



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

โครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

การอบผนึกด้วยรังสียูวีเพื่อตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับ
UV curing for producing cotton fabric with easy care

โดย

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

ชิตินุภรณ์ สายศักดิ์ดา

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

สิงหาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาโครงการในหัวข้อเรื่อง การออกแบบคั้วขริงสิยูวีเพื่อตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกัน
ยับได้รับความอนุเคราะห์ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกใน
สาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะผู้วิจัยจึง
ขอขอบพระคุณมาใน ณ โอกาสนี้

บทคัดย่อภาษาไทย

ชื่อโครงการวิจัย การอบผนึกด้วยรังสียูวีเพื่อตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับ

เนื่องจากผลที่ได้จากการศึกษาของการอบผนึกด้วยรังสียูวีเพื่อตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับ ได้ผลที่เป็นเชิงลบทำให้ต้องเปลี่ยนจุดมุ่งหมายไปศึกษาการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและอบด้วยรังสียูวีแทน เพราะฉะนั้นบทคัดย่อข้างล่างนี้เป็นบทคัดย่อสรุปของผลการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้าย

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมด้วยสารตั้งต้นของ Titanium isopropoxide (TTIP) ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันในช่วงระหว่าง 5-20% หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายมาจุ่มในไททาเนียโซลเป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วนำผ้าไปบีบอัดด้วยลูกกลิ้งเพื่อควบคุม % pick-up ให้ได้ 80% แล้วนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วมาอบด้วยความร้อน 2 ระบบ คือระบบการอบด้วยความร้อนด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ และระบบการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งไปศึกษาการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้า ซึ่งจะทำการศึกษา 3 ด้าน คือ การสลายตัวของสีรีแอคทีฟ การขจัดคราบกาแฟที่เปื้อน และการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพทางด้านความเหลืองและความต้านแรงดึงที่คงเหลือ และเฟสของอนุภาคไททาเนียที่อยู่บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งได้ทำการศึกษาด้วยเช่นกัน จากผลการทดสอบเฟสอนุภาคไททาเนียด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ผลปรากฏว่าเป็นพีคของผลึกอนาเทส และเมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดก็พบอนุภาคเกาะอยู่บนเส้นใยของผ้าฝ้าย ส่วนผลของการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนแสดงการสลายตัวของสีรีแอคทีฟที่อยู่ในขั้นที่ตีมาก แต่สมบัติทางด้านการขจัดคราบกาแฟที่เปื้อนและสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลได้ผลไม่ค่อยดีนัก แต่เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วด้วยไททาเนียโซลไปทำการอบผนึกเพิ่มอีกครั้งที่อุณหภูมิที่สูงที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที กลับได้ผลการทดสอบการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองทั้ง 2 ด้านดีขึ้น ซึ่งอาจจะบอกเป็นนัยได้ว่า การอบผนึกเพิ่มอาจจะมีผลกระทบต่อผลึกของอนุภาคไททาเนียที่แตกต่างออกไปจากของการที่ไม่มีการอบผนึกเพิ่ม และยังมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าให้ดีขึ้นได้ ส่วนค่าดัชนีความเหลืองและความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ผ่านอบผนึกอีกครั้งจะแสดงผลที่ด้อยลงอีก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Project Title UV curing for producing cotton fabric with easy care

Unfortunately, the study on using UV curing on the cotton fabric with easy care was not obtained any positive results on durable press performance. Therefore, the study was changed to focus on self-cleaning on the cotton fabric instead. The abstract below is about the performance of self-cleaning on the cotton fabric.

Abstract: In this study, the cotton fabric surface treated with TiO_2 nanosol and heated under ultraviolet irradiation or under heat in conventional oven. TiO_2 nanosol was prepared by sol-gel technique using titanium (IV) isopropoxide (TTIP) as a precursor under acid condition. Cotton fabric was immersed in the mixed solution of TiO_2 nanosol prepared from various concentrations of 5-20% V/V for 10 min and padded through the two-rollers to obtain about 80% wet pick-up. After that the padded cotton fabric was heated either under ultraviolet irradiation (UV) having energy at 289 mJ/cm^2 for 5 cycles or in the oven at a high temperature, 100°C for 5 min. Then the treated cotton fabric was washed with water and dried at 80°C for 5 min before testing. Self-cleaning properties including degradation of coffee stain, antibacterial and decomposition of dye and deterioration of physical properties consisting of tensile strength retention and yellowness index were all investigated. A scanning electron microscope and X-ray diffractometer were used to observe the morphology and composition of TiO_2 coated cotton fabric surface, respectively. XRD patterns of the treated cotton fabric surfaces should anatase as the major peak of nano TiO_2 . The surface morphology of the treated cotton fabric revealed the TiO_2 particles distributed over the fiber surface. The treated cotton fabric surface heated under UV and at high temperature had ability to decompose the reactive dye, but not as good on those antibacterial property and decomposition of coffee stain. Surprisingly, antibacterial property and decomposition of coffee stain were improved on the treated cotton fabric surface after re-curing at higher temperature (150°C) for 5 min. This would imply that the curing temperature may affect the morphology of TiO_2 particles and enhance the performance of those two self-cleaning properties on the treated cotton fabric surface. However, the yellowness index and tensile strength retention were much worse in recurred cotton fabric.

สารบัญ

1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การตกแต่งกันยับ	3
2.2 ประเภทของสารตกแต่งกันยับ	5
2.3 สารไททาเนียมไดออกไซด์	12
2.4 กระบวนการโซลเจล	15
2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย	23
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	23
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	24
4. ผลการทดลอง	
4.1 สรุปผลการศึกษาเบื้องต้น	28
4.2 ผลการวิเคราะห์เฟสของไททาเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล	37
4.3 ความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟ	38
4.4 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	42
4.5 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ	45
4.6 สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล	46
4.7 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	48
4.8 ผลการวิเคราะห์เฟสของไททาเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล แล้วและทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	51
4.9 ความสามารถในการสลายตัวของสี CIBACRON RED LA-B h-c ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วและทำการอบผนึก อีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	53
4.10 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ได้ผ่านการตกแต่ง ด้วยไททาเนียโซลและทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	54

4.11	ความสามารถในการจัดคราบกาแฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	58
4.12	สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	59
4.13	ลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่อบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	59
5.	สรุปผลการทดลอง	61
6.	ข้อเสนอแนะ	64
	เอกสารอ้างอิง	65
	ภาคผนวก	
	บทความ	
	ประวัตินักวิจัย	

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แสดงการเคลื่อนย้ายของพันธะไฮโดรเจนหลังจากเกิดการแตกหักของพันธะ	3
รูปที่ 2.2	แผนภูมิการเกิดร่างแหในเซลลูโลส	4
รูปที่ 2.3	การสังเคราะห์สาร DMDHEU	5
รูปที่ 2.4	ปฏิกิริยาการเกิดพันธะอีเทอร์ระหว่างสารกันยับ DMDHEU และเส้นใยเซลลูโลส	8
รูปที่ 2.5	กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง BTCA และเซลลูโลส	10
รูปที่ 2.6	โครงสร้างทางเคมีของ Polycarboxylic acids	11
รูปที่ 2.7	การใช้งานของไททานีทางด้านการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดัวยแสง	12
รูปที่ 2.8	โครงสร้างผลึกของไททานี (a) อนาเทส (b) รูไทล์ (c) บรูคไคท์	13
รูปที่ 2.9	เปรียบเทียบกระบวนการโฟโตแคตลิสต์ของสารไททานีและสารโคลโรฟิล	15
รูปที่ 2.10	ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการโซลเจล	16
รูปที่ 4.1	เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งตามสูตรที่ 1-4	32
รูปที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานีโซลในกรดทั้งที่มีและไม่มีสารกันยับ	34
รูปที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ผลึกไททานีบนผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานีโซลที่ใช้สารตั้งต้น TTIP ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวี	38
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสี CIBACRON RED LA-B h-c และค่าการดูดซับของสี ณ ความเข้มข้นต่างๆ	39
รูปที่ 4.5	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานีโซล ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นเวลา 5 นาที	39
รูปที่ 4.6	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานีโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที	40
รูปที่ 4.7	การสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานีโซล ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวีจำนวน 5 รอบ	41

รูปที่ 4.8	การสลายตัวของสิริแอกทีฟของผ้าภายใต้หลอด D65 ที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวี	
	จำนวน 5 รอบ	42
รูปที่ 4.9	แสดงผลการทดสอบของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ที่อุณหภูมิการเพาะเชื้อที่ 37°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมที่อบด้วยรังสียูวีหรือที่อบด้วยความร้อน	43
รูปที่ 4.10	แสดงผลของการไม่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ตามมาตรฐาน AATCC-147	44
รูปที่ 4.11	ผลการทดสอบการต้านทานเชื้อ <i>E coli</i> ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและที่ไม่อึ่งและที่อึ่งด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC-147	45
รูปที่ 4.12	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและของผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C ที่ทำการฉายแสงภายใต้หลอด D65	46
รูปที่ 4.13	ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและของผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C ที่ทำการฉายแสงภายใต้หลอดยูวี	46
รูปที่ 4.14	ความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่างๆที่ได้อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm ² เป็นจำนวน 5 รอบหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที	48
รูปที่ 4.15	แสดงสัณฐานวิทยาของผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันและที่อบด้วยความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกันที่กำลังขยาย 5000 เท่า	50
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบผลึกไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยยูวีกับผลึกของไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยรังสียูวีและอบผืนอีกครั้งที่ 150°C	52
รูปที่ 4.17	เปรียบเทียบผลึกไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยรังสียูวีและอบผืนอีกครั้งที่ 150°C กับผลึกของไททาเนียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยความร้อนที่ 100°C และอบผืน	52

รูปที่ 4.18	การสลายตัวของสีภายใต้หลอดยูวี ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผืนอีกครั้งที่ 150°C	53
รูปที่ 4.19	การสลายตัวของสีภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผืนอีกครั้งที่ 150°C	54
รูปที่ 4.20	แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสอง ตามมาตรฐานของ AATCC-100	55
รูปที่ 4.21	แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสอง ตามมาตรฐานของ AATCC-147	56
รูปที่ 4.22	การสลายตัวของคราบกาแฟนผ้าภายใต้หลอดยูวีที่ตกแต่งด้วย ไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 20 มิลลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผืนอีกครั้งที่ 150°C	58
รูปที่ 4.23	การสลายตัวของคราบกาแฟนผ้าภายใต้หลอด D65 ที่ตกแต่งด้วย ไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 20 มิลลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผืนอีกครั้งที่ 150°C	58
รูปที่ 4.24	สัมฤทธิ์ผลของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 20 มิลลิตร แล้วอบด้วยยูวีหรืออบด้วยความร้อนและอบผืน อีกครั้งด้วยความร้อนที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที ที่กำลังขยาย 3500 เท่า	60

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	สูตรของการเตรียมสารไททานีซัลที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย	24
ตารางที่ 4.1	องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานีซัล หรือ TiO_2/SiO_2 ซัล พร้อมด้วยสารกันยับ BTCA หรือ DMDHEU แบบขั้นตอนเดียวและของสารกันยับ BTCA แบบสองขั้นตอน	29
ตารางที่ 4.2	องศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานีซัลที่เตรียม ในเอทานอลพร้อมด้วยสารกันยับ BTCA และทำการตกแต่ง แบบขั้นตอนเดียวหรือแบบสองขั้นตอน	31
ตารางที่ 4.3	สรุปการเตรียมสูตร ไททานีซัลในเอทานอลเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย และผลของค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	32
ตารางที่ 4.4	สรุปการเตรียมสูตร ไททานีซัลในกรดเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย และผลของค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	33
ตารางที่ 4.5	ผลของจำนวนรอบการอบด้วยรังสียูวีหรือเวลาในการอบด้วยความร้อนต่อ องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าและค่าความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วย ไททานีซัลที่เตรียมในกรด	35
ตารางที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานีซัลที่เตรียมจาก สารตั้งต้น TTIP ที่ 5 และ 10 มิลลิลิตรที่อบด้วยรังสียูวีด้วยจำนวนรอบ ที่แตกต่างกัน	36
ตารางที่ 4.7	เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานีซัลที่เตรียมจาก สารตั้งต้น TTIP ที่ 5 และ 10 มิลลิลิตรที่อบด้วยความร้อน $100^{\circ}C$ เป็นระยะเวลาที่แตกต่างกัน	36
ตารางที่ 4.8	ผลองศาการคืนตัวต่อการยับและค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วย ไททานีซัลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันแล้วอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบหรืออบด้วยความร้อนที่ $100^{\circ}C$ เป็นระยะเวลา 5 นาที	48
ตารางที่ 4.9	ผลรายงานการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด <i>Staphylococcus aureus</i> และ <i>Escherichia coli</i> ตามมาตรฐาน การทดสอบของ AATCC-147	57

ตารางที่ 4.10 ผลองศาการคืนตัวต่อการยับและค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วย ไททานเนียมไดออกไซด์ 20 มิลลิกรัมที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำเอามาอบผืนอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

บทที่ 1

บทนำ

(Introduction)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอโดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการเข้าทำปฏิกิริยากับผ้าและต้องทำการอบผืนที่อุณหภูมิสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานในการอบแห้งและอบผืนค่อนข้างมาก นอกจากนี้ การอบผืนด้วยความร้อนที่สูงยังมีผลทำให้ความแข็งแรงของผ้าด้อยลงและยังทำให้ผ้ามีความกระด้างมากขึ้น การใช้รังสีอินฟราเรดในการอบผ้าแทนการอบผ้าด้วยความร้อน เริ่มได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ทั้งนี้เพราะผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสีอินฟราเรดมีผลทำให้ความกระด้างของผ้าน้อยลง ณ ปัจจุบัน ได้มีการนำรังสีอินฟราเรดเข้ามาใช้ในกระบวนการอบผ้าให้กับสิ่งทอในโรงงานบ้างแล้ว รังสียูวีเป็นรังสีอีกตัวหนึ่งที่มีความสนใจเพิ่มมากขึ้นสำหรับนำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ตัวอย่างของการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เช่น การใช้รังสียูวีเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นสารไททานเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่นำมาตกแต่งสำเร็จลงบนผ้า เพื่อให้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วแสดงสมบัติในการทำความสะอาดรอยเปื้อนบนผ้าได้โดยปราศจากการซักล้าง นอกจากนี้ ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารไททานเนียมไดออกไซด์ก็ยังแสดงสมบัติด้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ด้วย สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นได้ของการใช้รังสียูวีในการอบผ้าเพื่อตกแต่งให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติกันยับและทำการศึกษาสมบัติการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองควบคู่กันไปด้วย

การตกแต่งกันยับสำหรับผ้าฝ้ายแบบดั้งเดิมเป็นการนำเอาสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับผ้าฝ้าย พร้อมทั้งตัวเร่งมาตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย และใช้พลังงานความร้อนจากเตาอบในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีให้เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของผ้าฝ้าย มีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่มากในผ้าฝ้ายถูกเปลี่ยนไปเป็นพันธะโควาเลนต์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากขึ้นทำให้เกิดการแตกหักของพันธะน้อยลง ทำให้ผลของการยับที่เกิดขึ้นน้อยลง แต่สำหรับในงานวิจัยนี้จะทดลองนำเอารังสียูวีมาเป็นแหล่งพลังงานใหม่แทนพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบผ้า ซึ่งวิธีการอบด้วยรังสียูวีเพื่อให้ผ้ามีสมบัติกันยับก็ยังต้องใช้สารเคมีกันยับตัวเดิมที่ใช้ในการตกแต่งกันยับทั่วไป แต่ได้เพิ่มสารไททานเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงเข้ามาในการตกแต่งด้วย ซึ่งในสภาวะที่มีสารไททานเนียมไดออกไซด์ รังสียูวีจะไปกระตุ้นสารไททานเนียมไดออกไซด์เกิดเป็นอิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งโฮลอาจสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับสารกันยับและอาจจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นได้กับหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าฝ้าย มีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนที่มีมากมาย

ในโครงสร้างผ้าฝ้ายเปลี่ยนไปเป็นพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนซึ่งแตกหักได้ยากมีผลทำให้ผ้าแสดงสมบัติกันยับได้ดีขึ้น เพราะฉะนั้น ถ้าสารไททานเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสียูวีแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ระหว่างสารกันยับกับผ้าฝ้ายก็อาจจะแสดงผลที่ต้านทานต่อการยับได้ ก็จะเป็นการพิสูจน์ว่า รังสียูวีสามารถนำมาใช้เพื่ออบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งให้มีสมบัติกันยับได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ เพื่อศึกษา

ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รังสียูวีในการอบเพื่อตกแต่งให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติกันยับ และทำการเปรียบเทียบผลกันยับของผ้าฝ้ายที่ผ่านการอบด้วยการใช้รังสียูวีกับผลของกันยับของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการอบด้วยความร้อนที่ใช้กันทั่วไป นอกจากนี้ สมบัติด้านความแข็งแรงที่คงเหลือ ความเหลือง สมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย และความสามารถในการทำความสะอาดรอยเปื้อนได้ด้วยตนเองของผ้า จะทำการศึกษาเปรียบเทียบด้วยเช่นกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายที่ได้ทำการฟอกขาวจากโรงงานมาแล้วเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยจะทำการวัดสมบัติด้านกันยับในทอมขององศาการคืนตัว และสมบัติทางด้านความแข็งแรงที่คงเหลือ ความเหลือง การต้านทานเชื้อแบคทีเรีย และความสามารถในการทำความสะอาดรอยเปื้อนด้วยตนเองของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่อบด้วยรังสียูวี แล้วนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของผ้าที่ตกแต่งสำเร็จที่อบด้วยความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เชิงเศรษฐศาสตร์ การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอที่อบด้วยรังสียูวีอาจเป็นแนวทางเลือกใหม่ในการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอที่ช่วยทำให้ได้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีสมบัติทางด้านทำความสะอาดรอยเปื้อนได้ด้วยตนเอง หรือสมบัติกันยับที่อาจเป็นไปได้

เชิงสังคม การตกแต่งด้วยแนวทางนี้อาจจะเป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ให้ความรู้สึกของการสัมผัสที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งอาจจะเป็นทางเลือกให้กับลูกค้าในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้นได้ในอนาคต

เชิงสิ่งแวดล้อม การใช้รังสียูวีอาจเป็นแหล่งพลังงานใหม่ในการอบผ้าให้กับสิ่งทอ และอาจช่วยลดโลกร้อนได้

บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

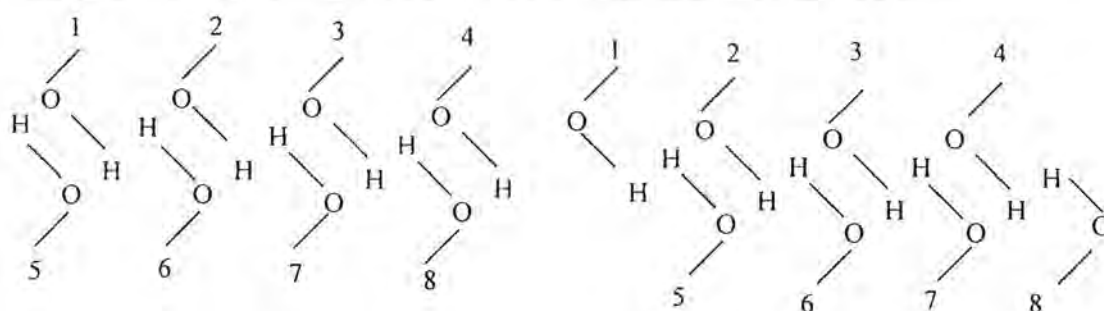
(Survey of Related Literature)

2.1 การตกแต่งกันยับ (Easy-care Finishing or Durable Press Finishing)

การตกแต่งกันยับ เป็นการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอชนิดหนึ่ง เพื่อให้การดูแลรักษาผ้าสามารถทำได้ง่ายขึ้น

สาเหตุของการยับบนผ้าที่ทำจากเส้นใยเซลลูโลส¹

ผ้าที่ทำจากเส้นใยเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะยับได้ง่าย การยับเกิดขึ้นเมื่อเส้นใยถูกหักงออย่างรุนแรงมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ในบริเวณอสัณฐาน (amorphous regions) เกิดการแตกหัก ทำให้สายโซ่โพลีเมอร์เคลื่อนตัวออกจากตำแหน่งเดิม เกิดการสร้างสายโซ่พันธะที่ตำแหน่งใหม่มีผลทำให้เกิดรอยยับขึ้นบนผ้า รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนย้ายของพันธะไฮโดรเจนหลังจากเกิดการแตกหักของพันธะ ซึ่งมีผลทำให้ผ้าเกิดการยับขึ้น



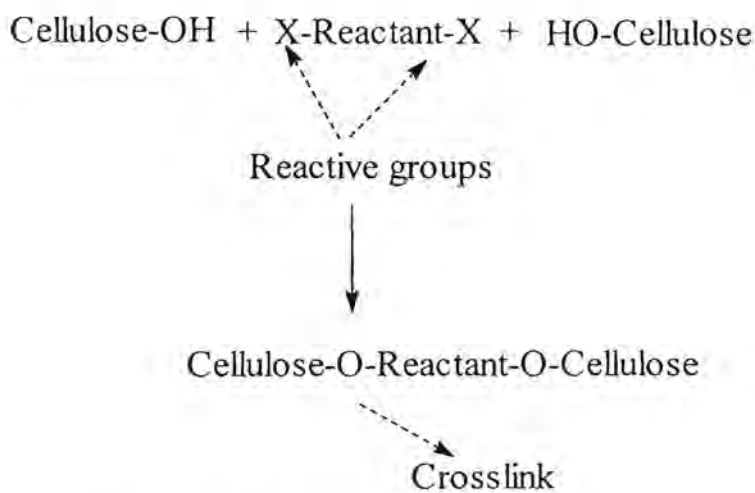
รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนย้ายของพันธะไฮโดรเจนหลังจากเกิดการแตกหักของพันธะ

การต้านทานการยับของเส้นใยเซลลูโลสสามารถทำได้โดยการจัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่โพลีเมอร์ การเคลื่อนตัวของสายโซ่โพลีเมอร์สามารถถูกจำกัดได้โดยการเติมสารเคมีที่สามารถเกิดพันธะร่างแหระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ในบริเวณอสัณฐานของเส้นใยฝ้าย เปลี่ยนพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของผ้าฝ้ายให้เป็นพันธะโควาเลนต์ ซึ่งพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของผ้าฝ้าย จะเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากกว่าพันธะเดิมคือพันธะไฮโดรเจน พันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการแตกหักของพันธะได้ยากขึ้นทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนย้ายของพันธะมีผลทำให้ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารเคมีดังกล่าวมีผลทำให้การเกิดการยับบนผ้าได้ยากขึ้นทำให้ผ้าไม่ยับง่าย การดูแลรักษาผ้าทำได้ง่ายขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการยับของผ้า

1. ความละเอียดของเส้นด้าย เส้นด้ายที่มีความละเอียดมากจะเกิดรอยยับที่น้อยกว่ารอยยับที่เกิดขึ้นในเส้นด้ายที่หยาบหรือเส้นด้ายที่มีความละเอียดน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะว่ารัศมีความโค้งงอของเส้นด้ายที่หยาบจะมีรัศมีความโค้งที่ใหญ่กว่ามีผลทำให้รอยของการยับที่เกิดขึ้นเห็นได้ชัดกว่าเมื่อเทียบกับของเส้นด้ายที่ละเอียดกว่า
2. จำนวนตเกลียวของเส้นด้าย เส้นด้ายที่ตเกลียวสูงจะเกิดรอยยับได้มากกว่าของเส้นด้ายที่ตเกลียวต่ำ ทั้งนี้เพราะว่า เส้นด้ายที่ตเกลียวน้อย จะมีการกระจายตัวของแรงบิดที่ตกว่าทำให้ความเครียดที่เกิดจากแรงบิดน้อยลงในเส้นด้ายที่ตเกลียวน้อย มีผลทำให้รอยยับที่เกิดขึ้นเป็นรอยที่เล็กและมีผลทำให้จำนวนรอยยับน้อยตามไปด้วย
3. ความหนาแน่นของผ้าที่ทอ ผ้าทอที่แน่นจะยับมากกว่าผ้าทอที่หลวม ทั้งนี้เพราะ ผ้าทอที่หลวมจะมีการเคลื่อนตัวของเส้นด้ายค่อนข้างสะดวก และผ่อนคลายความเครียดที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า ทำให้รอยยับที่เกิดขึ้นน้อยลง

คำที่ใช้สำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งกันยับแล้วมีคิงตัวอย่างเช่น durable press (DP), wash-and-wear, no iron, easy-care fabric ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับจะเกิดรอยยับได้ในขณะใช้ง่าย แต่รอยยับดังกล่าวจะหายแล้วกลับมาเรียบเหมือนเดิมหลังจากการซักและอบแห้ง รูปที่ 2.2 จะแสดงแผนภูมิการเกิดร่างแหในเซลลูโลส สารที่จะเกิดร่างแหได้จะต้องประกอบด้วยหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยาได้กับหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่โมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสในบริเวณอสังฐานอย่างน้อย 2 หมู่ทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงในเส้นใยเซลลูโลสขึ้น



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการเกิดร่างแหในเซลลูโลส'

