
	%decrease	0	19.458	32.032	40.809	46.972	52.520	57.038	59.995	62.385	64.881	66.335	67.684	69.103
622 mJ/cm^2	1	2.542	2.246	1.9	1.628	1.363	1.26	1.11	1.003	0.93	0.854	0.799	0.761	0.726
	2	4.085	3.223	2.568	2.151	1.912	1.674	1.477	1.357	1.277	1.182	1.136	1.072	1.034
	3	2.713	2.446	2.092	1.805	1.512	1.389	1.204	1.084	1.004	0.913	0.855	0.809	0.77
	เฉลี่ย	3.113	2.638	2.187	1.861	1.596	1.441	1.264	1.148	1.070	0.983	0.930	0.881	0.843
	SD	0.846	0.516	0.344	0.266	0.284	0.212	0.191	0.185	0.183	0.175	0.181	0.167	0.167
	%decrease	0	15.257	29.764	40.214	48.747	53.715	59.411	63.126	65.621	68.426	70.128	71.713	72.912

ตารางที่ ค16 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP 20% (ปริมาตร/ปริมาตร) แล้วอบแห้งด้วยรังสียูวีที่พลังงานความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ทดสอบภายใต้หลอด D65 (ต่อ)

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
938 mJ/cm^2	1	4.025	2.763	2.064	1.699	1.515	1.325	1.19	1.109	1.046	0.975	0.936	0.904	0.876
	2	4.289	3.311	2.544	2.026	1.769	1.61	1.361	1.241	1.15	1.075	1.021	0.986	0.929
	3	3.572	2.415	1.859	1.539	1.355	1.18	1.057	0.982	0.926	0.869	0.823	0.809	0.771
	เฉลี่ย	3.962	2.830	2.156	1.755	1.546	1.372	1.203	1.111	1.041	0.973	0.927	0.900	0.859
	SD	0.363	0.452	0.352	0.248	0.209	0.219	0.152	0.130	0.112	0.103	0.099	0.089	0.080
	%decrease	0	28.580	45.591	55.713	60.971	65.379	69.645	71.967	73.734	75.442	76.611	77.293	78.327

ตารางที่ ค17 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ทดสอบภายใต้หลอดยูวี

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
untreated	1	0.7	0.699	0.685	0.67	0.665	0.644	0.63	0.652	0.649	0.647	0.643	0.638	0.637
	2	0.69	0.688	0.678	0.672	0.658	0.652	0.649	0.647	0.641	0.636	0.631	0.627	0.626
	3	0.831	0.825	0.814	0.801	0.799	0.737	0.734	0.729	0.728	0.727	0.723	0.716	0.715
	เฉลี่ย	0.7403	0.7373	0.7257	0.7143	0.7073	0.6777	0.671	0.676	0.6727	0.67	0.6657	0.6603	0.6593
	SD	0.0787	0.0761	0.0766	0.0751	0.0795	0.0515	0.0554	0.046	0.0481	0.0497	0.05	0.0485	0.0485
	%decrease	0	0.4052	1.9811	3.5119	4.4575	8.4647	9.3652	8.6898	9.14	9.5002	10.086	10.806	10.941

ตารางที่ ค18 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ทดสอบภายใต้หลอด D65

ภาวะที่สังเกต	no.	K/S ที่เวลาต่างๆ (ชม.)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
untreated	1	0.76	0.752	0.751	0.738	0.73	0.729	0.722	0.72	0.719	0.715	0.714	0.712	0.71
	2	0.602	0.601	0.597	0.595	0.577	0.576	0.574	0.572	0.572	0.571	0.571	0.57	0.57
	3	0.736	0.736	0.735	0.734	0.733	0.661	0.655	0.647	0.646	0.601	0.597	0.57	0.56
	เฉลี่ย	0.699	0.696	0.694	0.689	0.680	0.655	0.650	0.646	0.646	0.629	0.627	0.617	0.613
	SD	0.085	0.083	0.085	0.081	0.089	0.077	0.074	0.074	0.074	0.076	0.076	0.082	0.084
	%decrease	0	0.429	0.715	1.478	2.765	6.292	7.007	7.579	7.674	10.057	10.296	11.725	12.297

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิติญาภรณ์ สายศักดา เกิดเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ.2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ.2551 หลังจากนั้น เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายของปีการศึกษา 2554