2.2 ประเภทของสารตกแต่งกันยับ

สารตกแต่งกันยับ⁽¹⁻⁶⁾ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

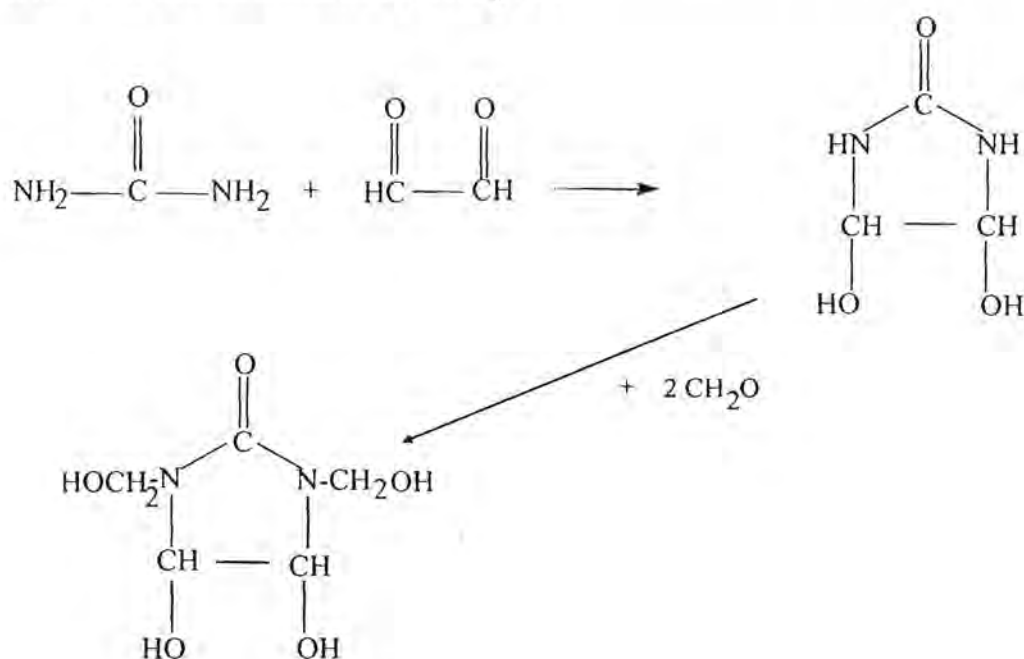
1. สารตกแต่งกันยับที่มีพื้นฐานทางเคมีที่สามารถปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์
2. สารตกแต่งกันยับที่ไม่มีพื้นฐานทางเคมีที่ปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์

สารตกแต่งกันยับที่มีพื้นฐานทางเคมีที่สามารถปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์

(Formaldehyde durable press finishes)

สารตกแต่งที่อยู่ในประเภทนี้มีหลากหลายชนิด แต่ที่สามารถนำมาใช้จริงในกระบวนการตกแต่งกันยับในอุตสาหกรรมสิ่งทอที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ Dimethylol-4,5-dihydroxyethylene urea (DMDHEU)

การสังเคราะห์สาร DMDHEU ทำได้โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างยูเรียและไกลออกซอล ได้เป็น 4,5-dihydroxyethylene urea แล้วทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ได้เป็น DMDHEU สาร DMDHEU ที่ขายอยู่ในเชิงการค้าส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของสารดังกล่าวประมาณ 46% เท่านั้น การสังเคราะห์สาร DMDHEU ในแสดงเอาไว้ในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์สาร DMDHEU

ลักษณะพิเศษของสารตกแต่งกันยับ DMDHEU

1. สารตกแต่งกันยับ DMDHEU จะปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาค่อนข้างต่ำ และมีอายุการใช้งานยาวนาน ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2. การเกิดพันธะว่างแหงของสาร DMDHEU จะเกิดที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 130°C ขึ้นไป ทำให้ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารนี้ไม่จำเป็นต้องทำการอบผนึกที่เรียกว่า "curing" ทันที สามารถทิ้งเอาไว้โดยไม่จำเป็นต้องทำการอบผนึกก่อนได้นานถึง 6 เดือน
3. สาร DMDHEU จะไม่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาได้ง่าย เหมือนกับสารตกแต่งกันยับชนิดอื่นๆ
4. การต้านทานต่อ hydrolysis และ chlorine ของสาร DMDHEU ดีกว่าของสารตกแต่งกันยับตัวอื่นที่อยู่ในประเภทเดียวกันเช่น Dimethylolethylene urea (DMEU)

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกันยับของผ้า (fabric durable press properties) กับปริมาณของสาร DMDHEU บนผ้า (% add-on of DMDHEU)

1. องศาการคืนตัวต่อการยับและระดับการยับของผ้าดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร DMDHEU มากขึ้น
2. องศาการคืนตัวต่อการยับ และระดับการยับของผ้าจะไม่ดีขึ้นไปอีก เมื่อปริมาณการใช้สาร DMDHEU เกิน 7% หรือประมาณ 15-20% ของสาร DMDHEU ที่ขายอยู่ในเชิงทางการค้าสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ
3. ความแข็งแรงเป็นไปได้ทั้ง ความแข็งแรงต่อการต้านแรงดึง ความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด และความต้านทานต่อการขูด ซึ่งความแข็งแรงเหล่านี้ของผ้าที่ผ่านตกแต่งด้วยสารกันยับแล้วจะลดลงประมาณ 30-60% เมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับ
4. ผ้าที่ผ่านการตกแต่งกันยับจะมีการหดตัวของฝ้าน้อยกว่า 2%

ตัวเร่งที่ใช้สำหรับสารกันยับ (Durable press catalyst)

ตัวเร่งที่เป็นกรดจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับสารกันยับที่หมู่ N-methylol เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้เร็วขึ้น ตามสำนวนอังกฤษที่ว่า "The stronger the acid, the faster the reaction"

การเลือกชนิดของตัวเร่งที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยามีเหตุผลที่สำคัญ ดังนี้

1. ความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลสสามารถถูกทำลายได้ด้วยกรด เพราะฉะนั้นถ้าตัวเร่งที่ใช้มีความเป็นกรดมาก ความแข็งแรงของเส้นใยก็จะถูกทำลายลงไปมาก
2. สารกันยับบางชนิดมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ค่อนข้างช้า ถ้าต้องการเร่งให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นก็จะต้องใช้ตัวเร่งที่มีความเป็นกรดมาก เพื่อจะขับเคลื่อนปฏิกิริยาให้เกิดได้เร็วขึ้น

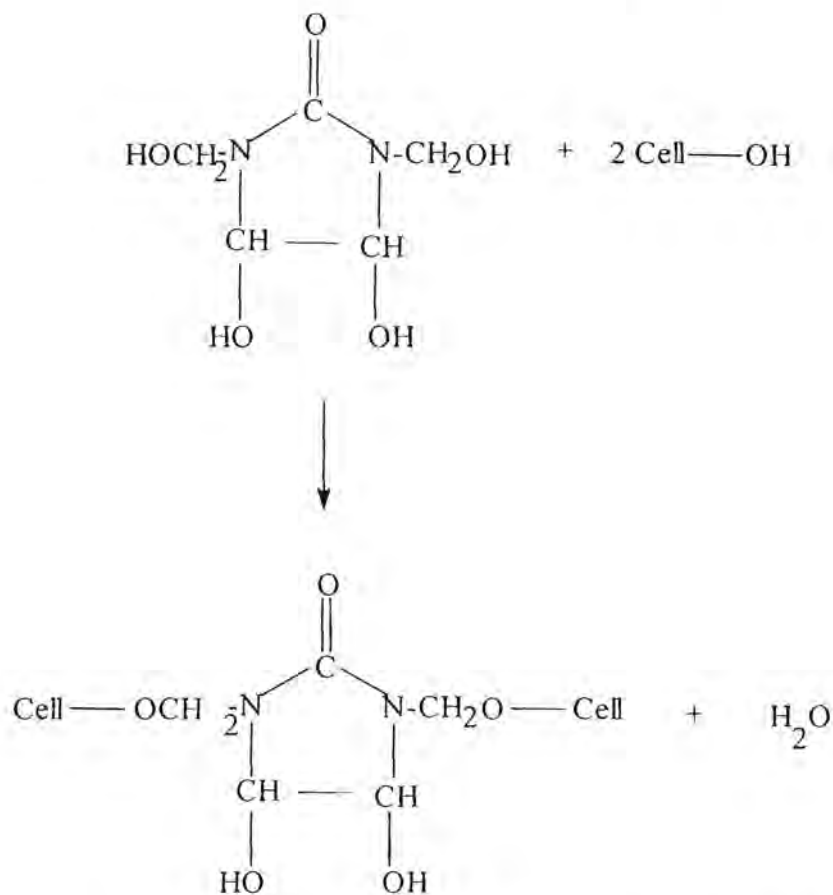
ด้วยเหตุผลทั้งสองข้อดังกล่าว การเลือกใช้ตัวเร่งให้เหมาะสมมีความสำคัญอย่างมากเพื่อขับเคลื่อนให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ และมีผลในการทำลายความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลสน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ กรดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แมกเนเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride) เหตุผลที่แมกเนเซียมคลอไรด์ได้รับความนิยมมากสำหรับนำมาใช้เป็นตัวเร่งมีดังนี้

1. แมกเนเซียมคลอไรด์ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของเซลลูโลสมากเท่ากับตัวเร่งชนิดอื่นๆ เช่น aluminum salt, ferric salt, zinc salt
2. แมกเนเซียมคลอไรด์ ไม่มีผลกระทบต่อเจดสีและความคงทนของสีต่อแสง โดยเฉพาะสีประเภท direct dyes และ reactive dyes
3. แมกเนเซียมคลอไรด์ ไม่ใช่ตัวเร่งที่ว่องไวมาก แต่สามารถเพิ่มความว่องไวได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิในการอบผนึกให้สูงขึ้นหรือใช้เวลาในการอบผนึกให้ยาวนานขึ้น
4. แมกเนเซียมคลอไรด์ เป็นตัวเร่งที่มีความว่องไวได้มากขึ้น โดยการใช้ร่วมกับกรดชนิดอื่นๆ เช่น citric acid, ammonium chloride, aluminum salts เป็นต้น ในปริมาณเล็กน้อย

สารกั้นยับ DMDHEU สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสแล้วสร้างพันธะอีเทอร์ระหว่าง DMDHEU และเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การตกแต่งกั้นยับบนผ้าฝ้ายทำได้โดยการใช้กระบวนการบิบบัด-อบแห้ง-อบผนึก (Pad-dry-cure method) โดยการจุ่มผ้าฝ้ายลงในสารกั้นยับพวก N-methylol reactants พร้อมด้วยตัวเร่งแมกเนเซียมคลอไรด์ แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที และอบผนึกผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิสูงที่ 150°C หรือสูงกว่า ระยะเวลาในการอบผนึกประมาณ 3 นาที หรือมากกว่านี้เล็กน้อย เพื่อให้เกิดพันธะอีเทอร์ใน โครงสร้างผ้าฝ้าย

สาร DMDHEU เมื่อใช้กับผ้าฝ้ายจะมีผลทำให้ผ้าฝ้ายทนต่อการยับได้ดี และไม่มีผลทำให้เกิดความเหลือง (yellowing) บนผ้าขาวมากนัก ซึ่งความขาวของผ้ายังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ และยังไม่มีความกระทบต่อเจดสีที่ย้อมบนผ้าฝ้ายด้วย เนื่องจาก DMDHEU ได้นำมาใช้งานเป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร ทำให้มีสารประเภทนี้ผลิตออกมาในชื่อทางการค้าที่แตกต่างกัน เช่น Arkofin NDF, Fixapret CP Conc., Fixapret CV หรือ Fixapret AP เป็นต้น ประสิทธิภาพของสารเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปบ้าง และปริมาณการใช้ของสารและตัวเร่ง และภาวะอุณหภูมิในการอบแห้งอบผนึกอาจต่างกันเล็กน้อยแล้วแต่ว่าสารนั้นจะผลิตจากบริษัทใด แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของสารเคมีในกลุ่ม N-methylol คือ เป็นสารที่สามารถปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเชื่อว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง ถึงแม้ DMDHEU จะปลดปล่อยปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ได้น้อยแต่ก็ยังไม่สามารถใช้เพื่อตกแต่งผ้าเพื่อให้มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาเป็นศูนย์ได้ ทำให้มี

นักวิจัยหลากหลายท่านเริ่มคิดค้นและหาสารเคมีตัวใหม่เพื่อนำมาใช้เป็นสารตกแต่งกันยับที่ไม่ปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์เพื่อนำมาทดแทนสารกันยับ DMDHEU



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดพันธะอีเทอร์ระหว่างสารกันยับ DMDHEU และเส้นใยเซลลูโลส

สารตกแต่งกันยับที่ไม่มีพื้นฐานทางเคมีที่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

(Nonformaldehyde durable press finishes)

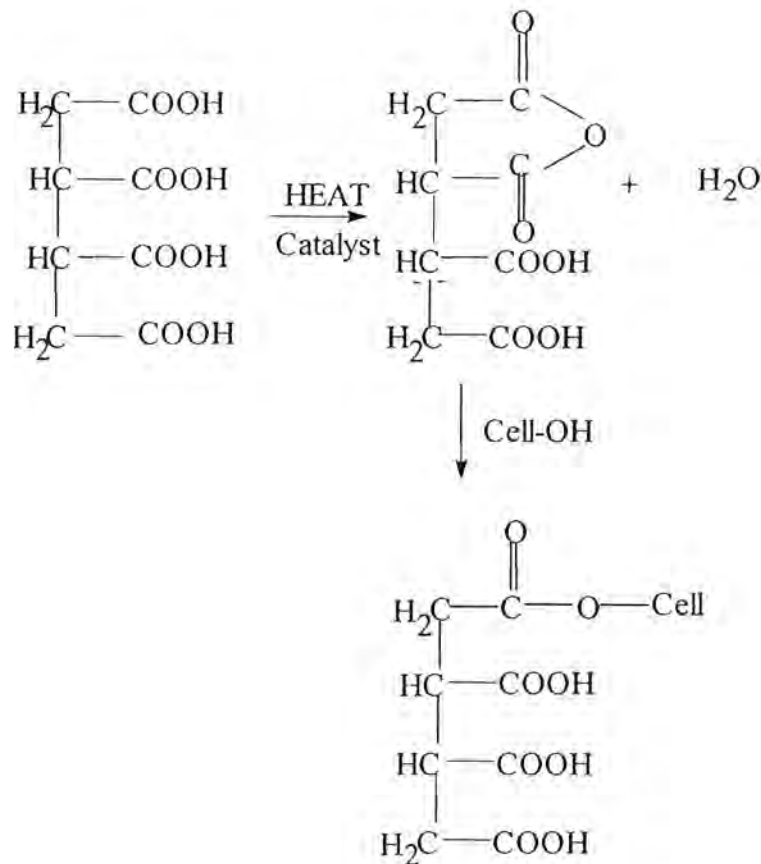
ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ต่อตา และต่อเยื่อเมือก (a mucous membrane) นอกจากนี้ยังเชื่อว่าสารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็ง จากอันตรายต่างๆของสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ ทำให้เริ่มมีการค้นคว้าหาสารตกแต่งกันยับตัวใหม่ที่ไม่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ สารกันยับในประเภทนี้ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับสาร DMDHEU ก็คือ Dimethyl ethylene urea (DMeEU) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง dimethyl กับ glyoxal ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในตำแหน่ง 4, 5 สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้แล้ว เกิดการสร้างพันธะอีเทอร์ขึ้นดังเช่นที่เกิดขึ้นกับสาร DMDHEU แต่ข้อเสียของสาร DMeEU มีค่อนข้างมาก เช่น การอบผนึกต้องใช้อุณหภูมิสูงค่อนข้างมาก (hard to cure) ทำให้เกิดการทำลายความแข็งแรงของเส้นใยผ้าอย่างมาก นอกจากนี้ผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร DMeEU แล้วมีสมบัติกันยับที่

ไม่ค่อยดีนัก ราคาของสาร DMeEu มีราคาแพงมาก และยังคงมีปัญหาทำให้ผ้าเหลืองอย่างมากเมื่อนำมาตกแต่งลงบนผ้าขาว ซึ่งต่อมา Dr. Welch นักวิจัยชาวอเมริกาได้ทดลองใช้ สารอีกกลุ่มหนึ่งคือ Butanetetracarboxylic acid (BTCA)⁽⁷⁻¹⁰⁾ แล้วพบว่า BTCA เป็นสารเคมีที่สามารถใช้เป็นสารตกแต่งกันยับได้ และมีประสิทธิภาพของการเป็นสารตกแต่งกันยับเทียบเท่ากับ DMDHEU ในภาวะและตัวเร่งที่เหมาะสม

Butanetetracarboxylic acid (BTCA)

BTCA ที่ประกอบไปด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic groups) จำนวน 4 หมู่ สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลของเซลลูโลส ได้โดยที่หมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่ ภายใต้อิทธิพลของตัวเร่งและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะเกิดเป็นแอนไฮไดรด์ (anhydride) แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ (ester bond) ขึ้น แล้วจะกินหมู่ของคาร์บอกซิลิก กลับมา 1 หมู่ หลังจากนั้นก็จะเกิดการรวมตัวของหมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่เข้าด้วยกันอีกครั้ง เกิดเป็นแอนไฮไดรด์แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ขึ้นมาใหม่อีกหนึ่งพันธะ ปฏิกิริยาจะเกิดเช่นนี้เรื่อยไป มีผลทำให้เกิดร่างแหในโครงสร้างผ้าฝ้าย การเกิดปฏิกิริยาของ BTCA กับเซลลูโลสแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5

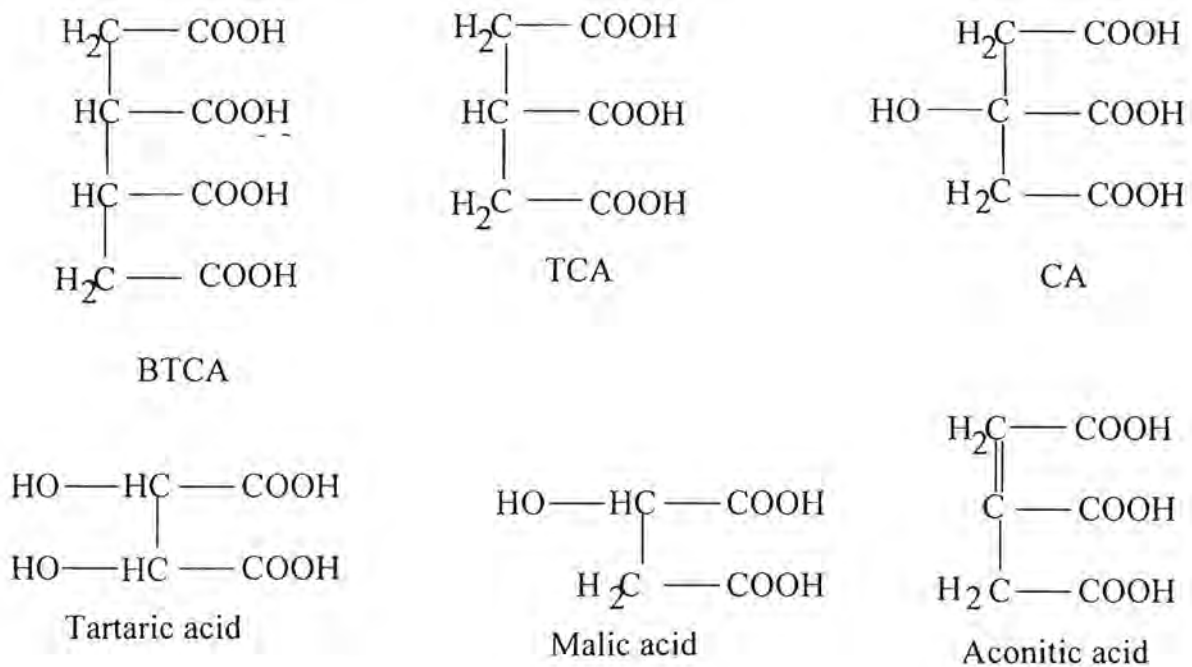
BTCA จัดอยู่ในกลุ่มของ Polycarboxylic acids ซึ่งนอกจาก BTCA แล้ว สารในกลุ่มนี้ยังประกอบด้วย Tricarboxylic acid (TCA) และ Citric acid (CA) ซึ่งทั้ง BTCA และ TCA จะมีประสิทธิภาพการเป็นสารตกแต่งกันยับเทียบเท่ากับ DMDHEU แต่สารทั้งสองก็ยังไม่สามารถเข้ามาแทนที่ DMDHEU ได้ เพราะราคาของสารทั้งสองค่อนข้างแพง เมื่อเปรียบเทียบกับราคาของ DMDHEU ถึงแม้ข้อดีของสารทั้งสอง คือเป็นสารที่ไม่ปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ นอกจากนี้ ปริมาณการใช้ของ TCA ต้องใช้ปริมาณค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ของ BTCA เพื่อให้ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย TCA มีสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายเทียบเท่ากับสมบัติดังกล่าวของผ้าที่ตกแต่งด้วย BTCA หรือ DMDHEU ส่วนสาร CA เป็นสารเคมีที่มีราคาถูกแต่ประสิทธิภาพการเป็นสารกันยับนั้นไม่ดีเท่ากับของสาร BTCA และ TCA แต่อยู่ในขั้นพอใช้ได้ นอกจากนี้ CA มีผลทำให้เกิดความเหลืองขึ้นบนผ้าขาวได้หลังผ่านการตกแต่งกันยับ⁽¹¹⁻¹²⁾ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของ CA เกิดการแตกหักของพันธะแล้วสร้างเป็นพันธะคู่ขึ้นมาใหม่ ทำให้โครงสร้างของ CA เปลี่ยนไปเป็น aconitic acid มีผลทำให้เกิดความเหลืองขึ้นบนผ้าขาว เมื่อผ้าผ่านการอบแห้งและอบผึ่งที่ 180°C เป็นระยะเวลาประมาณ 90 วินาที ถึง 2 นาที



รูปที่ 2.5 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง BTCA และเซลลูลอส

อย่างไรก็ตามมีนักวิจัยหลายท่านพยายามที่จะแก้ไขและลดปัญหาความเหลืองที่เกิดขึ้น โดยการเติมสารช่วย เช่น Triethanolammonium salts หรือ boric acid ลงไป แต่สารช่วยเหล่านี้สามารถช่วยลดความเหลืองที่เกิดขึ้นได้ แต่ก็มีผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพการเป็นสารตกแต่งกันยับของสาร CA ค่อยลง อีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาความเหลืองของสาร CA ให้น้อยลง คือ ลดปริมาณการใช้ของสาร CA ลง แล้วใช้ BTCA หรือ TCA ปริมาณเล็กน้อยเข้ามาแทนที่ พบว่าวิธีนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสาร CA ในการเพิ่มสมบัติการทนต่อการยับของผ้าฝ้ายให้ดีขึ้น และความขาวของผ้าฝ้ายก็ดีขึ้นด้วยเช่นกัน ถึงแม้ปัญหาของสาร CA ได้รับการแก้ไขในระดับหนึ่งแล้วก็ตาม แต่ สาร CA ก็ยังไม่เป็นที่นิยมและยังไม่มีการนำมาใช้กันยังแพร่หลายมากนักในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่นเดียวกับ BTCA และ TCA โครงสร้างทางเคมีของ BTCA, TCA และ CA ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 และในรูปที่ 2.6 ยังได้แสดงโครงสร้างของ Tartaric acid และ Malic acid ที่สามารถนำไปใช้กับ BTCA เพื่อลดปริมาณการใช้ของ BTCA ลง เพื่อให้ราคาในการตกแต่งกันยับถูกลง ส่วน aconitic acid ถึงแม้จะมีหมู่ carboxylic อยู่ถึง 3 หมู่ แต่ไม่สามารถใช้เป็นสารตกแต่งกันยับได้

ทั้งนี้เพราะมีปัญหาด้านความเหลืองที่จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงมากจนไม่สามารถนำสาร aconitic acid มาใช้เป็นสารตกแต่งกันยับได้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ Polycarboxylic acids

ตัวเร่งที่ใช้สำหรับสารกันยับ (Durable press catalyst) สำหรับ polycarboxylic acids

ตัวเร่งที่ดีที่สุดสำหรับสารกันยับประเภท polycarboxylic acids คือ ตัวเร่งโซเดียมไฮโปฟอสไฟต์โมโนไฮเดรต (Sodium hypophosphite monohydrate ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) catalyst) ซึ่งเป็นตัวเร่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการเร่งปฏิกิริยาระหว่างกรดโพลีคาร์บอซิกกับเซลลูโลส มีผลทำให้ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับดังกล่าวมีสมบัติกันยับที่ดีที่สุด ผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร BTCA และใช้ตัวเร่งชนิดนี้ จะมีสมบัติกันยับเทียบเท่ากับของผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร DMDHEU ส่วนข้อเสียของตัวเร่งชนิดนี้ คือ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉดสี โดยเฉพาะสีซัลเฟอร์ (sulfur dyes) นอกจากนี้ตัวเร่งประเภทนี้มีราคาที่ย่อมเยาง แต่ตัวเร่งอีกชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือ ตัวเร่งโซเดียมฟอสไฟต์โมโนไฮเดรต (Sodium phosphate monohydrate ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) catalyst) ซึ่งมีราคาที่ถูกกว่าตัวเร่งชนิด Sodium hypophosphite monohydrate แต่ตัวเร่งประเภทที่สองจะไม่มีผลกระทบต่อเฉดสีของผ้าที่ข้อมด้วยสีประเภทต่างๆ แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการอบผนึกที่สูงมากมีผลทำให้เกิดการขึ้นเหลืองขึ้นบนผ้าขาวเพราะใช้อุณหภูมิในการอบผนึกที่สูง ส่วนประสิทธิภาพในการส่งเสริมให้ผ้ามีสมบัติกันยับนั้นจะสู้ตัวเร่งชนิด Sodium hypophosphite monohydrate ไม่ได้

2.3 สารไททาเนียมไดออกไซด์

‘ไททาเนียมไดออกไซด์’¹³ หรือไททาเนียเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียที่อยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน ไททาเนียได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาใช้งานที่หลากหลายด้าน เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมีและมีราคาที่ไม่แพงมากนัก ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่เรียกว่าโฟโตแคตตาลิสต์ (Photocatalyst) ซึ่งสมบัติทางด้านนี้ทำให้มีการนำเอาไททาเนียมาเคลือบลงบนผ้ามีผลทำให้ผ้าสามารถทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง ความหมายของผ้าที่ทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง คือ ผ้าที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่อยู่บนผ้าหรือการขจัดคราบรอยเปื้อนสิ่งสกปรกออกได้ด้วยตนเองเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะการที่มีสารไททาเนียอยู่บนผ้า ไททาเนียจะทำหน้าที่ของโฟโตแคตตาลิสต์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมที่สามารถไปขจัดคราบรอยเปื้อนและฆ่าเชื้อแบคทีเรียบนผ้าให้ออกไปได้ นอกจากนี้การใช้งานทางด้านสิ่งทอ งานทางด้านการแพทย์ก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน โดยการนำไททาเนียไปเคลือบอุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือนำมาใช้เป็นตัวกรองในเครื่องปรับอากาศเพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่ใช้เคลือบอิเล็กโทรด (electrode) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำให้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน (electrolytic splitting of water) ในงานทางด้าน photoelectrolysis cells เพราะฉะนั้นการใช้งานของไททาเนียของการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง¹⁴ สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะช่วยงานทางด้านการฆ่าเชื้อ การระงับกลิ่นเหม็นหรือกำจัดกลิ่นเหม็นของสารพิษ เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ และสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้สามารถนำมากำจัดกลิ่นเหม็นในตู้หรือในห้องน้ำ และการทำอากาศให้สะอาดบริสุทธิ์โดยการกำจัดก๊าซพิษที่เกิดจากเขม่ารถยนต์หรือในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้งานในด้านการทำให้น้ำสะอาดบริสุทธิ์ได้ด้วยเช่นกัน นอกจากงานทางด้านสมบัติที่เป็นโฟโตแคตตาลิสต์ของไททาเนียแล้ว ไททาเนียยังมีค่าดัชนีการหักเหที่สูงสามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบเพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงอาทิตย์ได้ด้วย



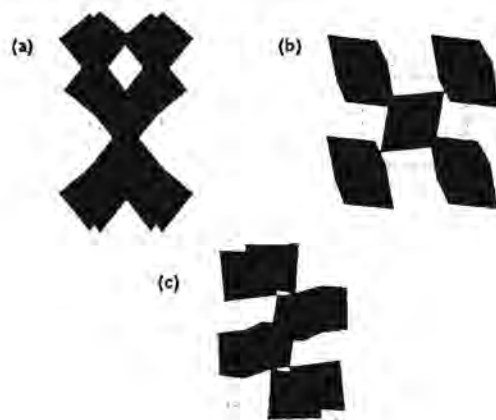
รูปที่ 2.7 การใช้งานของไททาเนียทางด้านการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

(ที่มา : <http://www.photocatalyst.co.jp/e/toha/toha.htm>)

ประเภทโครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์¹³

ไททานเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำ และเป็นสารที่ไม่เป็นกัมมันตรังสี ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปผลึกแบบอนาเทส (anatase) แบบรูไทล์ (rutile) หรือ แบบบรูคไคท์ (Brookite) โครงสร้างผลึกของไททานเนียมทั้ง 3 แบบ สามารถแสดงเอาไว้ในรูปของ TiO_2 ⁶⁻ ซึ่งเป็นปีระมิดฐานสี่เหลี่ยมสองอันหรือออกตะฮีดรอล (Octahedral) โครงสร้างผลึกทั้ง 3 แบบมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากการบิดของตัวของออกตะฮีดรอลที่เรียงต่อกันนั้นแตกต่างกัน ในโครงสร้างของผลึกแบบอนาเทส เกิดจากการเรียงตัวต่อกันของออกตะฮีดรอลโดยใช้ส่วนยอดของแต่ละออกตะฮีดรอล ส่วนในโครงสร้างของผลึกแบบรูไทล์เกิดจากการเรียงตัวต่อกันของออกตะฮีดรอลโดยใช้ส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล และสำหรับโครงสร้างผลึกแบบบรูคไคท์เกิดจากการเรียงตัวต่อกันของออกตะฮีดรอลโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอลเรียงต่อกัน โครงสร้างผลึกของไททานเนียมทั้ง 3 แบบ¹⁵ ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.8

โครงสร้างผลึกของไททานเนียมที่พบส่วนใหญ่เป็นผลึกแบบอนาเทสและผลึกแบบรูไทล์ ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสสามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส งานวิจัยในปัจจุบันได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกจากของอนาเทสไปเป็นผลึกของรูไทล์ค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะ โครงสร้างผลึกของไททานเนียมเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่งที่กำหนดประสิทธิภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสง สำหรับงานทางด้านเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการ โครงสร้างผลึกอนาเทสมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่าของโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์ นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอีกหลายตัวแปรที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างผลึกของไททานเนียม ดังตัวอย่างเช่น พื้นที่ผิว การกระจายตัวของรูพรุน ขนาดของอนุภาคผลึก และที่สำคัญคือกระบวนการสังเคราะห์ผลึกไททานเนียม



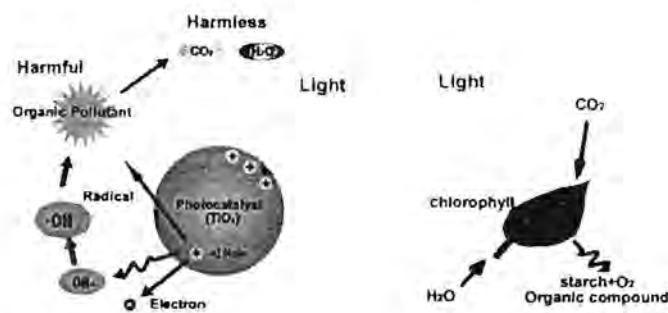
รูปที่ 2.8 โครงสร้างผลึกของไททานเนียม (a) อนาเทส (b) รูไทล์ (c) บรูคไคท์

(ที่มา : <http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/tio2.html>)

กลไกของการทำหน้าที่เป็นโฟโตแคตตาลิสต์ของไททานเนียม¹⁶⁻¹⁷

อนุภาคไททานเนียมเป็นสารกึ่งตัวนำซึ่งประกอบด้วยแถบพลังงานสองแถบ คือ แถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบการนำไฟฟ้า (conduction band) ซึ่งแถบพลังงานทั้งสองจะแยกออกจากกันด้วยแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) ที่มีความกว้างของพลังงาน (E_g) กั้นอยู่ เพราะฉะนั้นกระบวนการโฟโตแคตตาลิสต์ของไททานเนียมจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของกึ่งตัวนำหรือสารไททานเนียมได้รับการกระตุ้นจากแสงหรือแสงอัลตราไวโอเลตที่มีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน

ตกกระทบลงบนผิวหน้าของอนุภาคของสารไททานเนียม มีผลทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดสถานะการขาดอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ซึ่งผลทำให้เกิดช่องว่างที่เรียกว่า โฮล (hole) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ h^+_{vb} ซึ่งโฮลจะมีความสามารถในการดึงอิเล็กตรอน (oxidizing) จากโมเลกุลของสารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสารเกิดขึ้น นอกจากนี้ h^+_{vb} ยังสามารถดึงหรือรับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลสารอินทรีย์ได้โดยตรงหรือสามารถทำให้โมเลกุลของน้ำที่เกาะติดผิวหรือไฮดรอกซิลไอออนเปลี่ยนไปเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical; OH) ซึ่งจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงซึ่งจะสามารถสลายโมเลกุลของสารได้ ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในแถบการนำไฟฟ้าจะแทนด้วยสัญลักษณ์ e^-_{cb} อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะไปอยู่ในแถบการนำไฟฟ้าสามารถทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลออกซิเจนแล้วทำให้โมเลกุลออกซิเจนเปลี่ยนไปเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion; O_2^-) ซึ่งอนุมูลอิสระทั้งสองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ โดยทำให้สารอินทรีย์เกิดการสลายตัวเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในที่สุด โดยที่ไฮดรอกซิลเรดิคัลเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์กลายเป็นน้ำ ส่วนซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในสารอินทรีย์และกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งกระบวนการโฟโตแคตตาลิสต์ของไททานเนียม จะคล้ายคลึงกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งเป็นโฟโตแคตตาลิสต์ที่เป็นธรรมชาติ¹⁷ ความแตกต่างระหว่างโคลโรฟิลซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงตามธรรมชาติกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่ได้สังเคราะห์ขึ้นของไททานเนียมอยู่ตรงที่สารโคลโรฟิลในพืชเป็นตัวจับแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นออกซิเจนและกลูโคสซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ตามรูปที่ 2.9

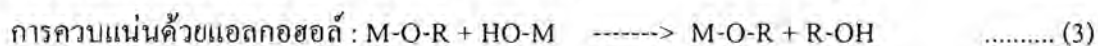
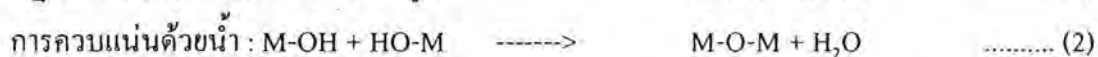
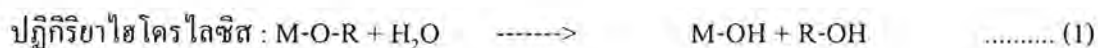


รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบกระบวนการโฟโตแคตลิสต์ของสารไททานเนียมและสารโคลโรฟิลล์
(ที่มา : <http://www.seasolutionsnano.com/What-is-Photocatalyst.gif>)

2.4 กระบวนการโซลเจล

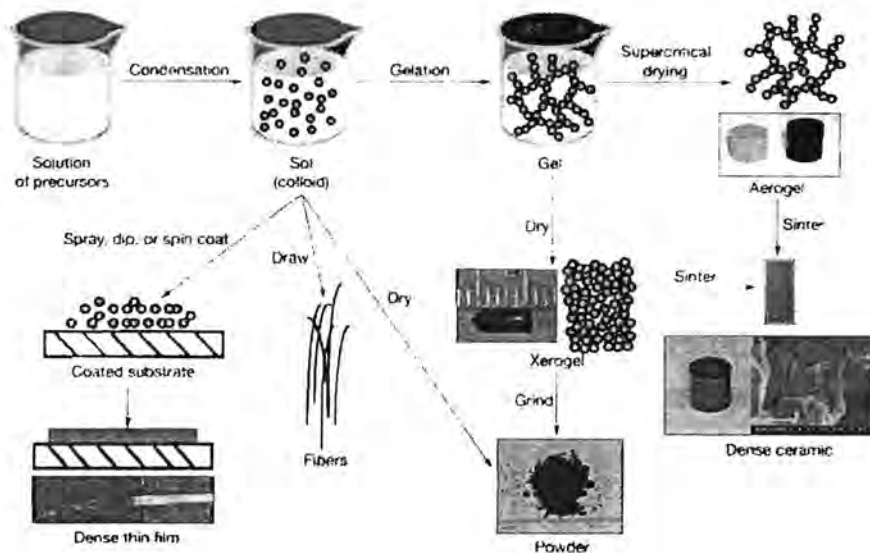
กระบวนการโซลเจล¹⁸ เป็นกระบวนการหนึ่งที่ยิมนำมาสังเคราะห์อนุภาคนาโน โดยเป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “โซล” ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอยู่ในรูปของสารแขวนลอยไปเป็นของแข็งที่เรียกว่า “เจล”

ในกระบวนการโซลเจลมีปฏิกิริยาที่สำคัญ 3 กระบวนการคือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) การควบแน่นด้วยน้ำ (water condensation) และ การควบแน่นด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol condensation) ตามสมการที่ (1-3) ดังนี้



ซึ่ง M เป็นตัวแทนโลหะ ตัวอย่างเช่น Si, Zr, Ti, Al, Sn, Ce ส่วน OR เป็นตัวแทนของ Alkoxy group

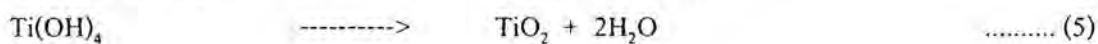
ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ pH อัตราส่วนของน้ำและโลหะ อุณหภูมิ เพราะฉะนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ในสถานะที่แตกต่างกันจะส่งผลทำให้โซลและเจลที่ได้มีสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ในกระบวนการผลิตทั้งสถานะที่เป็นโซลและเจลเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งหรือเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายรูปแบบ เช่น เส้นใย แอโรเจล ซิโรเจล อนุภาคผง และฟิล์มเคลือบเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ¹⁹ ต่อไป ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.10



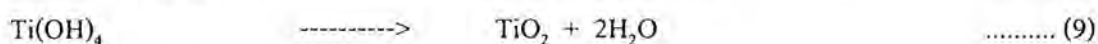
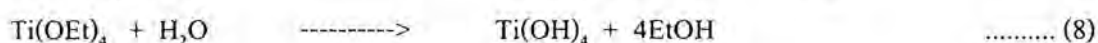
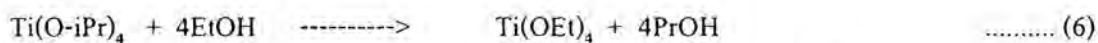
รูปที่ 2.10 ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการ โซลเจล

(ที่มา <http://www.llnl.gov/str/May05/Satcher.html>)

กระบวนการ โซลเจลเป็นกระบวนการที่นิยมนำมาเตรียมไททานเนียมโซลเพื่อนำมาเคลือบลงบนเส้นใยหรือบนสิ่งทอ ซึ่งการเตรียมนาโนไททานเนียมสามารถเตรียมได้โดยการใช้ Titanium (IV) tetraisopropoxide ($\text{Ti}(\text{O}-i\text{Pr})_4$) เป็นสารตั้งต้นที่เรียกว่า precursor ในกรดหรือในเอทานอล ซึ่งปฏิกิริยาของการเกิดนาโนไททานเนียมได้แสดงเอาไว้ในปฏิกิริยาทางเคมีของสมการที่ (4-5) ปฏิกิริยาทางเคมีของการเตรียมนาโนไททานเนียมด้วย Titanium (IV) tetraisopropoxide precursor ด้วยกรดไนตริก²⁰



ปฏิกิริยาทางเคมีของการเตรียมนาโนไททานเนียมด้วย Titanium (IV) tetraisopropoxide precursor ด้วยเอทานอล²⁰ ซึ่งปฏิกิริยาของการเกิดนาโนไททานเนียมได้แสดงเอาไว้ในปฏิกิริยาทางเคมีของสมการที่ (6-9)



2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gupta, K. และทีมผู้วิจัย²⁰ ศึกษาการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ โดยทำการเตรียมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 4 วิธีด้วยกัน ดังนี้ 1. การเตรียมนาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ในน้ำ 2. การเตรียมนาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ในเอทานอล 3. การเตรียมอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ในห้องทดลอง และ 4. การใช้อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์เชิงการค้า ซึ่งนาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ทั้ง 2 วิธีที่เตรียมด้วยกระบวนการโซล-เจลจะเคลือบลงไปบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีบิ๊บอัด-อบแห้ง-อบผนึกที่สภาวะการอบแห้ง 80°C เป็นเวลา 10 นาที และการอบผนึกที่ 100°C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการทรีซ์เมนต์ด้วย Hydrothermal ที่อุณหภูมิ 97°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ส่วนอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีที่ 3 และ 4 จะเคลือบลงบนผ้าฝ้ายโดยอาศัยสารยึดติดประเภท acrylic binder ด้วยวิธีบิ๊บอัด-อบแห้ง-อบผนึกที่สภาวะ 140°C เป็นเวลา 3 นาที นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียมไดออกไซด์มาทำการเป็อนติดกาแฟ แล้วศึกษาการชี้แจงของคราบกาแฟที่ติดบนผ้าฝ้ายเมื่อตากเอาไว้กลางแจ้ง จากผลการทดลองพบว่านาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ในน้ำมีประสิทธิภาพการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายดีที่สุดทั้งนี้อาจเป็นเพราะขนาดของอนุภาคที่เตรียมได้ด้วยวิธีนี้ให้ขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่เล็กมากอยู่ในช่วง 3-4 nm วิธีการเตรียมนาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโซล-เจลทั้งสองวิธีแสดงประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองดีกว่าของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์เชิงการค้าและที่เตรียมขึ้นในห้องทดลอง ส่วนประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E-Coli* ได้ทำการทดลองเฉพาะผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยนาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมในน้ำ พบว่าสามารถลดเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวได้ 96%

Abidi, N. และทีมงาน²¹ ได้ทำการเตรียมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซล-เจลแล้วนำมาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีบิ๊บอัด-อบแห้ง-อบผนึกที่สภาวะการอบแห้ง 60°C เป็นเวลา 10 นาที และการอบผนึกที่ 150°C เป็นเวลา 5 นาที และศึกษาการทำความสะอาดด้วยตนเอง โดยนำเอาผ้าที่ตกแต่งด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์แล้วมาทำเป็อนด้วยกาแฟและไวน์แดง หลังจากนั้นนำผ้าที่ทำเป็อนมาฉายแสงด้วยรังสียูวี ผลปรากฏว่ารอยเป็อนทั้งกาแฟและไวน์แดงสามารถกำจัดออกได้ภายใน 28 ชั่วโมง

Huang, K.S. และทีมงานวิจัย²² ได้ทำการศึกษาสารละลายโซลผสมระหว่างสารกันยับ Dimethyloldihydroxyethyleneurea (DMDHEU) กับสาร Tetraethoxysilane (TEOS)/Titanium (IV) n-butoxide (TTB) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน การเตรียมสารละลายผสมโซลดังกล่าวได้ใช้กระบวนการโซล-เจลได้การเตรียม หลังจากเตรียมสารละลายเรียบร้อยแล้วได้นำเอามาตกแต่งลงบนผ้าด้วยวิธีการจุ่มแล้วผ่านกระบวนการบิ๊บอัด-อบแห้ง-อบผนึกที่สภาวะการอบแห้ง 80°C เป็นเวลา 5

นาที่ และอบผืนที่อุณหภูมิในช่วง 130-160°C เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งมาซักให้สะอาดและอบแห้งก่อนนำมาทดสอบสมบัติกันยับ ความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้า ความเหลือง และความสามารถในการต้านทานแสงยูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งเรียบร้อยแล้ว จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบผืนสูงขึ้นมีผลทำให้สมบัติกันยับทั้งสถานะแห้งและเปียกดีขึ้นทั้งนี้เพราะการเกิดปฏิกิริยาพันธะเชื่อมขวางที่ดีขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม ความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้าจะด้อยลงเพราะที่อุณหภูมิการอบผืนที่สูงมีผลทำให้ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ผ้าจะเหลืองก่อนข้างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบผืนอยู่ที่ 160°C การใส่ TEOS/TTB ในสารตกแต่งกันยับมีส่วนทำให้สมบัติกันยับ ความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้าดีขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นของ TEOS เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในระบบที่มี TEOS/TTB ช่วยทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถไปช่วยในการต้านทานต่อกันยับให้ดีขึ้นและช่วยเพิ่มความแข็งแรงที่คงเหลือให้กับผ้า อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณ TEOS เพิ่มขึ้นไปมากในอัตราส่วนของ TEOS/TTB ที่ 10:1 มีผลทำให้สมบัติการกันยับและความแข็งแรงที่คงเหลือด้อยลง ทั้งนี้เป็นเพราะ TEOS เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมีผลทำให้อนุภาคใหญ่ขึ้นไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของเส้นใยได้มีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดได้ยากขึ้นมีผลกระทบต่อสมบัติดังกล่าวทางเชิงลบ นอกจากนี้การที่มีอนุภาคของ SiO_2 บนพื้นผิวของผ้าที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผ้ามีความเหลืองเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับสมบัติการต้านทานแสงยูวี จากการศึกษพบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารละลาย โพลีเมอร์ที่มี TEOS-TTB/DMDHEU มีสมบัติการต้านทานรังสียูวีที่ดีกว่าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับเพียงอย่างเดียว

Huang, K.S. และทีมผู้วิจัย²³ ได้ศึกษาการใช้งานของสารละลาย โพลีเมอร์ที่ผสมระหว่างสารกันยับในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของ BTCA/maleic anhydride (MAH) กับสาร Tetrathoxysilane (TEOS) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันด้วยกระบวนการ โพลีเมอร์แล้วนำไปตกแต่งกันยับลงบนผ้าฝ้าย ด้วยวิธีการบีบอัด-อบแห้ง-อบผืน (Padding-drying-curing method) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของ BTCA มีผลทำให้องศาการคืนตัวต่อการยับดีขึ้นเพราะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาของ esterification กับเซลลูโลสได้มากขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของสาร TEOS มีส่วนทำให้ องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าฝ้ายดีขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เพราะ การเกิดพันธะอีเทอร์และพันธะไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเติมสาร TEOS ยังเพิ่มความแข็งแรงที่คงเหลือของผ้าให้ดีขึ้น และลดแนวโน้มความเหลืองที่จะเกิดขึ้นบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งให้น้อยลง ทั้งนี้เพราะสาร TEOS ที่ได้ตกแต่งเข้าไปในเซลลูโลสช่วยทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนดีขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าใช้ความเข้มข้นของสาร TEOS มากเกินไปก็มีผลทางเชิงลบต่อความนุ่มของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยเช่นกัน สถานะที่เหมาะสมที่ให้ทั้งสมบัติกันยับและความแข็งแรงที่คงเหลือรวมทั้งความเหลืองที่

เกิดขึ้นบนผ้าที่สมดุลมากที่สุดคือ สภาวะที่มีอัตราส่วน โมลของ BTCA/MAH ที่ 5:5 และ 3% ของ สาร TEOS ที่สภาวะการอบผนึกที่ 170°C เป็นเวลา 2 นาที

Nazari, A. และทีมผู้วิจัย²⁴ ได้นำเอาสารกันยับ BTCA หรือ CA ซึ่งเป็นสารกันยับที่ไม่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์พร้อมด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง ที่มีรูปผลึกเป็น anatase ที่มีขนาดของอนุภาค 21 nm ซึ่งเป็นผงไททาเนียมไดออกไซด์ทางเชิงการค้า ที่ผลิตจากบริษัท Degussa มาดกแต่งลงบนผ้าฝ้ายแล้วทำการอบผนึกผ้าฝ้ายด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 ใช้การอบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่ 180°C เป็นเวลา 2 นาที สำหรับสาร BTCA และ 150°C เป็นเวลา 5 นาทีสำหรับสาร CA วิธีที่ 2 ใช้การอบผนึกด้วยรังสี UVA เป็นเวลา 15 นาที และวิธีที่ 3 ใช้ทั้งการอบผนึกด้วยรังสี UVA เป็นเวลา 15 นาทีและทำการอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งโดยใช้สภาวะเช่นเดียวกับกับวิธีที่ 1 จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สภาวะการอบผนึกที่ใช้ทั้งรังสี UVA และความร้อนด้วยกันให้ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ดีกว่าการอบผนึกด้วยรังสี UVA หรือการอบผนึกด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว การใช้สารกันยับ BTCA ให้ผลทางด้านการกันยับ ความแข็งแรงที่คงเหลือ และความขาวของผ้าที่ผ่านการดกแต่งดีกว่าสมบัติทั้งสามของผ้าที่ผ่านการดกแต่งด้วยสารกันยับ CA นอกจากนี้ ทีมนักวิจัยนี้ยังได้สรุปว่า นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ดกแต่งลงไปบนผ้าเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสี UVA มีผลทำให้เกิดการแตกตัวเป็น h^+ และโปรตรอน ที่สามารถทำหน้าที่เป็น Lewis acid ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยา esterification ของหมู่คาร์บอกซิลิกของสารกันยับ BTCA หรือ สาร CA กับหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ที่ทำหน้าที่ของผ้าฝ้าย

Paul, R. และทีมงาน²⁵ ได้ทำการศึกษาความคงทนของอนุภาคนาโนบนเส้นด้ายและความสามารถในการถักของเส้นด้ายฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโน ในการศึกษาได้ทำการเคลือบเส้นด้ายฝ้ายที่ข้อมสีและที่ไม่ได้ข้อมสีด้วยนาโนโซลของ ZnO ที่ได้มาจากบริษัท Pulcra Chemicals ประเทศเยอรมัน โดยใช้สารเคลือบประมาณ 4% o.w.f. ทำการเคลือบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วทำการอบแห้งที่ 110°C เป็นเวลา 2 นาทีและอบผนึกที่ 150°C เป็นเวลา 2 นาที ผลการทดลองสรุปได้ว่า เส้นด้ายที่ไม่ข้อมสีสามารถยึดเกาะปริมาณอนุภาคของ ZnO ได้มากกว่าของเส้นด้ายที่ข้อมสีทั้งนี้หมู่ functional ยึดติดได้กับอนุภาคมีน้อยลงในเส้นด้ายที่ข้อมสี ส่วนกระบวนการถักไม่มีปัญหาสำหรับเส้นด้ายที่มีอนุภาคนาโนของ ZnO นอกจากนี้ นักวิจัยกลุ่มนี้ยังได้ทำการทดสอบการป้องกันรังสียูวีบนผ้าฝ้ายด้วยเช่นกันแต่ใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์แทน ZnO ในการทดลองได้ทำการเคลือบผ้าฝ้ายที่ข้อมสีและไม่ข้อมสีด้วยนาโนโซลไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล และทำการทดสอบเพื่อหาค่า Ultraviolet Protection Factor (UPS) และศึกษาผลกระทบของการซักต่อการป้องกันรังสียูวีด้วยเช่นกันโดยทำการซักที่ 10 ครั้ง ส่วนปริมาณ

สารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบมีปริมาณการใช้ที่แตกต่างกันที่ 10 20 40 และ 60 มิลลิกรัม ซึ่งผลการทดลองพบว่า ผ้าฝ้ายทั้งที่ไม่ได้ย้อมสีและย้อมสีที่ตกแต่งด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์พบว่ามีค่า UPF อยู่ที่ 50+ แต่เมื่อนำไปซักมีผลทำให้ค่า UPF ของผ้าฝ้ายทั้งสองประเภทมีค่าลดลงและมีค่าไม่ถึง 50+ ผ้าที่เคลือบด้วยปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์มากการลดลงของค่า UPF ก็จะน้อยลงด้วยหลังผ้าผ่านการซัก 10 ครั้ง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นผลึกแบบ anatase (A) และ Rutile (R) 100% และอัตราส่วนของผลึกทั้งสองที่ 3:1 (A:R) และ 1:3 (A:R) เคลือบลงบนผ้าฝ้ายที่ได้ผ่านการตกแต่งด้วย succinic acid ซึ่งเป็นตัว linking agent ของผ้าฝ้ายที่ย้อมและที่ไม่ได้ย้อม จากผลการทดลองพบว่า ผ้าที่ไม่ได้ย้อมที่เคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ประเภทต่างๆมีค่า UPF ที่ 50+ และเมื่อนำผ้าที่ไม่ได้ย้อมดังกล่าวไปซัก 10 ครั้ง ก็ยังได้ค่าของ UPF ที่ 50+ สำหรับผ้าฝ้ายที่ย้อมสีที่เคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบ anatase 100% จะได้ค่า UPF ที่ 50+ ถ้ายังไม่ได้ซัก แต่ถ้าผ่านการซัก 10 ครั้ง ค่า UPF จะลดลงเหลือ 32.97 สำหรับผ้าฝ้ายที่ย้อมสีและเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบ rutile 100% หรืออัตราส่วนทั้งสองของ anatase และ rutile มีค่า UPF ที่ 50+ ทั้งของผ้าที่ผ่านการซักและไม่ผ่านการซัก จากการทดลองส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบ rutile มีประสิทธิภาพในการกันรังสียูวีได้ดีว่าไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลึกแบบ anatase

Qi, K. และทีมผู้วิจัย²⁶⁻²⁷ ได้ศึกษาการทำความสะอาดด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์โซลที่เตรียมด้วยกระบวนการโซลเจล และเคลือบลงไปในผ้าโดยวิธีการจุ่มและผ่านกระบวนการบิบบอัด-อบแห้ง-อบผนึก การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์โซลเตรียมโดยการหยดสารละลาย Titanium tetraisopropoxide ลงไปในสารละลายที่เป็นกรดที่ประกอบด้วยกรดไนตริกและกรดอะซิติก หลังจากนั้นทำการคนสารละลายเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ คือ 25°C 40°C และ 60°C เมื่อเตรียมสารละลายเรียบร้อยแล้ว นำผ้าฝ้ายมาจุ่มในสารละลายโซลที่เตรียมขึ้นเป็นเวลา 5 นาที และนำผ้ามาผ่านลูกกลิ้งเพื่อควบคุมปริมาณสารละลายบนผ้า หลังจากนั้นทำให้ผ้าเป็นกลางโดยนำผ้าไปอบผ่านแก๊สแอมโมเนีย และทำการอบแห้งที่ 80°C เป็นเวลา 5 นาที และอบผนึกที่ 120°C เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วไปทดสอบการทำความสะอาดรอยเปื้อนติดของสีและไวน์แดง การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* รวมทั้งตรวจเช็คผลึกและขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์บนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์โซลที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เกิดขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เล็กกว่าขนาดอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมที่อุณหภูมิสูง แต่ในทางกลับกันผลึกที่เกิดขึ้นของไททาเนียมไดออกไซด์จะเกิดขึ้นมากที่อุณหภูมิสูง ดังนั้น การกำจัดรอยเปื้อนของสีทั้ง Neolan blue 2 G และ Cibacron Blue F-R บนผ้าภายใต้แสงยูวี สามารถทำให้สีเจือจางลงภายใน 2 ชั่วโมง และสีจะจาง

หายไปในเวลา 8 ชั่วโมง โดยที่ไททานเนียมไดออกไซด์ที่เป็นผลึกมากจะมีประสิทธิภาพเป็นตัวเร่งทางแสงมากสามารถขจัดรอยเปื้อนให้เจือจางได้อย่างรวดเร็วกว่าของไททานเนียมไดออกไซด์ที่มีความเป็นผลึกน้อยกว่า ส่วนการขจัดรอยเปื้อนของไวน์แดงสามารถกำจัดออกได้หมดในเวลา 20 ชั่วโมงโดยใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 60°C ส่วนผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสามารถยับยั้งเชื้อให้น้อยลงได้ 98-100% ภายในเวลา 2 ชั่วโมงและภายใต้แสงยูวี และสามารถยับยั้งได้ 100% ภายในเวลา 5 ชั่วโมงภายใต้แสงยูวี ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของไททานเนียมไดออกไซด์ อนุภาคไททานเนียมไดออกไซด์ที่เล็กกว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าทั้งนี้เพราะมีพื้นที่ผิวที่มากกว่านั่นเอง นอกจากผลการทดลองดังกล่าว ทีมงานชุดนี้ยังได้ศึกษา ประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยตนเองของอนุภาคนาโนที่เป็น anatase/SiO₂ โดยเตรียมเป็นอนุภาคคอมโพสิตโดยที่ anatase จะเป็นเปลือกที่หุ้มซิลิกาเอาไว้ ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพการขจัดรอยเปื้อนหรือสิ่งสกปรก พบว่า อนุภาคนาโนคอมโพสิตของ anatase/SiO₂ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าของอนุภาคไททานเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว

Schramm, C. และทีมงาน²⁸ ได้ศึกษาสมบัติการกันยับและความต้านทานต่อการขจัดของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับประเภท 1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid (BTCA) และของผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งสารกันยับ BTCA และ สารละลายซิลระหว่าง Tetraethoxysilane (TEOS)/Glycidylpropyloxytrimethoxysilane (GPTMS) ในอัตราส่วนที่มีความเข้มข้นของ GPTMS ที่แตกต่างกันแบบ 2 ขั้นตอน และแบบขั้นตอนเดียว จากผลของการทดสอบสมบัติทางด้านกันยับโดยวัดจากองศาการคืนตัวของผ้า และความต้านทานต่อการขจัดโดยวัดจากน้ำหนักที่สูญหายหลังจากการขจัดเป็นจำนวน 12,000 รอบ หรือ 50,000 รอบ สามารถสรุปได้ว่า ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสาร BTCA อย่างเดียวมีสมบัติการกันยับที่ดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ BTCA จาก 3% ไปเป็น 6% และสามารถต้านทานต่อการขจัดได้เพียง 12,000 รอบเท่านั้น เพราะที่ 50,000 รอบผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับเพียงอย่างเดียวเกิดความเสียหายขึ้นคือผ้าขาดเป็นรู สำหรับผ้าที่ตกแต่งด้วยสารละลายซิลระหว่าง TEOS/GPTMS อย่างเดียว พบว่าผ้าที่ตกแต่งไม่ได้แสดงสมบัติการต้านทานต่อการยับยั้งซึ่งหมายความว่าไม่มีพันธะร่างแหของซิลเจลเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับเซลล์โลส แต่กลับพบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วย TEOS/GPTMS มีสมบัติการต้านทานต่อการขจัดที่ดีขึ้นที่อัตราส่วนของ TEOS:GPTMS ที่ 30:30, 30:60 และ 0:60 ซึ่งแสดงว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารละลายซิลเจลมีผลทำให้พื้นผิวของผ้ามีสมบัติการต้านทานต่อการขจัดที่ดีขึ้น จากผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวทีมวิจัยได้มีแนวความคิดที่นำเอาสารละลายซิลเจลของ TEOS/GPTMS ไปตกแต่งเพิ่มเติมกับการตกแต่งกันยับของผ้าแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อดูว่าการต้านทานต่อการขจัดและสมบัติการต้านทานต่อการยับยั้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแบบ 2 ขั้นตอนนี้จะเป็นอย่างไ จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าสมบัติการกันยับของผ้าก็ยังคงอยู่ในระดับที่ดี นอกจากนี้แล้วผลของการต้านทานต่อการขจัดของผ้า

ที่ผ่านการตกแต่งด้วยระบบดังกล่าวยังคงแสดงสมบัติที่ดีด้วยเช่นกัน แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อนำเอาสารละลายโซลเจลของ TEOS/GPTMS และสารละลายกันยับ BTCA มาผสมเข้าด้วยกันและทำการตกแต่งลงบนผ้าแบบชั้นตอนเดียวมีผลทำให้สมบัติการกันยับของผ้าด้อยลงอย่างมาก ทั้งนี้เพราะเกิดปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation reaction) ในกระบวนการโซลมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาร่างแหระหว่างเซลล์โลสของผ้าและ BTCA ไม่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผ้าที่ตกแต่งด้วยวิธีดังกล่าวแบบชั้นตอนเดียวก็ยังคงแสดงสมบัติการต้านทานต่อการขจัดครู่ก่อนข้างดีที่จำนวนรอบในการขจัดครู่ 50,000 รอบ โดยสรุป BTCA ช่วยปรับปรุงสมบัติการกันยับของผ้า ส่วนการใช้สารละลายโซล TEOS/GPTMS มีผลทำให้ผ้าที่ตกแต่งมีสมบัติการต้านทานต่อการขจัดครู่ที่ดีขึ้น

Wu, D. และทีมงานวิจัย²⁹ ได้ทำการสังเคราะห์นาโนโซลของไททานเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการโซลเจล โดยการใช้สารตั้งต้น Tetrabutyltitanate ละลายด้วยสารละลายเอทานอล แล้วนำสารละลายดังกล่าวมาหยดลงในสารละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.04M หลังจากนั้นทำการคนสารละลายเป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทิ้งเอาไว้ต่ออีก 48 ชั่วโมงเพื่อพัฒนาผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์ก่อนนำมาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีการจุ่มสารละลาย 2 ครั้ง และผ่านกระบวนการบีบอัด-อบแห้ง-อบผนึก หลังจากนั้นทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 5 นาที และทำการอบผนึกที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำผ้าที่ตกแต่งแล้วมาล้างด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้าย ซึ่งการทดสอบจะนำผ้าฝ้ายที่ได้ตกแต่งแล้วมาจุ่มในสารละลายสี methyl orange ในที่มีดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้น นำผ้าที่เปื้อนสีมาวางไว้ภายใต้แสงซินนอนที่มีความยาวคลื่น 464 nm และทำการวัดความชัดเจนของสีเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองพบว่า ผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยนาโนโซลของไททานเนียมไดออกไซด์ ความชัดเจนของสีลดลงไปเพียงแค่ 13% หลังจากเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมงภายใต้แสงซินนอน ส่วนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยนาโนโซลไททานเนียมไดออกไซด์ ความชัดเจนของสีลดลงไปค่อนข้างมากประมาณ 60% หลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 3 ชั่วโมงภายใต้แสงซินนอน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

(Materials and Method)

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 ผ้าฝ้ายทอลายขัดซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกและฟอกขาวแล้วจาก -
ทางโรงงานฟอกย้อม น้ำหนักของผ้าเท่ากับ 137 กรัม/ตารางเมตร และมีเส้นด้ายยืนและ
เส้นด้ายพุ่งต่อตารางนิ้วเท่ากับ 65x60
- 3.1.2 Titanium (IV) isopropoxide จาก ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ. ซี. เอส. ซีนอน
- 3.1.3 Sodium hypophosphite monohydrate จาก ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ. ซี. เอส. ซีนอน
- 3.1.4 Butanetetracarboxylic acid จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.ซี.เอส.ซีนอน
- 3.1.5 กรดไนตริก จาก บริษัท แล็บซีสเต็มส์ จำกัด
- 3.1.6 กรดอะซิติก จาก บริษัท แล็บซีสเต็มส์ จำกัด
- 3.1.7 Tetraacthyl orthosilicate จาก บริษัท เคมีเคิล เอ็กซ์เพรส จำกัด
- 3.1.8 Ethanol anhydrous จาก บริษัท ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป
- 3.1.9 Magnesium Chloride จาก บริษัท ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป
- 3.1.10 Citric acid จาก บริษัท ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป
- 3.1.11 Hydrochloric acid จาก บริษัท ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป
- 3.1.12 Ammonia Solution 25% จาก บริษัท ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป
- 3.1.13 Dimethyldihydroxy ethylene urea จากบริษัท วิ พี ซี กรุ๊ป จำกัด

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.1 เครื่องจุ่มอัด (Padder)
- 3.2.2 เครื่องอบผืนก (Stenter)
- 3.2.3 เครื่องอบยูวี (UV TEC 12)
- 3.3.4 เครื่องกวนผสม (Magnetic Stirrer)
- 3.3.5 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction) รุ่น D8 Advanced, Bruker AXS
- 3.3.6 เครื่อง Macbeth Color-eye 7000 สำหรับวัดความเหลือง และเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง
- 3.3.7 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด
- 3.3.8 เครื่อง Crease recovery angle tester
- 3.3.9 เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD
- 3.3.10 เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer รุ่น Specord S100

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมไททานีซอล

การเตรียมไททานีซอล ทำโดยการหยดสารตั้งต้น Titanium (IV) isopropoxide (TTIP) ที่ปริมาตรต่างๆ กัน ลงในสารละลายที่ประกอบไปด้วย 5 มิลลิลิตรของกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 99.7% ทีละเล็กน้อย หลังจากนั้นเติม 0.1 มิลลิลิตรของกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 70 % ลงไปในสารละลายแล้วคนสารละลายเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเพิ่มความร้อนให้กับสารละลายทีละน้อยไปจนถึงอุณหภูมิ 80°C แล้วคนสารละลายต่อ ณ อุณหภูมิคงที่ 80°C ต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที หลังจากนั้น นำไททานีซอลที่เตรียมได้มาทำการตกแต่งลงบนผ้า

ไททานีซอลได้เตรียมโดยการใช้สารตั้งต้น TTIP ที่ปริมาตรแตกต่างกันตามสูตรที่แสดงเอาไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของสารต่างๆ ในการเตรียมไททานีซอล

ตารางที่ 3.1 สูตรของการเตรียมสารไททานีซอลที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย

ปริมาตรของสารที่ใช้ (ml)	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
TTIP	5	10	15	20
CH ₃ COOH	5	5	5	5
HNO ₃	0.1	0.1	0.1	0.1
H ₂ O	89.9	84.9	79.9	74.9

3.3.2 การตกแต่งไททานีซอลลงบนผ้าฝ้าย

นำผ้าฝ้ายขนาด 7x5 นิ้ว มาจุ่มแช่ลงในไททานีซอลที่เตรียมจากสูตรที่ได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 3.1 เป็นระยะเวลา 10 นาที หลังจากนั้น นำผ้าที่จุ่มไททานีซอลแล้วมาผ่านเครื่องบีบอัดด้วยลูกกลิ้ง (Padder) ที่ได้ควบคุมความดันลมเอาไว้ที่ 1.8 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เพื่อควบคุมปริมาณสารที่อยู่บนผ้าที่เรียกว่า % wet pick-up ให้ได้ประมาณ 80% หลังจากนั้น นำผ้าที่ผ่านการบีบอัดด้วยลูกกลิ้งแล้วไปอบด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ อบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 นาที หรือ อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm² เป็นจำนวน 5 รอบ (วิธีการอบด้วยยูวีทำการอบผ้าทั้งด้านหน้าและด้านหลังนับเป็นการอบผ้าจำนวน 1 รอบ) หลังจากนั้น นำผ้าที่ผ่านการอบด้วยวิธีทั้งสองไปล้างน้ำเปล่าให้สะอาด แล้วนำผ้ามาอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้ง ก่อนที่จะนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานีซอลแล้วไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

3.4 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียม โซล

3.4.1 วิเคราะห์เฟสของไทเทเนียม ไดออกไซด์ที่ใช้ตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction: XRD รุ่น D8 Advance, Bruker AXS) โดยตั้งมุมสแกนในช่วง 5-55 องศา และมี voltage 40 kV และ current 40 mA

3.4.2 การตรวจสอบสัญญาณด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

นำผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบมาตรวจลักษณะพื้นผิว โดยนำชิ้นตัวอย่างทดสอบมาเคลือบผิวด้วยทองคำ แล้วทำการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ 10 กิโลโวลต์ เพื่อดูสัญญาณวิทยาของผ้าชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบ

3.4.3 การทดสอบสมบัติดัชนีความเหลือง (Yellowness Index)

วัดค่าดัชนีความเหลืองของผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน ASTM D 1925 โดยนำผ้ามาพับซ้อนกันจำนวน 2 ทบ แล้วนำมาวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Macbeth color-eye 7000 บันทึกค่าดัชนีความเหลืองบนผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบ 3 ตำแหน่ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย (นอกจากนี้ยังได้ใช้เครื่องมือดังกล่าววัดค่าการสะท้อนของแสงที่ความยาวคลื่น 360-400 นาโนเมตร เพื่อทดสอบว่ามีไททานเนียมอยู่บนผ้าหรือไม่อย่างคร่าวๆ ทำการวัดเฉพาะในการศึกษาเบื้องต้น)

3.4.4 การทดสอบองศาการคืนตัวต่อการยับ (Crease Recovery Angle) ตามมาตรฐาน AATCC Test method 66-1990- Wrinkle Recovery of Woven Fabric: Recovery Angle

โดยการตัดผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 15x40 มิลลิเมตร (ทั้งตามแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง) แล้วนำผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบมาพับครึ่งแล้วทับด้วยค้อนน้ำหนัก 500 กรัม เป็นระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้น ยกค้อนน้ำหนักออก แล้วปล่อยให้ผ้าคืนตัวอย่างอิสระเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วทำการวัดองศาการคืนตัวของผ้าด้วยเครื่อง Crease recovery angle tester ซึ่งองศาการคืนตัวต่อการยับ เท่ากับผลบวกขององศาการคืนตัวตามแนวด้ายยืนบวกกับองศาการคืนตัวตามแนวด้ายพุ่ง

3.4.5 การทดสอบสมบัติความต้านแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D5035 Standard test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabric (Strip Method)

นำผ้าที่เตรียมทดสอบมาตัดเป็นชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาด 1 x 6 นิ้ว แล้วนำมาวัดความต้านแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD โดยใช้ค้อนน้ำหนัก (load cell) ขนาด 1000 นิวตัน และใช้อัตราการดึงยึดที่ 300 มิลลิเมตร/นาที ที่ระยะการจับยึดชิ้นงาน (Gauge length)

ที่ 75 มิลลิเมตร ทำการทดสอบความต้านแรงดึงเฉพาะทิศทางในแนวด้ายยืนเท่านั้น แล้วคำนวณหาค่าความต้านแรงดึงที่คงเหลือ

3.4.6 การทดสอบความสามารถในการสลายตัวของสีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

วิธีการทดสอบนี้ได้ดัดแปรมาจาก Qi, K. และทีมคณะผู้วิจัย⁽²⁶⁾ โดยตัดผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ขนาด 1 x 1 เซ็นติเมตร หนัก 1 กรัม มาแช่ลงใน 50 มิลลิลิตรของสารละลายสีข้อมที่เตรียมโดยการละลายสีข้อมรีแอคทีฟ CIBACRON Red LS-B h-c 0.04 กรัม/ลิตรในขวดชมพู หลังจากจากนั้น ตั้งขวดทิ้งไว้ในที่มืดเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำขวดดังกล่าวที่มีทั้งสารละลายสีข้อมที่เตรียมได้พร้อมกับผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบมาวางไว้ในตู้ Color Assessment Cabinet แล้วฉายแสงด้วยหลอดไฟที่อยู่ในตู้ Color Assessment Cabinet โดยทำการฉายแสงจากหลอดไฟยูวี หลังจากนั้นดูดสารละลายสีขึ้นมาวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer รุ่น Specord S100 ทุก 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมง และนำค่าที่วัดได้มาคำนวณกลับไปหาค่าความเข้มข้นของสีทุก 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทำการทดลองอีกครั้งแต่เปลี่ยนชนิดหลอดไฟในการฉายแสงเป็นหลอดไฟ D65 เพื่อทำการเปรียบเทียบการสลายตัวของสีภายใต้หลอดยูวีและหลอดไฟ D65

3.4.7 การทดสอบความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ

วิธีการทดสอบนี้ได้ดัดแปรมาจาก Gupta, K. และทีมคณะผู้วิจัย⁽²⁰⁾ โดยตัดชิ้นผ้าทดสอบขนาด 5x5 เซ็นติเมตร ทั้งผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซล และนำ 100 มิลลิลิตรของสารละลายกาแฟที่เตรียมโดยใช้กาแฟสำเร็จรูปตราเนสกาแฟ เรดคัพ (กาแฟล้วน) ที่ความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร หลังจากนั้นจุ่มผ้าทดสอบในสารละลายกาแฟที่เตรียมไว้เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำผ้ามาตากที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง นำผ้าทดสอบที่ตากแห้งไปวางไว้ในตู้ไฟ Color Assessment Cabinet แล้วทำการฉายแสงด้วยหลอดไฟยูวี และทำการทดสอบอีกครั้งกับผ้าทดสอบชุดใหม่แต่ฉายแสงด้วยหลอดไฟ D65 แทน การทดสอบจะทำการวัดค่าของ K/S ทุก 2 ชั่วโมง และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีกาแฟที่เปลี่ยนไปจนครบ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำค่า K/S ที่วัดได้มาคำนวณการลดลงของค่า K/S การวัดค่า K/S วัดที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร

$$\% \text{ การลดลงของค่า K/S} = \frac{K/S_0 - K/S_{\text{เวลาต่างๆ}}}{K/S_0}$$

$$K/S_0 = \text{ค่า K/S ณ 0 ชั่วโมง}$$

$$K/S_{\text{เวลาต่างๆ}} = \text{ค่า K/S ณ ช่วงเวลาต่างๆ ที่ทำการวัด}$$

3.3.8 การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบสมบัติทางด้านนี้ใช้มาตรฐานการทดสอบ 2 มาตรฐานด้วยกัน คือ มาตรฐานการทดสอบของ AATCC Test Method 147-1998-Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials : Parallel Streak Method ซึ่งมีหลักการ คือ ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตรและยาว 50 มิลลิเมตร หลังจากนั้นวางชิ้นผ้าตัวอย่างทดสอบให้แนบที่สุดลงบนเชื้อแบคทีเรียที่ถูกกลาเป็นเส้นยาว 60 มิลลิเมตร จำนวน 5 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นห่างจากกัน 10 มิลลิเมตรลงบนแผ่นวุ้นที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในงานแก้ว หลังจากนั้น ทำการเพาะเชื้อเอาไว้ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตว่ามีขอบเขตของการปลอดเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า Clear zone หรือ ไม่ ซึ่งเป็นขอบเขตของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เจริญเติบโต ส่วนอีกมาตรฐานหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบคือ AATCC Test Method 100-1988-Antibacterial Finishes on Textile Materials ซึ่งมีหลักการคือ ตัดผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาด 4.8 เซนติเมตร ผ้าที่ทดสอบต้องมีความหนาที่เพียงพอที่สามารถจะดูดเชื้อ 1 มิลลิลิตร ได้หมด ถ้าผ้ามีความหนาไม่พอก็สามารถทำการซ้อนผ้าได้หลายชั้น เตรียมผ้าในลักษณะดังกล่าวใส่ลงในขวดฝาเกลียวจำนวน 2 ขวด หลังจากนั้นเอาขวดแรกมาทำการทดสอบก่อนหลังจากผ้าชิ้นตัวอย่างทดสอบได้ดูดซับเชื้อเอาไว้ทั้งหมดแล้ว โดยนำมาล้างด้วยน้ำบัฟเฟอร์ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตรทันทีเพื่อให้เชื้อหลุดออกมา หลังจากนั้นดูดเอาสารละลายขึ้นมา 0.1 มิลลิลิตรแล้วนำมาเจือจาง แล้วทำการเพาะเชื้อเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้นต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่านี้แทนด้วย A ส่วนขวดที่ 2 ทิ้งเอาไว้ 24 ชั่วโมงก่อนแล้วทำตามขั้นตอนที่เหมือนเดิมและทำการดูดเชื้อจากขวดแก้วมาทำการเพาะเชื้ออีกครั้ง แล้วนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้น โดยให้ค่านี้แทนด้วย B หลังจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียตามสูตรการคำนวณดังนี้ $100 (A-B)/A$ เชื้อแบคทีเรียที่ได้ทำการทดสอบคือ *Staphylococcus aureus* เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (Gram positive bacterium) และ *Escherichia Coli* เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (Gram negative bacterium)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

(Results and Discussion)

4.1 สรุปผลการศึกษาเบื้องต้น

การศึกษาเบื้องต้นของการเตรียมไททาเนียโซลพร้อมด้วยสารกันยับ BTCA เพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้ายแบบชั้นตอนเดียว วัตถุประสงค์ของการศึกษาเบื้องต้นนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตกแต่งผ้าให้มีสมบัติกันยับด้วยการใช้สารไททาเนียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้การอบด้วยรังสียูวี

วิธีการศึกษาขั้นตอนแรกในการศึกษาเบื้องต้น เริ่มด้วยการเตรียมไททาเนียโซลด้วยการใช้สารตั้งต้น Titanium (IV) isopropoxide (TTIP) precursor และเตรียมซิลิคอนไดออกไซด์โซล (SiO_2 -โซล) ด้วยสารตั้งต้น Tetraethyl orthosilicate (TEOS) หลังจากนั้นเติมสารกันยับ BTCA ลงไปในไททาเนียโซล หรือที่มีไททาเนียโซล และ SiO_2 -โซล เหตุผลของการใช้ SiO_2 -โซล เพื่อให้การยึดจับไททาเนียได้ดีขึ้น หลังจากนั้นจุ่มผ้าลงไปนในสารผสมที่เตรียมได้ แล้วทำการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 1053 mJ/cm^2 จำนวน 1 รอบ การอบด้วยรังสียูวีจะทำการอบทั้งด้านหน้าและด้านหลังของผ้าเปียก และจะนับเป็นการอบเพียง 1 รอบ เหตุผลที่ต้องทำการอบผ้าทั้งสองด้านก็เพราะถ้าอบผ้าเพียงด้านเดียวผ้าก็จะแห้งเพียงด้านเดียว หลังจากนั้นทำการวัดองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยโซลดังกล่าว องศาการคืนตัวต่อการยับเป็นตัวบอกความสามารถในการคืนตัวจากการยับของผ้า ซึ่งถ้าองศาการคืนตัวมาก ความสามารถในการคืนตัวจากการยับของผ้าก็จะดี

การเตรียมไททาเนียโซลด้วยกรด หยอด 10% (ปริมาตร/ปริมาตร) TTIP ลงใน 5% (ปริมาตร/ปริมาตร) ของกรดอะซิติกความเข้มข้นที่ 99.7% แล้วค่อยๆคนเป็นระยะเวลา 30 นาที พร้อมด้วยค่อยเติม 1% (v/v) ของกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 70% พร้อมให้ความร้อนกับสารละลายไปจนถึงอุณหภูมิที่ 80°C และทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 80°C พร้อมกับการคนสารละลายไปพร้อมกันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

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

การเตรียม $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ โซล นำเอา SiO_2 โซลเทลงในไททาเนียโซลแล้วทำการคนสารละลายผสมเป็นระยะเวลาต่ออีก 1 ชั่วโมง

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบชั้นตอนเดียว นำสารกันยับ BTCA ที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร) เติมลงในไททาเนียโซล หรือใน $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ โซล แล้วทำการคนสารละลายเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้น นำผ้า 3.7 กรัม จุ่มลงในสารละลายเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วทำการ

บิบบอัดด้วยลูกกลิ้งเพื่อควบคุมผ้าให้มี % wet pick-up ที่ 80% หลังจากนั้นนำมาอบด้วยรังสียูวี และทำการวัดองศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าในขั้นตอนนี้ไม่ได้ใส่ตัวเร่ง sodium hypophosphite monohydrate (SHP) ซึ่งเป็นตัวเร่งสำหรับสารกันยับ BTCA ทั้งนี้เพราะเมื่อใส่ตัวเร่ง SHP ลงไปในสารที่ผสมกับไททานเนียมไฮดรอกไซด์หรือ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ -ไฮดรอกไซด์ จะเกิดการตกตะกอน ในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนสารกันยับเป็นอีกประเภทหนึ่งคือสารกันยับ DMDHEU ซึ่งเป็นสารกันยับที่สามารถปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาได้ มาแทนสารกันยับ BTCA การใช้สารกันยับ DMDHEU ก็ไม่มีการใส่ตัวเร่งแมกเนเซียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งของสารกันยับ DMDHEU เช่นกัน ซึ่งผลที่ได้ในส่วนนี้ได้แสดงผลเอาไว้ในตารางที่ 4.1 ด้วยเช่นกัน ผลการทดลองของการใช้สารกันยับ DMDHEU ก็ไม่ได้ให้ผลของการยับที่ดีกว่าของสารกันยับ BTCA จึงไม่ได้ทำการศึกษาสารกันยับ DMDHEU เพิ่มเติมอีก

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบ 2 ขั้นตอน นำผ้า 3.7 กรัม จุ่มลงในสารละลาย BTCA ที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วทำการบิบบอัดด้วยลูกกลิ้งเพื่อควบคุมผ้าให้มี % wet pick-up ที่ 80% แล้วทำการอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที ในขั้นตอนนี้ไม่ได้ใส่ตัวเร่ง SHP เช่นกัน หลังจากนั้นนำผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA แล้วมาจุ่มในไททานเนียมไฮดรอกไซด์ หรือใน $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ไฮดรอกไซด์ แล้วทำการบิบบอัดและอบแห้งด้วยยูวีและทำการวัดองศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง ซึ่งผลขององศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งทั้งแบบขั้นตอนเดียวและแบบ 2 ขั้นตอนได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของผ้าที่ได้จากการตกแต่งในขั้นตอนนี้จะศึกษาได้ง่ายและเหลือ

ตารางที่ 4.1 องศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ หรือ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ไฮดรอกไซด์ พร้อมด้วยสารกันยับ BTCA หรือ DMDHEU แบบขั้นตอนเดียว และของสารกันยับ BTCA แบบสองขั้นตอน

วิธีการตกแต่งผ้า	องศาการคืนตัวของผ้า ($^{\circ}$)	
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	145	
ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA เพียงอย่างเดียว ¹	293	
วิธีการตกแต่งผ้าที่มีทั้งไฮดรอกไซด์และสารกันยับ	TiO_2 ไฮดรอกไซด์	$\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ไฮดรอกไซด์
การตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียวด้วยสารกันยับ BTCA	140	161
การตกแต่งผ้าแบบ 2 ขั้นตอนด้วยสารกันยับ BTCA	86	105
การตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียวด้วยสารกันยับ DMDHEU	133	141

¹ การตกแต่งกันยับด้วยสารกันยับ BTCA ที่ 8% อัตราส่วน โมลของ ตัวเร่ง SHP : BTCA = 0.3 : 1 ทำการอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที และอบผืนด้วยความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

วิธีการศึกษาขั้นตอนที่สองในการศึกษาเบื้องต้น

การเตรียมไททาเนียโซลด้วยเอทานอล ก่อๆหยดเอทานอล 40 มิลลิลิตรลงในสาร TTIP 10 มิลลิลิตร แล้วทำการคนสารละลายเป็นระยะเวลา 15 นาที จนได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 38% หลังจากนั้นคนสารละลายต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 45 นาที

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบขั้นตอนเดียว นำไททาเนียโซลที่เตรียมได้จากข้างบนมาผสมลงในสารละลายกันยับ 50 มิลลิลิตรที่มีความเข้มข้นของ BTCA 8% หลังจากนั้นคนสารละลายให้เข้ากันเป็นระยะเวลานาน 30 นาที หลังจากนั้นนำผ้า 3.7 กรัม จุ่มลงในสารผสมเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วทำการบีบอัดด้วยลูกกลิ้งเพื่อควบคุมผ้าให้มี % wet pick-up ที่ 80% หลังจากนั้นนำผ้ามาอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 616 mJ/cm^2 พลังงานที่ใช้ในการอบด้วยยูวีในขั้นตอนนี้ น้อยกว่าที่ใช้ในขั้นแรกของการศึกษาเบื้องต้น เพราะผ้าที่จุ่มในไททาเนียโซลที่เตรียมจากเอทานอลนั้นแห้งเร็วกว่าของผ้าที่จุ่มในสารไททาเนียโซลที่เตรียมจากกรด จึงลดพลังงานของการใช้รังสียูวีลง นอกจากนี้ไม่ต้องการให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อความขาวและความแข็งแรงของผ้ามากเกินไป หลังจากนั้นทำการวัดองศาการคืนตัวของผ้าที่ได้ผ่านการตกแต่ง ขั้นตอนนี้ก็ไม่ได้มีการเติมตัวเร่ง SHP ลงไปในสารผสมเช่นกัน เพราะมีผลทำให้เกิดการตกตะกอน

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าแบบ 2 ขั้นตอน นำผ้า 3.7 กรัม จุ่มลงในสารละลาย BTCA ที่ความเข้มข้น 8% (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วทำการบีบอัดด้วยลูกกลิ้งเพื่อควบคุมผ้าให้มี % wet pick-up ที่ 80% แล้วทำการอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 นาที พร้อมทั้งมีตัวเร่ง SHP ที่อัตราส่วนโมลของ ตัวเร่ง SHP : BTCA = 0.3 : 1 และที่ไม่มีตัวเร่ง SHP หลังจากนั้นนำผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA แล้วมาจุ่มลงในไททาเนียโซล แล้วทำการบีบอัดด้วยลูกกลิ้งแล้วนำมาอบด้วยยูวี 1 รอบ หลังจากนั้นทำการวัดองศาการคืนตัวของผ้า ผลขององศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 4.2 ลักษณะผ้าที่ได้จากการตกแต่งในขั้นตอนนี้ยังคงความแข็งแรงของผ้าได้อยู่ ซึ่งผ้าจะไม่ฉีกขาดได้ง่ายด้วยมือ แต่เมื่อมีการใส่ตัวเร่ง SHP ลงในไททาเนียโซลมีผลทำให้สารผสมเกิดการตกตะกอน การเตรียมไททาเนียโซลใน

เอทานอลมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของผ้าที่ตกแต่งน้อยกว่าของผ้าที่ได้จากการเตรียมไททาเนียโซลในกรด จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมต่อการเตรียมไททาเนียโซลในเอทานอล ผลขององศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมด้วยเอทานอล มีผลขององศาการคืนตัวของผ้าที่น้อยมาก ทั้งนี้อาจจะเพราะ Ti(OH)_4 ที่เกิดขึ้นอาจจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารกันยับ BTCA แทนการไปทำหน้าที่เป็นตัวเร่งเพื่อทำให้เกิดพันธะร่างแหระหว่างสารกันยับ BTCA กับผ้าฝ้าย นอกจากนี้ Ti(OH)_4 ที่เกิดขึ้นอาจจะไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าฝ้ายแทน จึงเป็นการเพิ่มพันธะไฮโดรเจนบนผ้าให้มากขึ้นจึงอาจจะส่งผลให้ผ้ายับง่ายขึ้นซึ่งทำให้องศา

การคืนตัวต่อการยับยั้งน้อยลง จึงได้ลดปริมาณของสารตั้งต้น TTIP จาก 10 มิลลิลิตรลดลงเหลือ 7.5, 5.0 และ 2.5 มิลลิลิตรตามลำดับ และลดปริมาณการใช้กรดไฮโดรคลอริกลงตามสูตรที่เตรียมเอาไว้ตามตารางที่ 4.3 และใช้สารกันยับ BTCA โดยไม่ใส่ตัวเร่งของ SHP เพราะการใส่ตัวเร่ง SHP ไม่ได้ช่วยทำให้ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าดีขึ้นหรือทำให้ผลที่ได้แตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 4.2 องศาการคืนตัวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่เตรียมในเอทานอล พร้อมด้วยสารกันยับ BTCA และทำการตกแต่งแบบชั้นตอนเดียว หรือแบบสองชั้นตอน

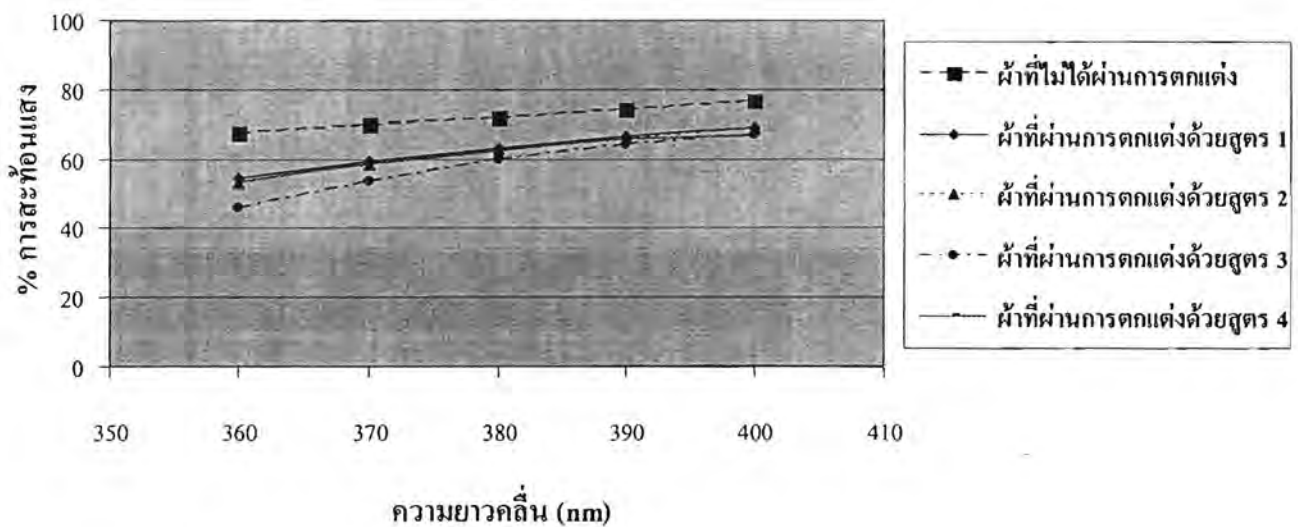
วิธีการตกแต่งผ้า	องศาการคืนตัว (°)
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	145
ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA เพียงอย่างเดียวที่อบด้วยยูวี	119
วิธีการตกแต่งผ้าที่มีทั้งโซลและสารกันยับ BTCA	
การตกแต่งผ้าแบบชั้นตอนเดียวอบด้วยยูวี 1 รอบ	98
การตกแต่งผ้าแบบชั้นตอนเดียวอบด้วยยูวี 2 รอบ	102
การตกแต่งผ้าแบบ 2 ชั้นตอนที่ไม่มีตัวเร่งแล้วอบด้วยยูวี 1 รอบ	95
การตกแต่งผ้าแบบ 2 ชั้นตอนที่ไม่มีตัวเร่งแล้วอบด้วยยูวี 2 รอบ	100
การตกแต่งผ้าแบบ 2 ชั้นตอนที่มีตัวเร่งแล้วอบด้วยยูวี 1 รอบ	97
การตกแต่งผ้าแบบ 2 ชั้นตอนที่มีตัวเร่งแล้วอบด้วยยูวี 2 รอบ	101

สำหรับตารางที่ 4.3 ในสรุปสารประกอบต่างๆที่ใช้ในสูตรเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้า รวมทั้งสรุปผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ตกแต่งตามสูตรดังกล่าวและทำการอบผนึกด้วยยูวีที่พลังงาน 518 mJ/cm^2 จำนวน 1 รอบ การวัดค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่น 360-400 นาโนเมตร เป็นตัวบอกว่ามีไททาเนียอยู่บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งบ้างหรือไม่แบบคร่าวๆ เพราะฉะนั้นผลของค่าการสะท้อนแสงของผ้าในช่วงความยาวคลื่น 360-400 นาโนเมตรได้สรุปเอาไว้ในรูปที่ 4.1 จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.3 การเตรียมไททาเนียโซลพร้อมด้วยสารกันยับ BTCA แล้วนำมาตกแต่งผ้าด้วยการอบรังสียูวีแบบชั้นตอนเดียว เพื่อให้ได้สมบัติกันยับของผ้าคงเป็นไปไม่ได้ทั้งนี้เพราะค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่มีสารกันยับ BTCA ด้วยนั้น มีค่าที่ค่อนข้างห่างจากค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA อย่างเดียวด้วยวิธีบิ๊บอัด-อบแห้ง-อบผนึก ซึ่งมีค่าองศาการคืนตัวต่อการยับประมาณ 293 องศา การทดลองชั้นตอนต่อไปได้มีการนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสูตรที่ 4 ที่อบด้วยรังสียูวี แล้วนำมาอบด้วยความร้อนที่ 180°C เป็นเวลา 2 นาที พบว่าค่าขององศาการคืนตัวต่อการยับเพิ่มขึ้นมาเป็น 159

องศาจาก 112 องศา การเพิ่มการอบด้วยความร้อนเข้าไปอีกครั้งน่าที่จะมีผลกระทบต่อผลึกของอนุภาคไททาเนียที่อยู่บนผ้า การศึกษาในประเด็นน่าที่จะทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ตารางที่ 4.3 สรุปการเตรียมสูตรไททาเนียโซลในเอทานอลเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย และผลของค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

สารประกอบในสูตร	- 1	2	3	4
สารตั้งต้น TTIP	2.5 ml	5.0 ml	7.5 ml	2.5 ml
เอทานอล	40 ml	40 ml	40 ml	40 ml
HCl	5 ml	5 ml	5 ml	2.5 ml
สารกันยับ BTCA	8%	8%	8%	8%
น้ำ	52.5 ml	50.0 ml	47.5 ml	55.0 ml
pH ของสารที่เตรียม	2	2	2	3
องศาการคืนตัวต่อการยับ	103	99	98	112



รูปที่ 4.1 เปรอ์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งตามสูตรที่ 1-4

ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.1 อย่างน้อยก็สามารถบอกได้คร่าวๆว่ามีอนุภาคของไททาเนียอยู่บนผ้าเพราะการตอบสนองต่อการสะท้อนแสงของผ้าที่ผ่านการตกแต่งและที่ไม่ผ่านการตกแต่งมีความแตกต่างกัน

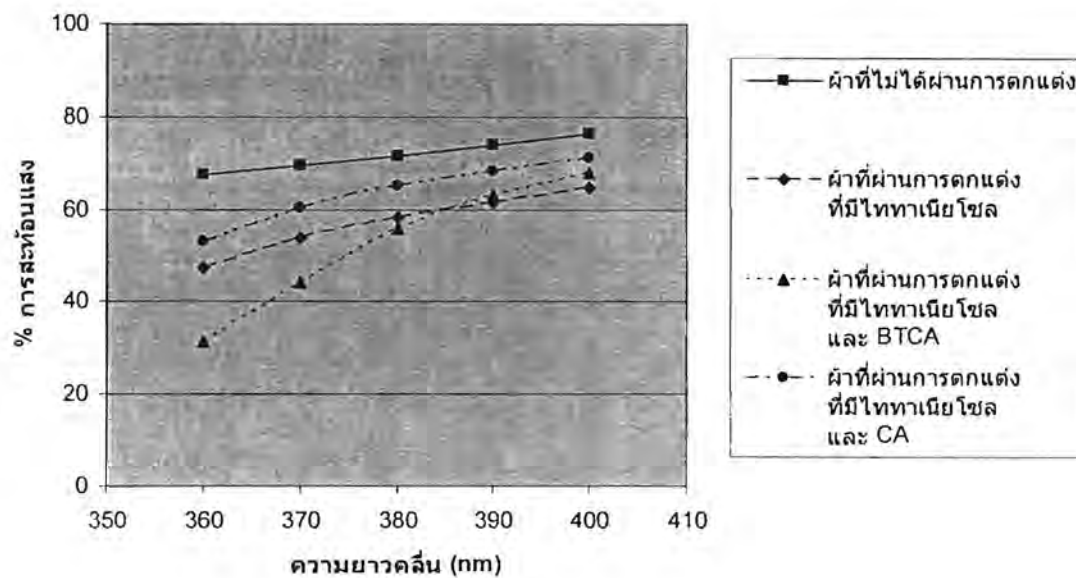
เนื่องจากการเตรียมไททานเนียมโซลในเอทานอลพร้อมด้วยสารกันยับ BTCA ไม่มีแนวโน้มที่จะตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับได้แบบขั้นตอนเดียวด้วยการอบรังสียูวี จึงได้ย้อนกลับไปทดลองเพิ่มเติมในการเตรียมไททานเนียมโซลด้วยกรดอีกครั้ง แต่ลดความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ลงอย่างมาก ตารางที่ 4.4 ได้สรุปสารการเตรียมไททานเนียมโซลเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าและทำการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรือการอบด้วยความร้อนที่ 180°C เป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำผ้ามาวัดค่าองศาการคืนตัวต่อการยับได้ทำการล้างผ้าด้วยน้ำและทำการอบแห้งที่ 80°C เป็นเวลา 5 นาที การเตรียมสูตรของสารตกแต่งในขั้นตอนนี้ทำโดยเติมกรดอะซิติกลงในน้ำก่อนแล้วจึงค่อยๆ หยด TTIP ตามปริมาตรที่ต้องการแล้วคนสารเป็นระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้นจึงใช้ปิเปตดูด 0.1 มิลลิลิตรของกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 70% และคนสารต่อเป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วให้ความร้อนไปที่อุณหภูมิ 80°C และคนสารผสมไปพร้อมกันเป็นระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 สรุปการเตรียมสูตรไททานเนียมโซลในกรดเพื่อใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย และผลของค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

สารประกอบในสูตร	1	2	3
สารตั้งต้น TTIP	5 ml	5.0 ml	5.0 ml
HNO_3	0.1 ml	0.1 ml	0.1ml
CH_3COOH	5 ml	5 ml	5 ml
สารกันยับ BTCA	-	8%	-
สารกันยับ CA			10%
น้ำ	100 ml	100 ml	100 ml
pH ของสารที่เตรียม	2	2	2
องศาการคืนตัวต่อการยับจากผ้าที่ผ่านการอบด้วยยูวี	124	115	117
องศาการคืนตัวต่อการยับจากผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อน	ใหม่	ใหม่	ใหม่

จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.4 ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสูตรดังกล่าวข้างต้นไม่สามารถทำการอบด้วยความร้อนที่สูงได้เพราะมีผลทำให้ผ้าไหม้ นอกจากนี้ องศาการคืนตัวต่อการยับที่ได้ของผ้าที่ตกแต่งด้วยสารไททานเนียมโซลในกรดจะสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ตกแต่งด้วยสารไททานเนียมโซลในเอทานอล แต่อย่างไรก็ตาม ผลขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง ยังมีค่าที่ห่างจากความเป็นจริงที่พึงต้องการ เพราะฉะนั้นการใช้ไททานเนียมโซลและสารกันยับ BTCA หรือ CA ในการตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันยับแบบขั้นตอนเดียวนั้น ไม่น่าที่จะเป็นไปได้ ส่วนผลของเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ได้ผ่านการตกแต่ง

ด้วยสูตรทั้งสามได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.2 จากผลที่ได้ของการวัดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงอาจสามารถสรุปได้คร่าวๆว่า การที่มีสารกันยับ BTCA หรือ CA มีผลทำให้การยึดอนุภาคของไททาเนียให้อยู่บนผ้าสามารถทำได้ดีกว่าในกรณีที่ไม่มีสารกันยับ และสารกันยับ BTCA สามารถยึดอนุภาคของไททาเนียได้ดีกว่าของสารกันยับ CA เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงต่ำกว่าของค่าการสะท้อนแสงของสารกันยับ CA ในช่วงความยาวคลื่น 360-400 นาโนเมตร



รูปที่ 4.2 เปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลในกรด ทั้งที่มีและไม่มีสารกันยับ

การศึกษาเบื้องต้นขั้นต่อไป คือ การศึกษาว่าควรจะทำกรอบด้วยรังสียูวีเป็นจำนวนกี่รอบหรือรอบด้วยความร้อนเป็นเวลานานเท่าใดจึงจะเหมาะสม ในการศึกษานี้ได้เลือกการเตรียมไททาเนียโซลในกรดแล้วทำการอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 จำนวน 3 5 และ 7 รอบ หรือทำการอบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 5 10 15 และ 30 นาที ซึ่งอุณหภูมิที่ 100°C ไม่มีผลทำให้ผ้าไหม้ สูตรที่ใช้ในการตกแต่งผ้าสำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้ได้สรุปเอาไว้ในตาราง 4.5 จากผลที่ได้ในตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่า เมื่อจำนวนรอบในการอบรังสียูวีเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผ้าที่ผ่านการอบมีความเหลืองเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันค่าขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าจะเริ่มกลับมาน้อยลงเมื่อทำการอบด้วยรังสียูวี 7 รอบ ส่วนผลของการอบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลาที่นานขึ้นก็มีผลทำให้ผ้าเหลืองมากขึ้นและค่าขององศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก เพราะฉะนั้นสภาวะในการอบด้วยความร้อน จึงสรุปได้ดังนี้ เลือกเวลาของการอบด้วยความ

ร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที และเลือกการอบด้วยรังสียูวี จำนวน 5 รอบ เพื่อใช้ในการศึกษา
ในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.5 ผลของจำนวนรอบการอบด้วยรังสียูวีหรือเวลาในการอบด้วยความร้อนต่อ
องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าและค่าความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วย
ไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมในกรด

สารประกอบในสูตร	1			2				
สารตั้งต้น TIP	5.0 ml			10.0 ml				
HNO_3	0.1 ml			0.1 ml				
CH_3COOH	5 ml			5 ml				
น้ำ	89.9 ml			84.9 ml				
pH ของสารที่เตรียม	2			2				
องศาการคืนตัวต่อการยับจากผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี ($^{\circ}$)								
	3 รอบ	5 รอบ	7 รอบ	3 รอบ	5 รอบ	7 รอบ		
	117	117	110	117	126	112		
ค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวี								
	3 รอบ	5 รอบ	7 รอบ	3 รอบ	5 รอบ	7 รอบ		
	8.37	8.69	8.83	8.34	9.42	9.77		
องศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่ 100°C								
	5	10	15	30	5	10	15	30
	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที
	124	126	127	128	123	126	129	133
ค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่ 100°C								
	5	10	15	30	5	10	15	30
	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที
	7.16	8.41	8.56	8.63	8.07	8.25	8.40	8.80

ส่วนเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากสารตั้งต้น TTIP ที่ 5
และ 10 มิลลิลิตร แล้วนำมาอบด้วยรังสียูวีจำนวนรอบ 3, 5, และ 7 รอบ ในแสดงเอาในตารางที่ 4.6
ส่วนผลเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ดังกล่าวแต่อบด้วยความร้อนที่
 100°C เป็นระยะเวลา 5, 10, 15 และ 30 นาทีได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากสารตั้งต้น TTIP ที่ 5 และ 10 มิลลิกรัมที่อบด้วยรังสียูวีด้วยจำนวนรอบที่แตกต่างกัน

ความยาวคลื่น (nm)	% การสะท้อนแสงของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	% การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัมที่อบด้วยรังสียูวี			% การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ 10 มิลลิกรัมที่อบด้วยรังสียูวี		
		3 รอบ	5 รอบ	7 รอบ	3 รอบ	5 รอบ	7 รอบ
360	67.5	40.8	42.0	42.0	36.1	34.7	35.6
370	69.3	52.2	52.8	53.4	47.6	46.3	47.1
380	71.7	60.4	60.8	61.4	57.0	56.0	56.4
390	74.0	65.8	65.7	66.7	63.4	62.4	62.4
400	76.5	69.4	69.1	70.1	67.7	66.8	66.6

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากสารตั้งต้น TTIP ที่ 5 และ 10 มิลลิกรัมที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ความยาวคลื่น (nm)	% การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัมที่อบด้วยความร้อน 100°C				% การสะท้อนแสงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ 10 มิลลิกรัมที่อบด้วยความร้อน 100°C			
	5 นาที	10 นาที	15 นาที	30 นาที	5 นาที	10 นาที	15 นาที	30 นาที
360	39.5	33.5	40.5	40.2	40.2	33.2	32.6	34.4
370	50.6	45.7	51.8	51.5	51.4	45.1	44.9	46.0
380	59.0	56.0	60.1	59.7	59.8	55.3	55.3	55.7
390	64.3	62.9	65.3	65.0	65.3	62.4	62.5	62.2
400	67.8	67.8	69.0	68.9	69.2	67.1	67.2	66.8

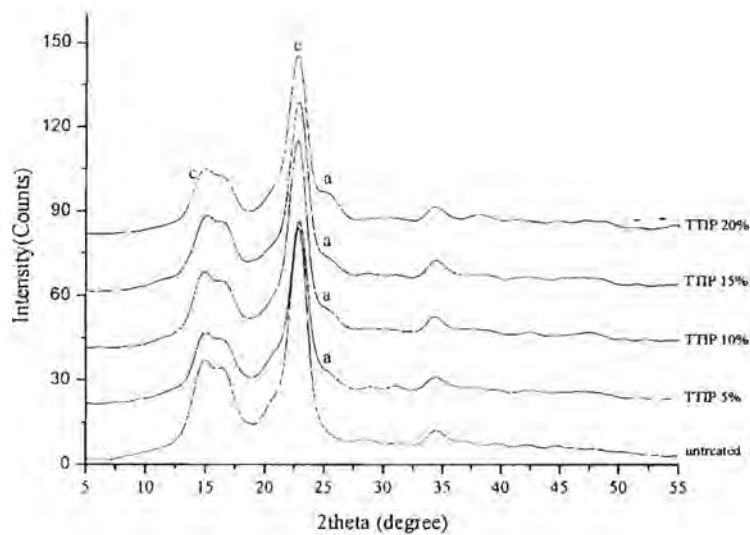
จากผลที่ได้ทั้งหมดของการศึกษาเบื้องต้น สรุปได้ว่า คงเป็นไปได้ที่จะทำการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารไททานเนียมไฮดรอกไซด์พร้อมด้วยสารกันยับ BTCA และใช้สารไททานเนียมที่เกิดในการเตรียมด้วยวิธี sol-gel เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้กับสารกันยับ BTCA ภายใต้การอบด้วยรังสียูวี

การศึกษาในขั้นตอนต่อไปจึงได้เปลี่ยนเป้าหมายการศึกษาเป็นการศึกษาสมบัติของการทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง (self-cleaning) ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการอบด้วยรังสียูวีเปรียบเทียบกับของผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนแทน โดยจะศึกษาการสลายตัวของสี การขจัดรอยคราบกาแฟ และการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพทั่วไป เช่น คำนวณความเหลือง ความต้านแรงดึงที่คงเหลือ และองศาการคืนตัวต่อการยับ ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมด้วยกรด ผลของการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารไททานเนียมไฮดรอกไซด์ได้สรุปเอาไว้ดังรายละเอียดข้างล่างนี้ ซึ่งนอกจากสมบัติที่ได้กล่าวถึงแล้วการวิเคราะห์เฟสของไททานเนียมบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งได้ทำการศึกษาด้วยเช่นกัน

4.2 ผลการวิเคราะห์เฟสของไททานเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันตามตารางที่ 3.1 ไปวิเคราะห์ลักษณะผลึกของไททานเนียมที่อยู่บนผ้าด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์ผลึกของไททานเนียมจากเครื่อง XRD ได้สรุปเอาไว้ดังรูปที่ 4.3 จากผล XRD ที่วิเคราะห์ได้สามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างของผลึกไททานเนียมบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง มีพีค 2θ เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 25.28 ซึ่งเป็นพีคของอนาเทส และพีคดังกล่าวสังเกตได้ค่อนข้างชัดเจนบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมด้วยการใช้ สารตั้งต้น TTIP ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม ส่วนที่ความเข้มข้นอื่นๆของ TTIP เห็นพีคดังกล่าวไม่ค่อยชัดเจนนักตามลำดับความเข้มข้นของ TTIP ที่ใช้ในการเตรียมไททานเนียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะไททานเนียมที่อยู่บนผ้าอาจมีผลึกไททานเนียมค่อนข้างน้อยหรือเล็ก มีผลทำให้การตรวจสอบนั้นทำได้ยาก สำหรับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง (untreated) ซึ่งเป็นผ้าฝ้ายธรรมดาจะไม่เห็นพีคที่ตำแหน่งดังกล่าว

ส่วนผลของการวิเคราะห์เฟสไททานเนียมของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์แล้วอบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาทีไม่ได้แสดงผลของการวิเคราะห์ XRD เอาไว้ ณ ที่นี้ (เพราะผลของการวิเคราะห์ยังไม่ได้) แต่ลักษณะพีคที่ได้ลงไม่แตกต่างจากของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่อบด้วยรังสียูวี ทั้งนี้เพราะผลที่ได้โดยภาพรวมที่ซึ่งจะสรุปเอาไว้ในส่วนต่างๆต่อไปนั้นไม่มีผลการทดลองที่แตกต่างกันมากนัก เพราะฉะนั้น ผลึกไททานเนียมที่ได้บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วอบด้วยความร้อนก็ไม่น่าที่จะแตกต่างกับผลึกไททานเนียมที่ได้บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วอบด้วยรังสียูวีมากนัก

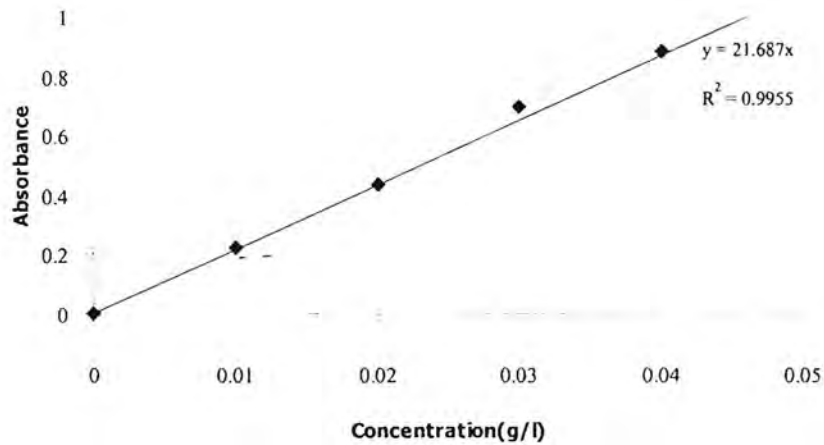


รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลึกไททานเนียมฟอสเฟตบนผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ใช้สารตั้งต้น TTIP ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวี

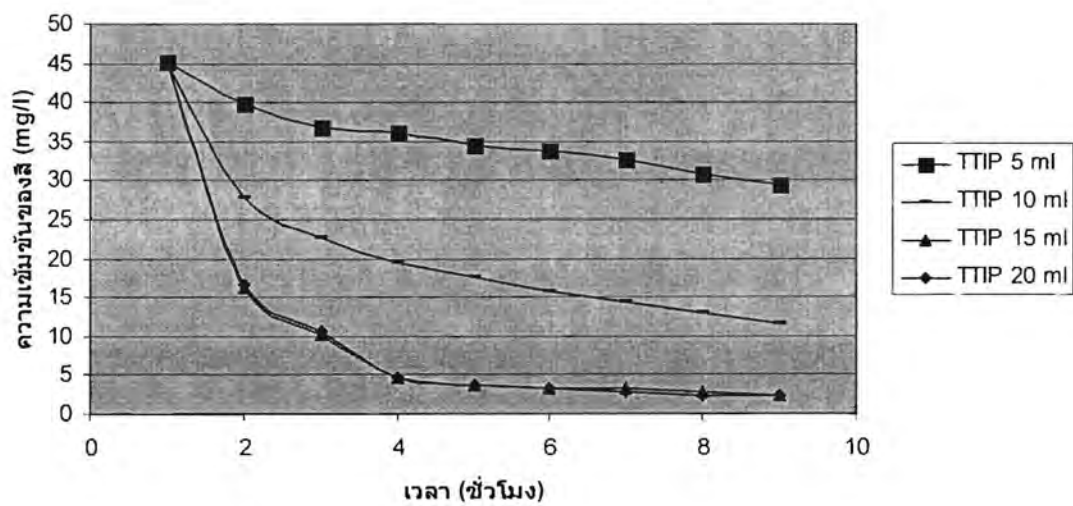
4.3 ความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟ

ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของสีรีแอคทีฟสีแดงประเภท CIBACRON RED LA-B h-c ซึ่งสีดังกล่าวมีค่าความยาวคลื่นที่ดูดซับสีมากที่สุดอยู่ที่ 512 นาโนเมตร ในรูปที่ 4.4 ได้แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสี CIBACRON RED LA-B h-c และค่าการดูดซับของสี ณ ความเข้มข้นต่างๆ

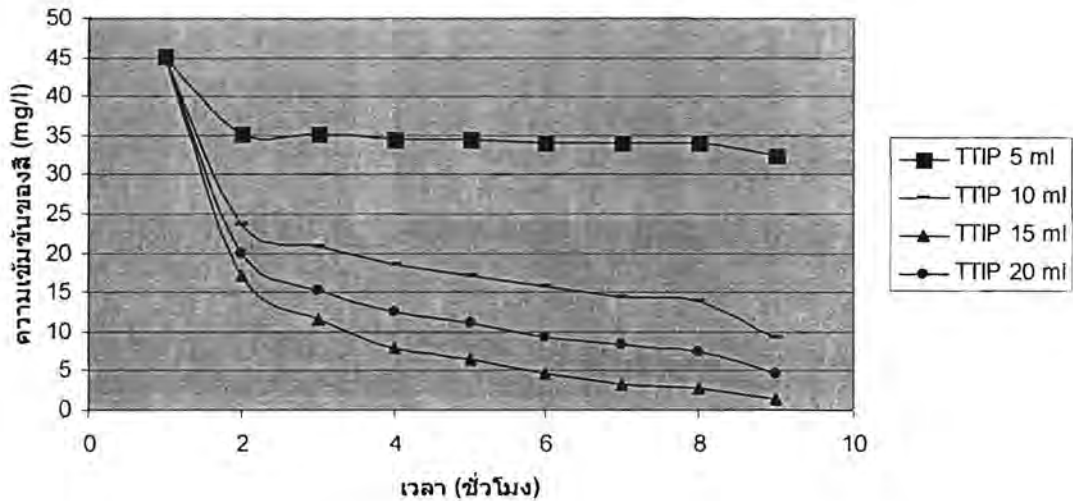
หลังจากนั้นได้ทำการวัดการสลายตัวของสีรีแอคทีฟดังกล่าว ณ ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน หลังจากได้ใส่ชิ้นผ้าทดสอบที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลลงไปในสารละลายสีรีแอคทีฟ ทำการวัดการสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอดแสงยูวี และหลอด D65 ซึ่งรูปที่ 4.5 แสดงการสลายตัวของสีภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที และรูปที่ 4.6 แสดงการสลายตัวของสีรีแอคทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสี CIBACRON RED LA-B h-c และค่าการดูดซับของสี ณ ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.5 การสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที

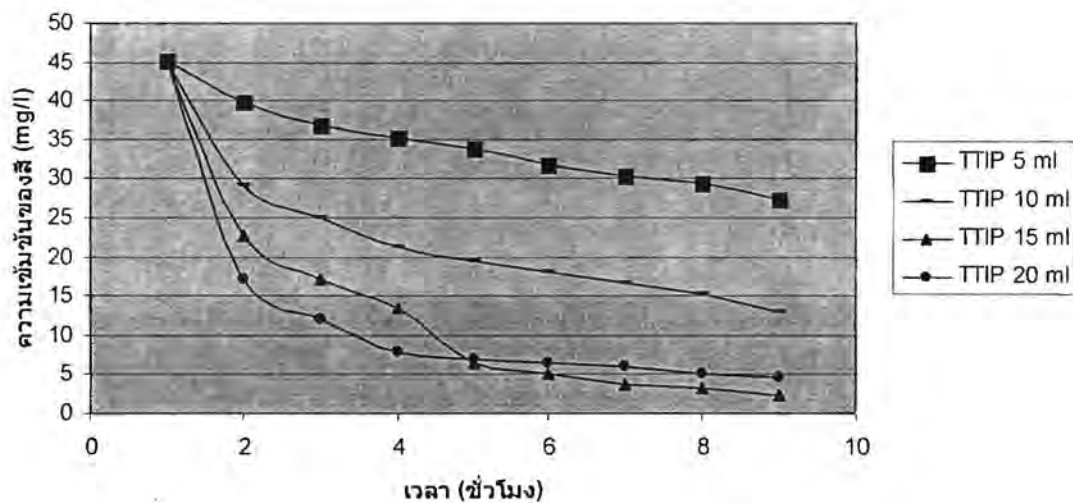


รูปที่ 4.6 การสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วย ไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยความร้อน 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที

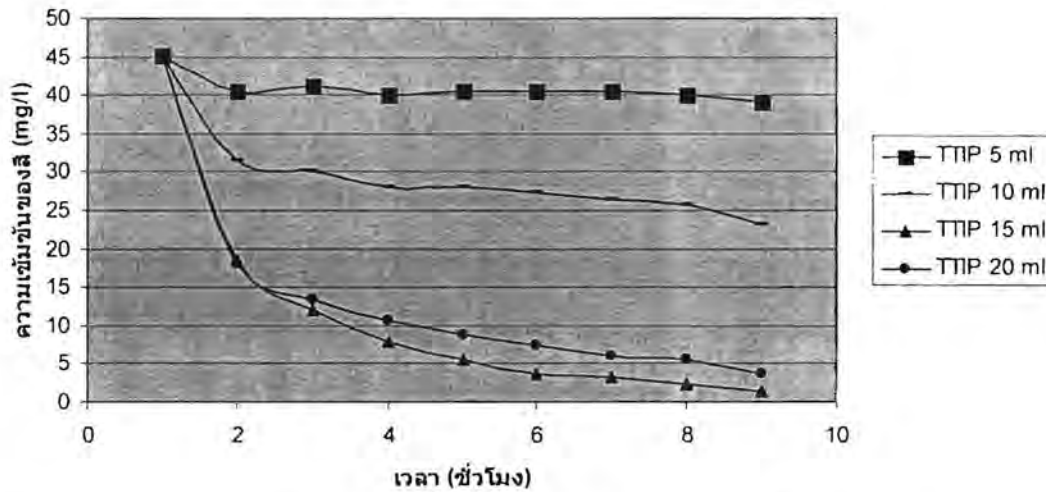
จากผลที่ได้ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียม ไชลที่อบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 5 นาที จะแสดงการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีได้เร็วกว่าภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นของ TTIP 15 และ 20 มิลลิกรัม ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นของ TTIP 5 และ 10 มิลลิกรัม การสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D65 ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด ยูวี ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นสูงพบว่าอัตราการสลายตัวของสีรีแอกทีฟรวดเร็วกว่าของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นต่ำ ข้อสังเกตอีกหนึ่งข้อพบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP 15 มิลลิกรัม มีการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D 65 ได้เร็วกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ตกแต่งด้วยความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP 20 มิลลิกรัม แต่สำหรับการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีนั้นอัตราการสลายตัวที่ความเข้มข้นทั้งสองนั้นใกล้เคียงกันมาก

ส่วนรูปที่ 4.7 แสดงการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วย ไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวีจำนวน 5 รอบ และรูปที่ 4.8 แสดงการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียม ไชลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวีจำนวน 5 รอบ จากผลที่ได้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 สรุปได้ว่าผ้าที่ตกแต่ง

ด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงมีแนวโน้มการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวี และ หลอด D65 ได้รวดเร็วกว่าของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นของ TTIP 5 และ 10 มิลลิลิตรการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีสามารถทำให้การสลายตัวของสีได้มากกว่าการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D65 เมื่อให้ระยะเวลาการสลายตัวของสีรีแอกทีฟนานถึง 8-9 ชั่วโมง ซึ่งการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยสารไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5 และ 10 มิลลิลิตรที่อบด้วยรังสียูวีแสดงอัตราการสลายตัวของสีรีแอกทีฟได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสภาวะเดียวกันแต่ศึกษาการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D65 ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 15 มิลลิลิตร แสดงการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D 65 ได้ดีกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 20 มิลลิลิตร แต่สำหรับการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีนั้นช่วงแรกเป็นความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 20 มิลลิลิตร ที่ทำได้ดีกว่า แต่ช่วงหลังจาก 5 ชั่วโมงของการสลายตัวของสีรีแอกทีฟก็กลายเป็นความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 15 มิลลิลิตรที่ทำได้ดีกว่าเล็กน้อย









รูปที่ 4.7 การสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวีจำนวน 5 รอบ



รูปที่ 4.8 การสลายตัวของสารสีของผ้าภายใต้หลอด D65 ที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่อบด้วยรังสียูวี จำนวน 5 รอบ

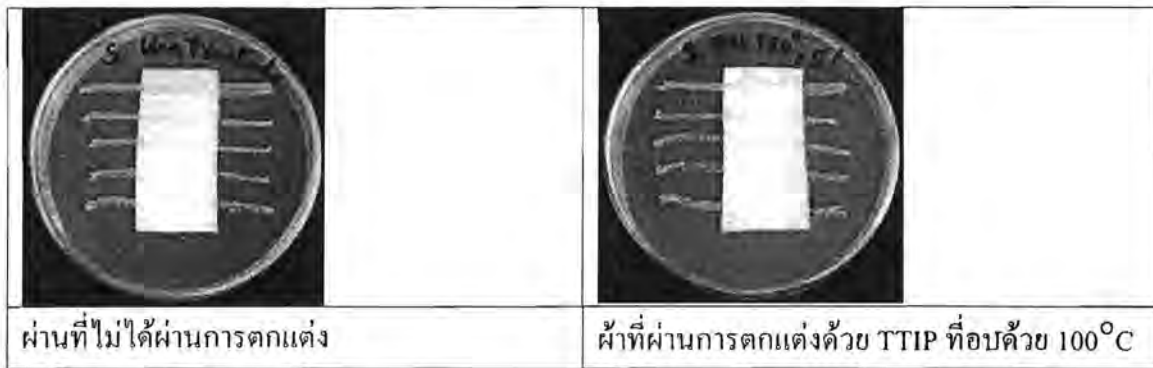
4.4 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วทำการอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที หรืออบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบนั้น เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยสารตั้งต้น TTIP ที่ 5 และ 20 มิลลิกรัม มาทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก ตามมาตรฐานของ AATCC 100 ผลของการยับยั้งจะเป็นการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียบนซับสเตรตใดๆที่ได้เคลือบด้วยไททาเนียจะต้องอังผ้าขึ้นตัวอย่างทดสอบภายใต้หลอดยูวีเพื่อเป็นกระตุกการทำงานของสารไททาเนียที่อยู่บนซับสเตรตให้เกิดมีประสิทธิภาพก่อน การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวได้อังผ้าขึ้นตัวอย่างทดสอบด้านละ 20 นาทีด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบ ผลการทดสอบที่ได้ไม่ได้แสดงผลของการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* แต่อย่างใดดังผลที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.9 สำหรับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งได้นำมาอังด้วยหลอดยูวีและไม่ได้อังด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบ ผลของการทดสอบที่ได้ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งทั้งสองให้ผลของการไม่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* เช่นเดิม ผลที่ได้แสดงว่าการอังแสงจากหลอดยูวีภายใต้สภาวะการทดสอบที่อยู่ในสภาวะของสารละลายตามมาตรฐานของ AATCC 100 นั้น การอังด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบไม่มีผลในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ส่วนผลการทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย *E coli* บนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วนำมาทำการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC-100 ก็ไม่แสดงผลของการยับยั้งเชื้อ *E coli* เช่นกัน ซึ่งผลดังกล่าวจะแสดงภาพบางส่วนในส่วนอื่นของผลการทดลองที่ได้ต่อไปในภายหลัง

แสดงผลของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ด้วยวิธีการทดสอบ AATCC 100		
		
ผ่านที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2 -sol ที่ 5 ml อบด้วยความร้อนที่ 100°C	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2 -sol ที่ 20 ml อบด้วยความร้อนที่ 100°C
		
ผ่านที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2 -sol ที่ 5 ml อบด้วยรังสียูวี	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO_2 -sol ที่ 20 ml อบด้วยรังสียูวี

รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่อุณหภูมิการเพาะเชื้อที่ 37°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมที่อบด้วยรังสียูวีหรือที่อบด้วยความร้อน

เนื่องจากผลการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC -100 ได้ผลเชิงลบ จึงไม่ได้ทำการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทุกความเข้มข้นของ TTIP ที่ศึกษา แต่จะดึงมาเพียงความเข้มข้นของ TTIP ที่ 20 มิลลิกรัม มาทดสอบเพื่อหาแนวทางของผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากรูปที่ 4.10 นำเอาผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 20 มิลลิกรัมแล้วนำมาทดสอบเชื้อ *Staphylococcus aureus* ตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC-147 ก็พบว่าไม่มีผลการต้านทานเชื้อ *Staphylococcus aureus* เกิดขึ้น (การทดสอบเชื่อดังกล่าวได้นำผ้ามาอังด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบ)



รูปที่ 4.10 แสดงผลของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ตามมาตรฐาน AATCC-147

ส่วนการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *E coli* ตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC-147 ของผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่อบด้วย 100°C (ได้ทำการอังด้วยหลอดยูวีก่อนการทดสอบ) ผลการทดสอบที่ได้ไม่ได้แสดงขอบเขตของระยะปลอดเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า clear zone เกิดขึ้น แต่กลับให้ผลของการยับยั้งเชื้อ *E coli* เกิดขึ้นภายใต้ชั้นผ้าทดสอบทั้งของผ่านที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลซึ่งผลที่ได้นี้จะแสดงเปรียบเทียบกันในภายหลังอีกที จากผลที่ได้แสดงว่าการอังด้วยหลอดยูวีมีผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E coli* แต่กลับไม่มีผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ของการทำการทดสอบตามมาตรฐานของ AATCC-147 จากผลที่ได้ดังกล่าวจึงได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองอีกครั้งว่าการอังผ้าด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC-147 มีผลทำให้เกิดการยับยั้งเชื้อ *E coli* ได้หรือไม่ จากผลในรูปที่ 4.11 ได้นำมาผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งมาสองชิ้น โดยนำผ้าชิ้นแรกมาทำการทดสอบเลยโดยไม่มีการอังด้วยหลอดยูวี ส่วนผ้าชิ้นที่สองทำการอังด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบ จากรูปที่ 4.11 อาจจะมองแล้วไม่เห็นความแตกต่าง แต่ผลสรุปโดยผู้ทำการทดสอบได้สรุปเอาไว้ดังนี้ ผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งและไม่ได้อังด้วยหลอดยูวีเมื่อเปิดชั้นผ้าทดสอบขึ้นมาจะมองเห็นเชื้อแบคทีเรียเป็นเส้นต่อเนื่องอย่างชัดเจนแสดงว่าไม่มีผลการการยับยั้งเชื้อ *E coli* เกิดขึ้น แต่สำหรับผ้าชิ้นที่สองที่เป็นผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งเช่นกันแต่ได้ทำการอังด้วยหลอดยูวี เมื่อเปิดชั้นผ้าทดสอบขึ้นมาดูไม่เห็นเชื้อแบคทีเรียเป็นเส้นเหมือนที่เห็นบนผ้าทดสอบชิ้นแรก จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่เมื่อนำมาอังด้วยหลอดยูวีมีผลทำให้เกิดการยับยั้งเชื้อ *E coli* ได้ แต่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E coli* ยังไม่ถึงขั้นที่แสดงขอบเขตหรือระยะที่เรียกว่า clear zone เกิดขึ้น



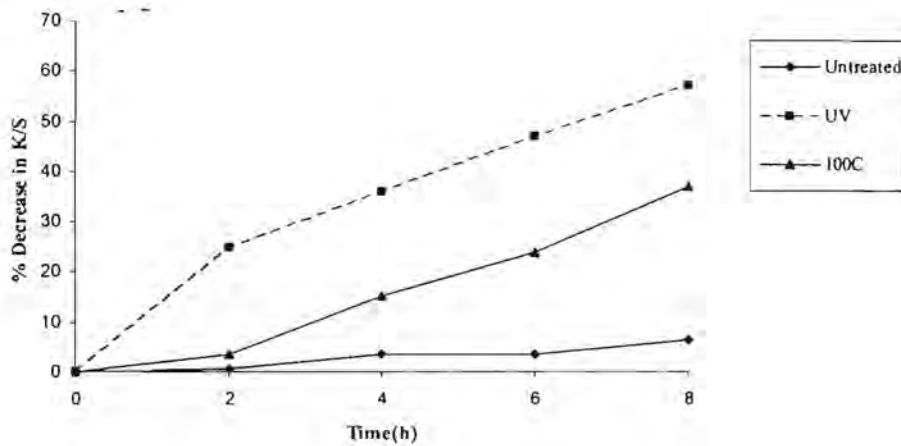
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการต้านทานเชื้อ *E. coli* ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและที่ไม่ย้อมและที่ย้อมด้วยหลอดยิวีก่อนทำการทดสอบตามมาตรฐาน AATCC-147

จากผลของสมบัติการสลายตัวของสีและการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรือ อบด้วยความร้อนที่ 100°C สรุปได้ว่าผลึกไททานเนียมหรือขนาดอนุภาคของไททานเนียมที่เกิดขึ้นในสภาวะหนึ่งจะแสดงความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของแต่ละด้านได้ไม่เหมือนกัน ซึ่งได้ดังนี้ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ในสภาวะดังกล่าว แสดงการสลายตัวของสีรีแอคทีฟ CIBACRON RED LA-B h-c ได้ดี แต่ในทางกลับกันกับไม่สามารถแสดงสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองของการทดสอบตามมาตรฐานของ AATCC 100 และ AATCC 147 ได้

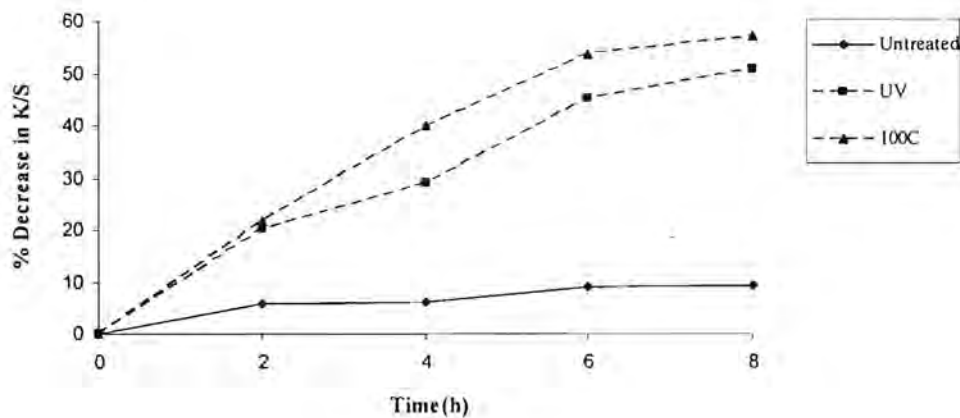
4.5 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟ

ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์กับผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมของสารตั้งต้น TTIP แล้วอบด้วยยูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรือ อบด้วยความร้อนที่ 100°C มาทำการเปื้อนคราบกาแฟ ผลของการดูดซับกาแฟจะพบว่าผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์จะดูดซับกาแฟได้น้อยกว่าของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะผ้าที่ได้ทำการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติของการเป็น hydrophobic มากกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง จึงมีผลทำให้การดูดซับคราบกาแฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ดูดซับคราบกาแฟได้เข้มมากกว่า แต่เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งและไม่ผ่านการตกแต่งมาฉายด้วยหลอดยิวี และหลอด D65 แล้วทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของค่า K/S ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร พบว่า เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งมีการลดลงของ K/S น้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ส่วนของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ 20% TTIP ที่อบด้วยรังสียูวีหรือด้วยความร้อนที่ 100°C แสดงความชัดเจนของคราบกาแฟได้ดีกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง การชัดเจนของคราบกาแฟบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์

ที่ออบด้วยรังสียูวีมีความชัดเจนของคราบกาแฟเร็วกว่าของผ้าที่ออบด้วยความร้อนที่ 100°C เมื่อฉายแสงภายใต้หลอด D65 ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.12 ในทางกลับกัน เมื่อนำมาฉายแสงด้วยหลอดยูวี ผ้าที่ผ่านการตกแต่งและออบด้วยความร้อนที่ 100°C จะชัดเจนได้เร็วกว่าของผ้าที่ออบด้วยรังสียูวีโดยดูจากค่าของ K/S ที่ลดลงสามารถลดลงได้เร็วกว่าดังที่แสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและของผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่ออบด้วยรังสียูวีหรือออบด้วยความร้อนที่ 100°C ที่ทำการฉายแสงภายใต้หลอด D65



รูปที่ 4.13 ผลของเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า K/S ของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและของผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่ออบด้วยรังสียูวีหรือออบด้วยความร้อนที่ 100°C ที่ทำการฉายแสงภายใต้หลอดยูวี

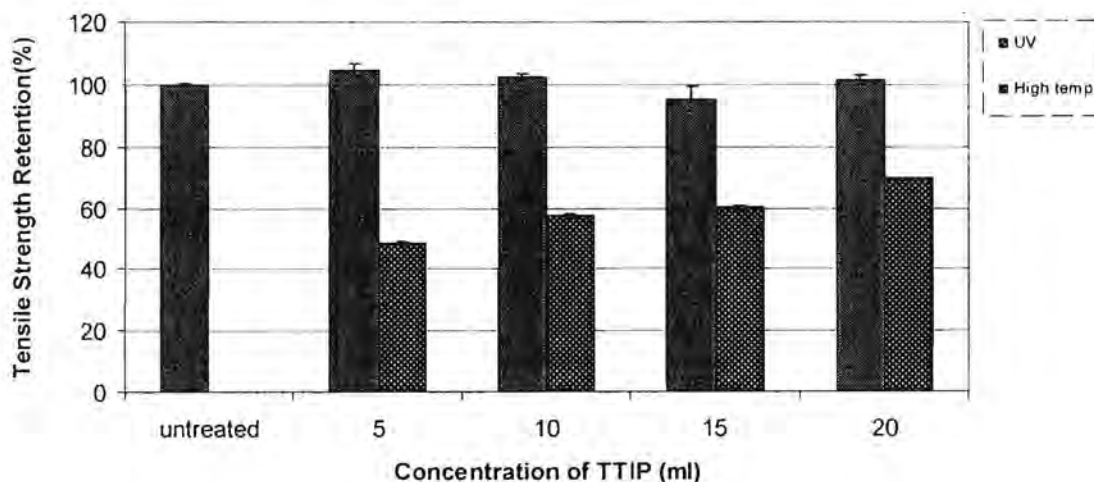
4.6 สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล

สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลได้ทำการศึกษาทั้งหมด 3 ด้านด้วยกัน คือ อองศาการคืนตัวต่อการยับ ค่าดัชนีความเหลือง และความต้านแรงดึงที่คงเหลือ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพทั้งสามของผ้าที่อบด้วยความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบและอบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที ผลองศาการคืนตัวต่อการยับและค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันแล้วอบความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกันได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.8 ผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่าการอบด้วยยูวีมีผลต่อความเหลืองที่เกิดขึ้นบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลมากกว่าของผ้าที่อบด้วยความร้อน แนวโน้มความเหลืองที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มความเข้มข้นของ TTIP ส่วนองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนให้ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับโดยภาพรวมที่ต่ำกว่าของผ้าที่อบด้วยรังสียูวี แต่อย่างไรก็ตาม ค่าองศาการคืนตัวต่อการยับไม่ได้ดีไปกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง แต่ในทางตรงกันข้ามค่าองศาการคืนตัวต่อการยับที่ได้กับแยกลงไปอีก ถ้ามาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของผ้าที่เกิดการยับนั้นเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนที่มีอยู่มากภายในโครงสร้างผ้าฝ้าย ซึ่งถ้าพันธะไฮโดรเจนยังมีมาก การยับก็เกิดได้ง่ายและค่าองศาการคืนตัวต่อการยับก็จะน้อยลง ซึ่งเมื่อมีการใช้ปริมาณของ TTIP ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าขององศาการคืนตัวต่อการยับยับยิ่งน้อยลง นั่นก็อาจจะหมายความว่าพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นมากซึ่งพันธะดังกล่าวอาจจะมาจาก $\text{Ti}(\text{OH})_4$ ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าก็เป็นไปได้ และในทางกลับกันถ้ามีพันธะไฮโดรเจนมากก็ควรที่จะมีแนวโน้มที่จะทำให้ผ้ามีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้ก็สอดคล้องกับผลของความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงผลของความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นต่างๆที่ได้อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบ หรือ อบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที

ส่วนผลการทดลองของความต้านแรงดึงที่คงเหลือที่แสดงในรูปที่ 4.14 การอบด้วยรังสียูวีมีผลต่อการทำลายความแข็งแรงของผ้าน้อย ทั้งนี้เพราะค่าความต้านแรงดึงที่คงเหลือยังคงใกล้เคียงกับ 100% ยกเว้นที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 15% มีความต้านแรงดึงที่คงเหลืออยู่ที่ 95% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบด้วยความร้อนนั้น จะพบว่า การอบด้วยความร้อนที่ 100°C มีผลทางเชิงลบต่อความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าค่อนข้างมาก โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5% ซึ่งจะมี ความต้านแรงดึงที่คงเหลือน้อยที่สุดและจะดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ TTIP เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้จะเป็นเพราะมีปริมาณพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าและหมู่ไฮดรอกซิลของไททาเนียที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ผลองศาการคืนตัวต่อการยับและค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันแล้วอบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที

ปริมาตรของ TTIP (ml)	องศาการคืนตัวต่อการยับ ($^\circ$)		ดัชนีความเหลือง	
	อบด้วยยูวี	อบด้วยความร้อน	อบด้วยยูวี	อบด้วยความร้อน
0 (ผ้าที่ไม่ได้ตกแต่ง)	145	145	4.52	4.52
5	121	137	9.01	7.69
10	126	134	9.07	7.73
15	119	146	8.70	7.91
20	116	120	9.68	9.16

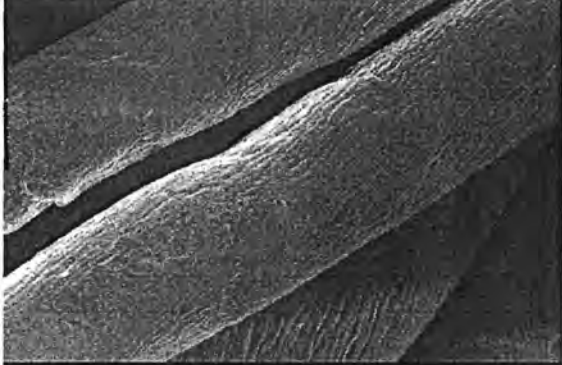






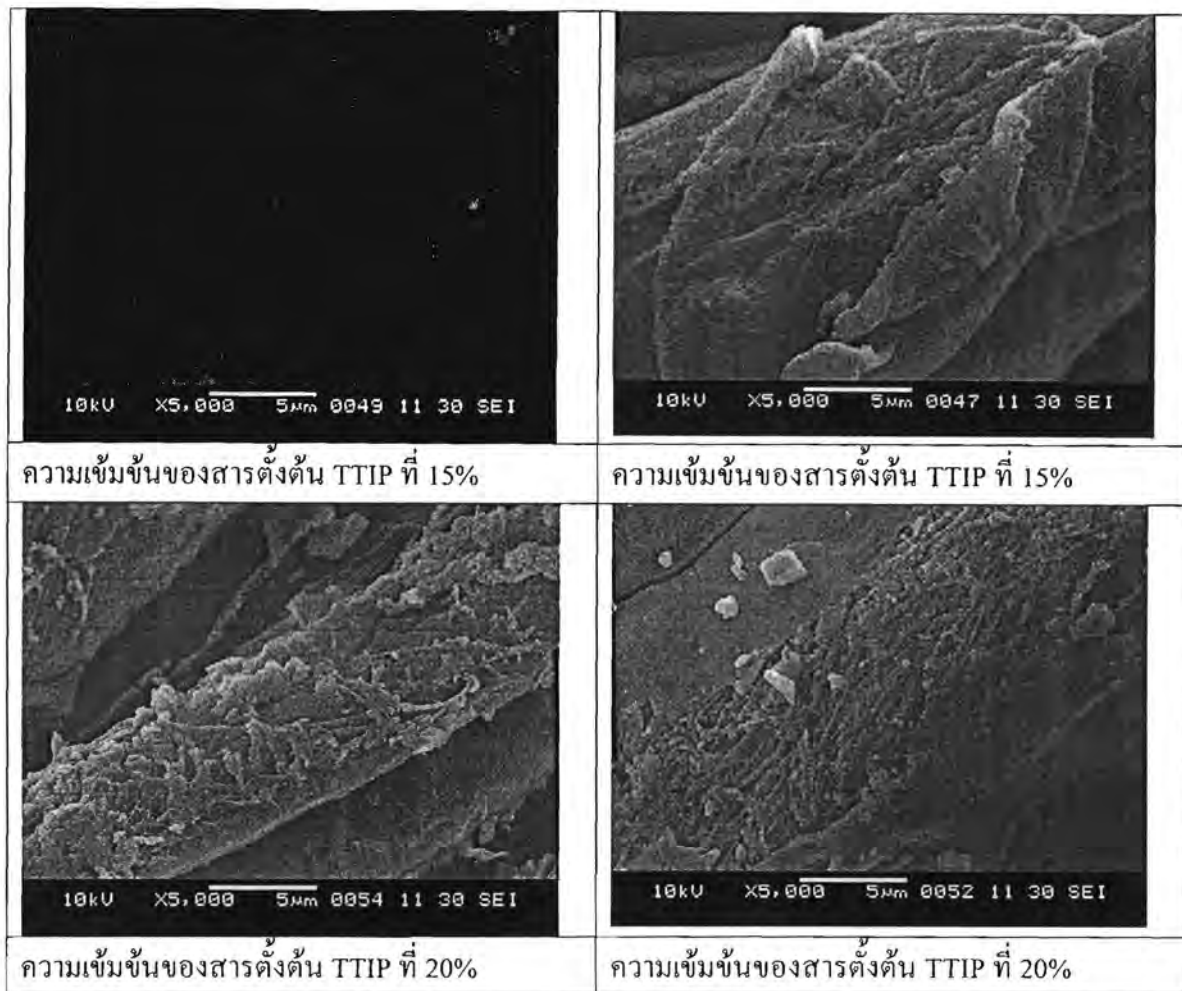
รูปที่ 4.14 ความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ได้อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที

4.7 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

นำผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันและที่อบด้วยความร้อนที่แตกต่างกันมาศึกษาสัณฐานวิทยาของผ้าว่าจะมีความแตกต่างกันอย่างไรซึ่งผลได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.15 จากผลของการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่า ปริมาณผลึกของไททานเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันไม่ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณผลึกของไททานเนียมที่แตกต่างกันมากนักทั้ง

ในระบบที่อบด้วยรังสียูวีและที่อบด้วยความร้อนที่ 100°C แต่สิ่งที่สังเกตได้ คือ การปรักแตกของเส้นใย จะพบว่าการอบด้วยความร้อนที่ 100°C แสดงการปรักแตกของเส้นใยที่ดูจะมากกว่าของระบบการอบความร้อนด้วยรังสียูวี ซึ่งในส่วนของนี้อาจจะสอดคล้องกับผลของความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วอบด้วยความร้อนที่ 100°C มีความแข็งแรงที่ด้อยกว่าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วแต่อบด้วยรังสียูวี

<p>ลักษณะเส้นใยของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ซึ่งเส้นใยมีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบ ไม่มีอนุภาคใดๆ เกาะติดอยู่บนเส้นใย</p>	 <p>10kV X5,000 5µm 0037 11 30 SEI</p>
<p>ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย TTIP ที่ทำการอบด้วยยูวี</p>	<p>ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย TTIP ที่ทำการอบด้วยความร้อน</p>
 <p>10kV X5,000 5µm 0041 11 30 SEI</p>	 <p>10kV X5,000 5µm 0039 11 30 SEI</p>
<p>ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 5%</p>	<p>ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 5%</p>
 <p>10kV X5,000 5µm 0045 11 30 SEI</p>	 <p>10kV X5,000 5µm 0043 11 30 SEI</p>
<p>ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 10%</p>	<p>ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 10%</p>



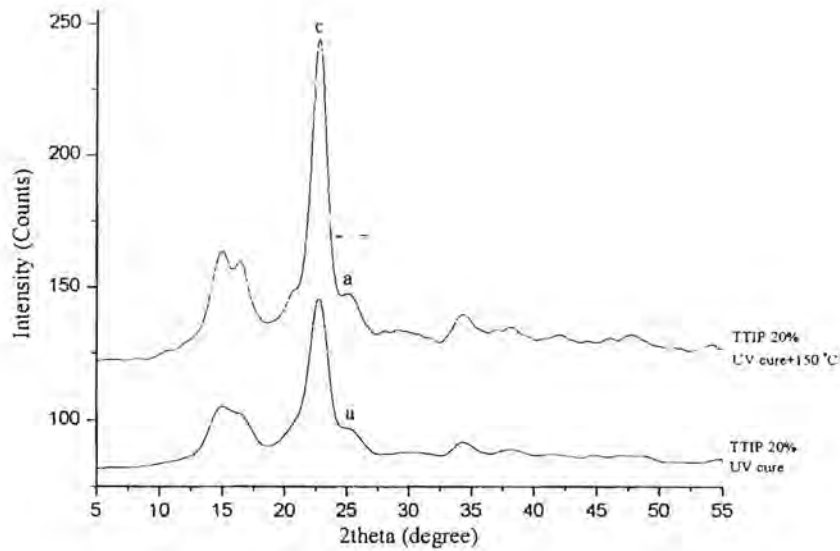
รูปที่ 4.15 แสดงสัณฐานวิทยาของผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งและผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่แตกต่างกันและที่อบด้วยความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกันที่กำลังขยาย 5000 เท่า

เนื่องจากผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ในช่วง 5-20% ปริมาตร/ปริมาตร แล้วอบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C นั้น แสดงความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอคทีฟได้ค่อนข้างดี แต่สมบัติทางด้านอื่นของการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองเช่นด้านการขจัดคราบรอยเปื้อนกาแฟ และความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียก็ไม่ดีนัก จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเอาผ้าที่ตกแต่งด้วยสารตั้งต้น TTIP ที่ความเข้มข้น 20 % ปริมาตร/ปริมาตร ที่ได้อบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C มาทำการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาทีอีกครั้ง เพื่อหวังว่าจะได้ผลึกของไททานเนียมที่ใหญ่ขึ้นและอาจจะแสดงสมบัติทางด้านการขจัดคราบรอยเปื้อนกาแฟและการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีขึ้นบ้าง เมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแต่ไม่ได้ทำการอบที่ 150°C อีกครั้ง ซึ่งผลของเฟสไททานเนียม สมบัติการทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของผลึก

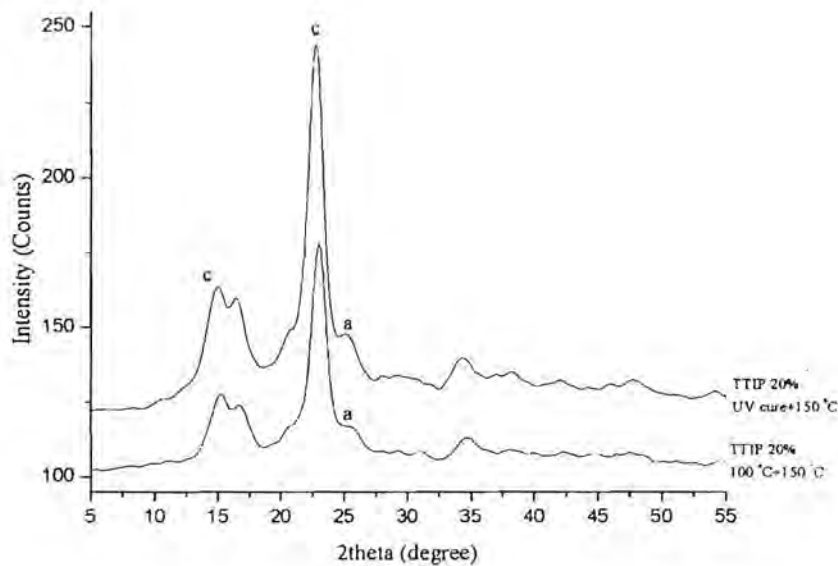
ไททานเนียมบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ได้ทำการอบผนึกอีกครั้งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C มีผลของการทดสอบดังต่อไปนี้

4.8 ผลการวิเคราะห์เฟสของไททานเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลแล้วและทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 20% ปริมาตร/ปริมาตร แล้วอบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C นำมาอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะผลึกของไททานเนียมที่อยู่บนผ้าด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์ผลึกของไททานเนียมจากเครื่อง XRD ได้สรุปเอาไว้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของไททานเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ 20% ปริมาตร/ปริมาตรแล้วอบด้วยรังสียูวี กับ โครงสร้างของผลึกของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ความเข้มข้นและสภาวะการอบที่เหมือนกันแต่นำมาอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที จากผลที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.16 ยังคงแสดงพีค 2θ เกิด ณ ตำแหน่งที่ 25.28 ซึ่งเป็นพีคของผลึกอนาเทส แต่ความชัดเจนของพีคของผ้าที่ได้ผ่านการอบผนึกอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C นั้น พีคจะชัดเจนกว่าเล็กน้อยซึ่งอาจจะบอกเป็นนัยได้ว่าผลึกของไททานเนียมที่อยู่บนผ้าที่ผ่านการอบผนึกอีกครั้งที่อุณหภูมิสูงได้ผลึกที่ใหญ่ขึ้น ส่วนในรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของไททานเนียมบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมโซลที่ 20% ปริมาตร/ปริมาตรแล้วอบด้วยรังสียูวี หรือ อบด้วยความร้อนที่ 100°C และทำการอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C ซึ่งผลที่ได้ในรูปที่ 4.17 สรุปได้ว่า พีค 2θ ที่ตำแหน่ง 25.28 ของผ้าที่ได้ผ่านการอบด้วยรังสียูวีและอบผนึกอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C มีความชัดเจนของพีคที่ดีกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ได้ผ่านการอบด้วยความร้อนที่ 100°C และอบผนึกอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C



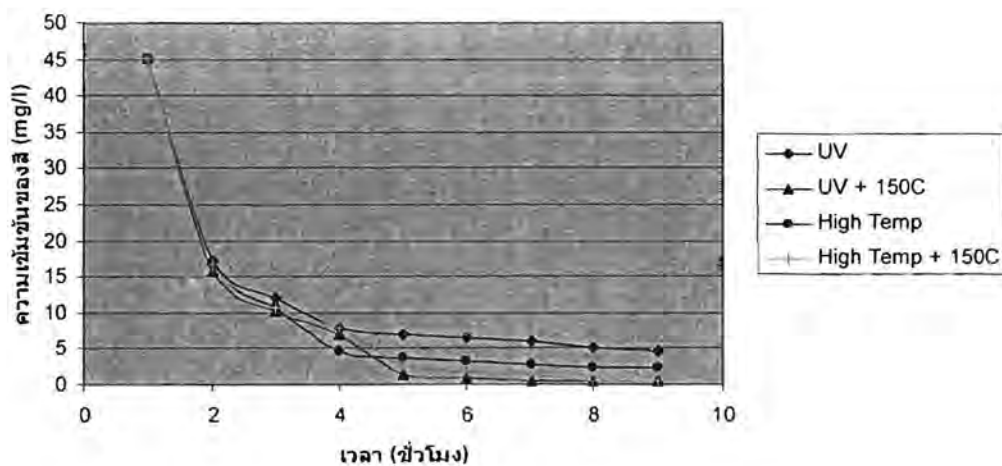
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบผลึกไททานเนียมบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 150°C กับผลึกของไททานเนียมบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้องและอบแห้งอีกครั้งที่ 150°C



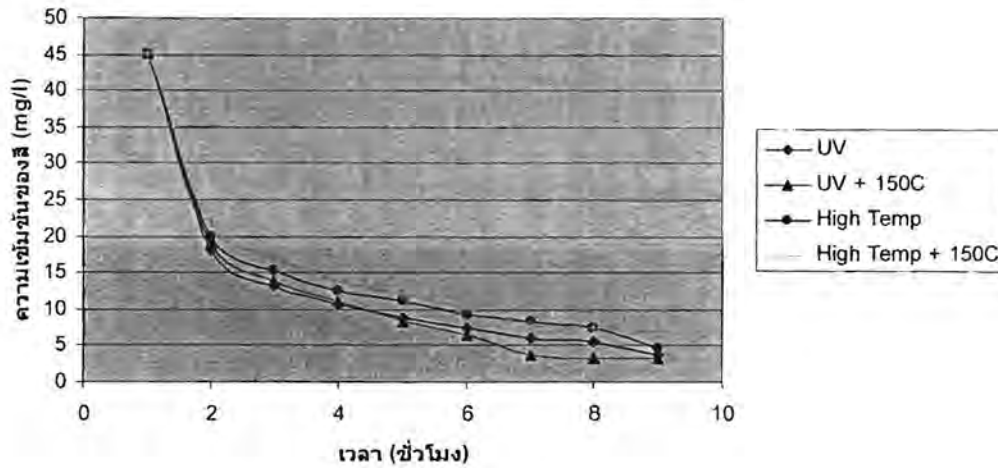
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบผลึกไททานเนียมบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 150°C กับผลึกของไททานเนียมบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้องและอบแห้งอีกครั้งที่ 150°C

4.9 ความสามารถในการสลายตัวของสี CIBACRON RED LA-B h-c ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วและทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 มิลลิลิตรที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 จำนวน 5 รอบ หรือที่อบที่ 100°C เป็นเวลา 5 นาที นำมาอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำผ้าทั้งสองมาทดสอบการสลายตัวของสีรีแอกทีฟอีกครั้ง ซึ่งผลการทดลองการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอดยูวีทั้งของสถานะที่ทำการอบผนึกและไม่ได้ทำการอบผนึกที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.18 ส่วนการสลายตัวของสีรีแอกทีฟภายใต้หลอด D65 ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.19 จะพบว่า การอบผนึกช่วยให้การสลายตัวของสีรีแอกทีฟดีขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในช่วงหลังของการสลายตัว แต่ในช่วงแรกของการสลายตัวนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะความสามารถในการสลายตัวของสีรีแอกทีฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 มิลลิลิตรนั้น มีผลึกของไททาเนียและขนาดของอนุภาคของไททาเนียที่เหมาะสมสำหรับการสลายตัวของสีรีแอกทีฟได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่แล้ว ดังนั้นหลังการอบผนึกซึ่งอาจจะช่วยให้ผลึกของไททาเนียใหญ่ขึ้นแต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อผลของการสลายตัวของสีรีแอกทีฟมากนัก การที่จะเห็นผลทางด้านนี้อย่างชัดเจนควรเลือกผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่ 5 มิลลิลิตร และนำมาอบผนึกที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที และทำการทดสอบการสลายตัวของสีรีแอกทีฟอีกครั้ง ถ้าอัตราการสลายตัวของสีเปลี่ยนแปลงก็อาจจะเป็นเพราะผลของผลึกไททาเนียที่แตกต่างกัน แต่ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็แสดงว่าการสลายตัวของสีไม่ได้ขึ้นอยู่กับผลึกของไททาเนียแต่ขึ้นอยู่กับปริมาณของอนุภาคไททาเนียที่อยู่บนผ้ามากกว่า (ข้อมูลในส่วนนี้จะศึกษาเพิ่มเติมในภายหลังต่อไป)



รูปที่ 4.18 การสลายตัวของสีภายใต้หลอดยูวี ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C











รูปที่ 4.19 การสลายตัวของสปีกซ์ไต้หลอด D65 ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมที่บำบัดด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C

4.10 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที







เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและนำมาอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที มาทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* (*E. Coli*) ที่เป็นแบคทีเรียแกรมลบอีกครั้ง ด้วยวิธีการทดสอบ AATCC 100 ซึ่งจะคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย และด้วยวิธีการทดสอบ AATCC 147 ซึ่งจะรายงานผลของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเป็นระยะขอบเขตของการยับยั้งเชื้อที่เรียกว่า "clear zone"

จากผลการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 100 และ AATCC 147 มีดังต่อไปนี้ ผลการทดสอบที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.20 แสดงผลการต้านทานเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐานของ AATCC 100 จากผลการทดสอบที่ได้ยังคงไม่สามารถแสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองได้แต่อย่างใด แต่สำหรับผลการทดสอบที่ทำตามมาตรฐานของ AATCC 147 พบว่าผลของการต้านทานเชื้อทั้งสองอยู่ในขั้นที่สามารถยับยั้งได้ แต่ยังไม่ได้อยู่ในขั้นที่แสดงขอบเขตของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่า "clear zone" ดังแสดงเอาไว้ในรูป 4.21 จากรูปที่ 4.21 จะไม่เห็นระยะ clear zone เกิดขึ้น แต่มีผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ในระดับหนึ่ง ผลที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.21 อาจจะเห็นผลไม่ชัดเจนนัก จึงสรุปเป็นผลการรายงานการทดสอบที่ได้มาจากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการที่ทำการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองตามตารางที่ 4.9

ณ เวลา ที่ 0 ชั่วโมง และนำมา เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมง	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วย ไททาเนียโซล		

แสดงผลการไม่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ด้วยวิธีการทดสอบ AATCC 100		
		
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO ₂ -sol ที่ 20 ml อบรังสียูวี + อบผนึกที่ 150°C	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO ₂ -sol ที่ 20 ml อบที่ 100°C + อบผนึกที่ 150°C
แสดงผลการไม่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E. Coli</i> ด้วยวิธีการทดสอบ AATCC 100		
		
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO ₂ -sol ที่ 20 ml อบรังสียูวี + อบผนึกที่ 150°C	ผ้าที่ตกแต่งด้วย TiO ₂ -sol ที่ 20 ml อบที่ 100°C + อบผนึกที่ 150°C

รูปที่ 4.20 แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองตามมาตรฐานของ AATCC-100

ผลการทดสอบการยับยั้งของเชื้อ <i>Staphylococcus aureus</i> ด้วยวิธีการทดสอบของ AATCC-147		
		
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่อบด้วยยูวีและอบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่อบด้วยความร้อนที่ 100°C และอบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที
ผลการทดสอบการยับยั้งของเชื้อ <i>E coli</i> ด้วยวิธีการทดสอบของ AATCC-147		
		
ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและไม่ได้อังด้วยหลอดยูวี	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่อบด้วยยูวีและอบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่อบด้วยความร้อนที่ 100°C และอบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

รูปที่ 4.21 แสดงผลของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งสองตามมาตรฐานของ AATCC-147

จากผลที่รายงานในตารางที่ 4.9 สรุปได้ว่า การทดสอบด้วยเชื้อ *Staphylococcus aureus* พบว่าผ้าที่ทำการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 มิลลิลิตรแล้วนำมาอบผนึกเพิ่มอีกครั้งที่ 150°C แสดงผลของการยับยั้งเชื้อดังกล่าวได้บ้าง แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพที่เพียงพอที่จะแสดงการยับยั้งเชื้อดังกล่าวถึงขั้นที่มีระยะ clear zone เกิดขึ้น สำหรับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อังด้วยหลอดยูวีด้านละ 20 นาทีก่อนทำการทดสอบพบว่า ผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งดังกล่าวก็ยังไม่แสดงผลของการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* เกิดขึ้นแต่อย่างไร สำหรับเชื้อ *Escherichia coli* พบว่าผ้าที่ทำการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 มิลลิลิตรแล้วนำมาอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C แสดงผลของการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้บ้างแต่ยังไม่มีประสิทธิภาพที่เพียงพอที่จะแสดงการยับยั้งเชื้อดังกล่าวถึงขั้นที่มีระยะ clear zone เกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C แสดงผลของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้เช่นเดียวกับกับเชื้อ

Staphylococcus aureus สำหรับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและนำมาอังด้วยหลอดยูวีด้านละ 20 นาทีก่อนทำการทดสอบ พบว่า ผ้าดังกล่าวก็ยังแสดงผลของการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งส่วนนี้จะแตกต่างกับการทดสอบของเชื้อ *Staphylococcus aureus* นี้ อาจจะสรุปได้ว่าการอังด้วยหลอดยูวีก่อนทำการทดสอบมีผลในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้แต่ไม่มีผลสำหรับ *Staphylococcus aureus* ตามมาตรฐานการทดสอบของ AATCC 147 แต่ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลและไม่ได้มีการอังหลอดยูวีด้านละ 20 นาทีก่อนการทดสอบ จะไม่พบความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้

ตารางที่ 4.9 ผลรายงานการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ตามมาตรฐานการทดสอบของ AATCC-147

Test Microorganisms	Sample	T (mm.)	W (mm.)
<i>Staphylococcus aureus</i>	ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	NZ/NI	0
	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 ml ที่ อบด้วยความร้อนที่ 100°C + อบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C	NZ/I	0
	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 ml ที่ อบด้วยรังสียูวี + อบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C	NZ/I	0
<i>Escherichia coli</i>	ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	NZ/I	0
	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 ml ที่ อบด้วยความร้อนที่ 100°C + อบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C	NZ/I	0
	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 ml ที่ อบด้วยรังสียูวี + อบด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C	NZ/I	0

NZ = No clear zone

NI = No inhibition of growth under the sample

I = Inhibition of growth under the sample

The following formula was used to calculate result

$W = (T-D)/2$ where:

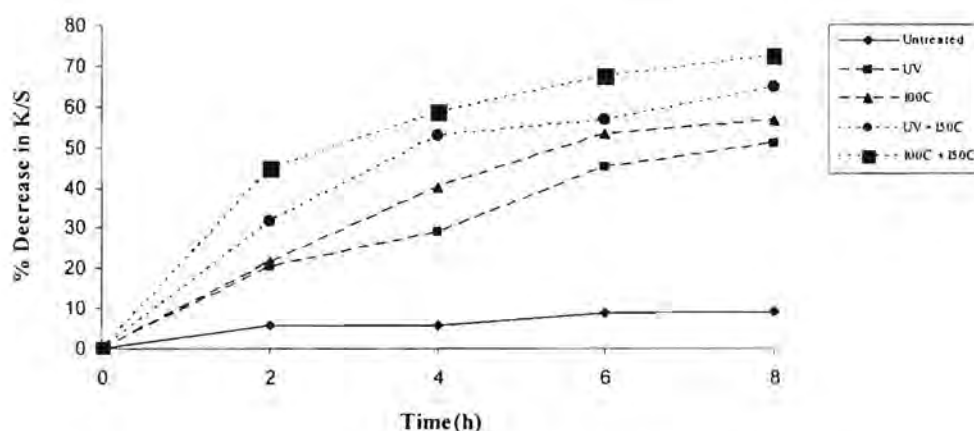
W = width of clear zone of inhibition in mm

T = total diameter of test specimen and clear zone in mm

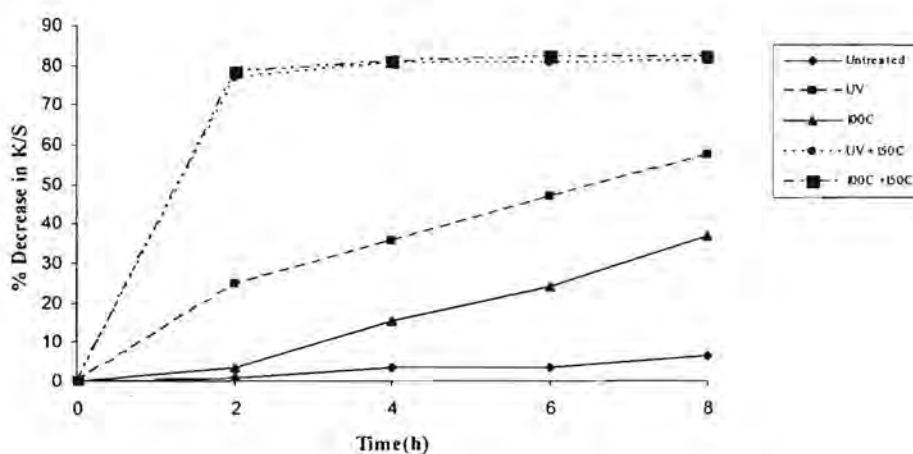
D = diameter of the test specimen in mm

4.11 ความสามารถในการขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงความชัดเจนของคราบกาแฟที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 มิลลิลิตรที่ทำการอบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนเปรียบเทียบกับความชัดเจนของคราบการแพลงของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไฮดรอกไซด์ทั้งสองที่นำมาอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที ภายใต้หลอดยูวีและหลอด D 65 ตามลำดับ พบว่าการอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งมีส่วนช่วยทำให้การขจัดคราบกาแฟที่เป็นอนติบนผ้าออกได้ดีขึ้นทั้งภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65



รูปที่ 4.22 การสลายตัวของคราบกาแฟบนผ้าภายใต้หลอดยูวีที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C



รูปที่ 4.23 การสลายตัวของคราบกาแฟบนผ้าภายใต้หลอด D65 ที่ตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิลิตรทั้งที่อบด้วยรังสียูวี หรืออบด้วยความร้อน แล้วทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C

4.12 สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ทำการอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

ผลของสมบัติทางกายภาพที่ได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 4.10 การอบผนึกด้วยความร้อนอีกครั้งมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลมีค่าความเหลืองที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงจะสังเกตความเหลืองบนผ้าได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ส่วนค่าองศาการคืนตัวต่อการยับตื้นเล็กน้อย แต่ก็ยังไม่ได้ช่วยทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้นบนผ้าฝ้ายได้ เพราะค่าองศาการคืนตัวต่อการยับของผ้าก็ยังคงต่ำกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งอะไรเลย (145°)

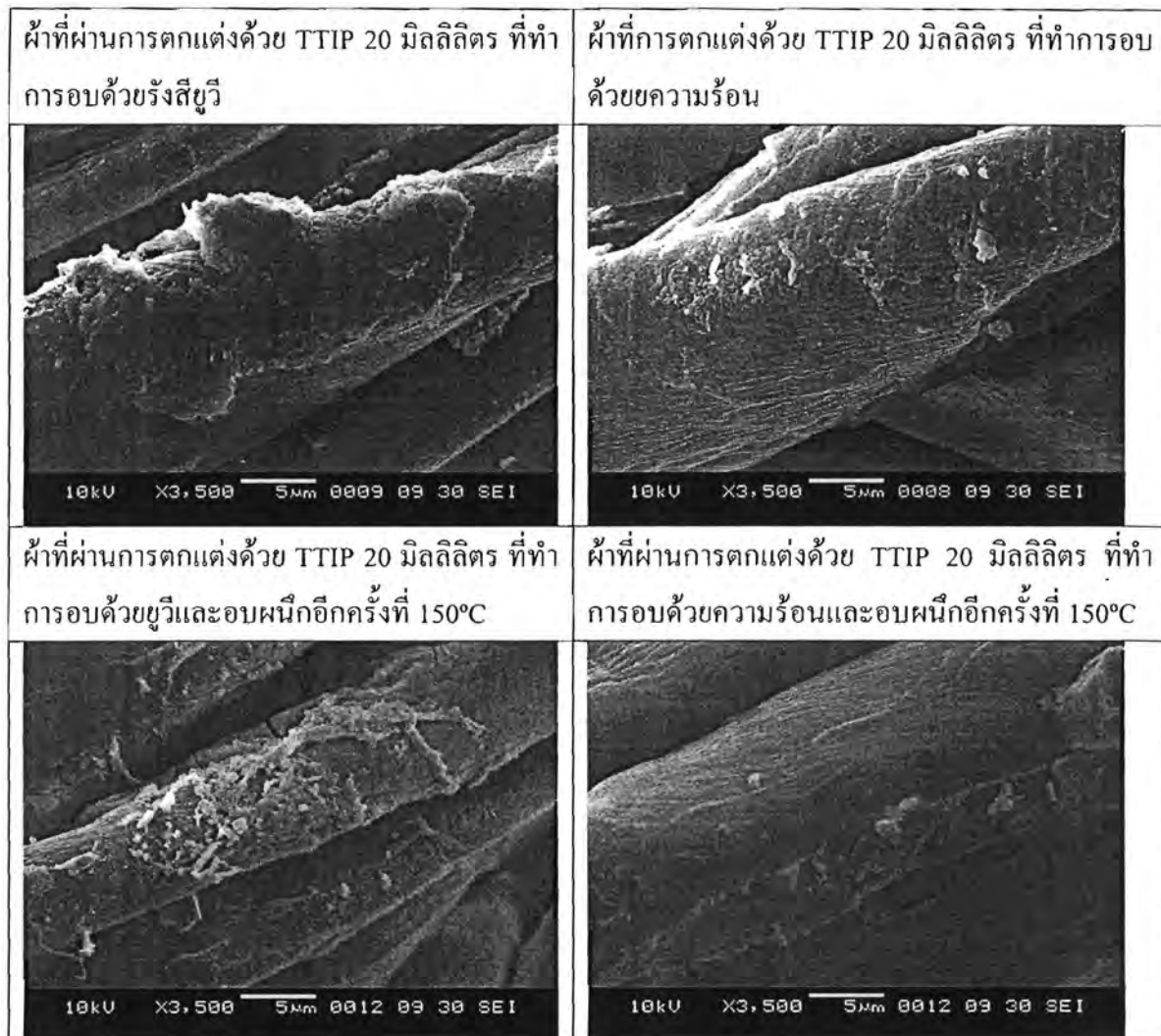
ตารางที่ 4.10 ผลองศาการคืนตัวต่อการยับและค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 20 มิลลิลิตรที่อบด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm^2 เป็นจำนวน 5 รอบหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำเอามาอบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

สมบัติทางกายภาพของผ้า	ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นของ TTIP ที่ 20 มิลลิลิตร แล้วอบความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน			
	อบด้วยรังสียูวี	อบด้วยรังสียูวีและอบผนึกที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาทีอีกครั้ง	อบด้วยความร้อน	อบด้วยความร้อนและอบผนึกที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาทีอีกครั้ง
องศาการคืนตัวต่อการยับ	116	135	120	133
ดัชนีความเหลือง	9.68	16.79	9.16	12.53

4.13 ลักษณะฐานานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที

นำผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น 20 มิลลิลิตรที่ได้อบผนึกอีกครั้งที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดเพื่อดูฐานานวิทยาของผ้าว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งได้สรุปไว้ในรูปที่ 4.24 จากผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดไม่สามารถที่จะบอกความแตกต่างของผลึกไททาเนียที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน แต่การอบด้วยรังสียูวีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยความเข้มข้นของ TTIP ที่ 20 มิลลิลิตร จะมีก้อนของผลึก

ที่อยู่บนเส้นใยที่มากกว่าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่ความเข้มข้นเดียวกันแต่อบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 5 นาที



รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของผ้าที่ตกแต่งด้วยไททานีซ โคลที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น TTIP ที่ 20 มิลลิลิตร แล้วอบด้วยยูวีหรืออบด้วยความร้อนและอบผนังอีกครั้งด้วยความร้อนที่ 150°C เป็นเวลา 3 นาที ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง
(Conclusions)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าฝ้ายที่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลจากการเตรียมของสารตั้งต้นของ TTIP ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันในช่วงระหว่าง 5-20% หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายมาจุ่มในไททาเนียโซลที่เตรียมขึ้นแล้วทำการอบผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยความร้อน 2 ระบบ คือระบบการอบด้วยความร้อนด้วยรังสียูวีที่พลังงาน 289 mJ/cm² จำนวน 5 รอบ และระบบการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่อบด้วยความร้อนในวิธีที่แตกต่างกันไปศึกษาการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้า ซึ่งจะทำการศึกษา 3 ด้าน คือ การสลายตัวของสิริแอกทีฟ การขจัดคราบกาแฟที่เปื้อน และการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า

สำหรับการสลายตัวของสิริแอกทีฟ ผ้าที่ทำการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ TTIP แล้วอบด้วยความร้อนทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพทำให้สิริแอกทีฟสลายตัวได้ และการสลายตัวของสิริแอกทีฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยความเข้มข้นของ TTIP ที่ 15% หรือที่ 20% จะมีการสลายตัวของสิริที่ดีกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ตกแต่งด้วยความเข้มข้นของ TTIP ที่ 5% หรือที่ 10% ซึ่งแสดงการสลายตัวของสิริได้ค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะผ้าที่ตกแต่งด้วยสารตั้งต้น TTIP ที่ 5% การสลายตัวของสิริแอกทีฟเกิดขึ้นภายใต้หลอดยูวีและหลอด D65 ส่วนการอบด้วยความร้อนทั้ง 2 ระบบที่ให้กับผ้าที่ผ่านการตกแต่งแสดงการสลายตัวของสิริแอกทีฟได้เช่นกัน

สำหรับการขจัดคราบรอยกาแฟที่เปื้อนบนผ้าฝ้าย จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งจะดูดซับกาแฟได้ในปริมาณที่น้อยกว่าของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP ที่ 20% ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วจะมีสมบัติของการไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้สามารถดูดซับกาแฟได้ดีกว่าของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งที่มีสมบัติของการชอบน้ำมากกว่า เมื่อนำผ้าทั้งสองที่ทำเปื้อนกาแฟมาฉายแสงด้วยหลอดยูวีและหลอด D65 พบว่า อัตราการซีดจางของคราบกาแฟซึ่งดูจากค่า K/S ที่ลดลงของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งมีความซีดจางของกาแฟช้ามากในช่วงระยะเวลา 8 ชั่วโมงที่ทำการศึกษา แต่ในทางตรงกันข้าม ผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ความเข้มข้น TTIP ที่ 20% ที่อบด้วยความร้อนทั้ง 2 ระบบ สามารถกำจัดคราบกาแฟได้ประมาณ 50% ในช่วงระยะเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับขจัดคราบกาแฟของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสามารถกำจัดคราบกาแฟได้ต่ำกว่า 10%

สำหรับการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ได้ทำการศึกษา การต้านทานเชื้อของ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* และยังได้ทำการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐานของ AATCC-100 และ AATCC-147 จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ตามมาตรฐานการทดสอบของ

AATCC-100 ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วอบด้วยความร้อนที่แตกต่างกัน ทั้ง 2 ระบบ ไม่แสดงผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองแต่อย่างใด แต่ถ้าทำการทดสอบตามมาตรฐานของ AATCC-147 พบว่าสำหรับการทดสอบของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ไม่แสดงผลของการยับยั้งแต่อย่างใดทั้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งและไม่ผ่านตกแต่ง แต่สำหรับเชื้อ *Escherichia coli* นั้นพบว่าแสดงผลของการยับยั้งเชื้อได้แต่ยังไม่ถึงขั้นที่แสดงขอบเขตของการยับยั้งทั้งของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและผ้าที่ผ่านการตกแต่งซึ่งในการทดสอบได้มีการอังด้วยหลอดยูวีนผ้าก่อนทำการทดสอบ จากผลของการอังยูวียังสรุปได้ว่าการอังยูวียังมีผลในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อของ *Staphylococcus aureus*

สำหรับสมบัติทางกายภาพของผ้า พบว่า ผ้าที่ทำการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลจะแสดงดัชนีความเหลืองบนผ้ามากกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และดัชนีความเหลืองบนผ้าจะมากขึ้นถ้าใช้ความเข้มข้นของ TTIP ที่เปอร์เซ็นต์สูงในการเตรียมไททาเนียโซลที่ใช้ตกแต่งผ้า ผ้าที่อบด้วยรังสียูวีมีผลต่อความเหลืองของผ้าที่มากกว่าของผ้าที่อบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที ส่วนความต้านแรงดึงที่คงเหลือของผ้าที่อบด้วยรังสียูวีมีความต้านแรงดึงที่คงเหลือใกล้เคียงกับของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง แต่สำหรับผ้าที่ผ่านการอบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที ความต้านแรงดึงที่คงเหลือจะน้อยลง และจะน้อยลงมากที่สุดสำหรับผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ 5% ของ TTIP ส่วนองศาการคืนตัวต่อการยับยั้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งไม่คืนกลับและน้อยกว่าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง

เนื่องจากสมบัติการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าทางด้านการจัดคราบกาแพที่เปื้อนบนผ้าและการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย TTIP ที่ 20% แล้วอบด้วยรังสียูวีหรืออบด้วยความร้อนที่ 100°C เป็นระยะเวลา 5 นาที ยังให้ผลไม่คืนกลับ จึงได้นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสภาวะดังกล่าวนำมาอบผืนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C เป็นระยะเวลา 3 นาที เพื่อปรับเปลี่ยนผลึกของไททาเนียให้ใหญ่ขึ้นซึ่งอาจจะแสดงผลของการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าให้ดีขึ้นกว่าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งที่ไม่ได้อบผืนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 150°C เป็นระยะเวลา 3 นาที ผลการทดลองในส่วนนี้สรุปได้ว่า การสลายตัวของสีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วนำมาอบผืนอีกครั้งช่วยให้การสลายตัวของสีดีขึ้นบ้างเล็กน้อย ส่วนสมบัติการจัดคราบกาแพที่เปื้อนบนผ้าที่ทำการอบผืนอีกครั้งแสดงการจัดคราบกาแพได้ประมาณ 80% ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของผ้าที่ตกแต่งที่ไม่ได้ผ่านการอบผืนอีกครั้งซึ่งมีความสามารถในการจัดคราบกาแพที่เปื้อนได้เพียง 50%

ส่วนการต้านทานเชื้อแบคทีเรียพบว่า ถ้าทำการทดสอบตามมาตรฐานของ AATCC-100 ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแล้วนำมาอบผืนอีกครั้งก็ยังไม่แสดงผลของการยับยั้งเชื้อทั้งสองที่ทำการทดสอบ แต่สำหรับการทดสอบตามมาตรฐานของ AATCC-147 พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วทำการอบผืนเพิ่มอีกครั้งมีผลในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้ แต่ก็ยังไม่ได้

แสดงผลของการยับยั้งถึงขั้นที่แสดงขอบเขตที่เรียกว่า clear zone ซึ่งก็ยังคงดีกว่าหนึ่งชั้นของผ้าที่ผ่านการตกแต่งแต่ไม่ได้อบผนึกซึ่งไม่ได้แสดงผลของการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* แต่อย่างไร

ส่วนผลของการวิเคราะห์เฟสของไททาเนียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไททาเนียโซล พบว่าจะมีพีคของอนาเทสเกิดขึ้นแต่ความชัดเจนของพีคนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของความเข้มข้นของ TTIP ที่ใช้ในการเตรียมไททาเนียโซลที่นำมาตกแต่งลงบนผ้า ถ้าใช้ความเข้มข้นของ TTIP ที่มากในการเตรียมไททาเนียโซลแล้วนำมาตกแต่งลงบนผ้า แล้วเมื่อนำผ้ามาวิเคราะห์ด้วย XRD จะเห็นพีคของอนาเทสที่ชัดเจนมากขึ้น และเมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งแล้วไปอบผนึกอีกครั้ง พีคของอนาเทสจะเห็นชัดมากขึ้นไปอีกเล็กน้อย

ส่วนผลของสัณฐานวิทยาของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งและที่ผ่านการตกแต่ง เมื่อนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่า ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งจะแสดงผิวที่เรียบไม่มีอนุภาคอะไรเกาะติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้าย แต่สำหรับผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลแสดงอนุภาคของไททาเนียเกาะอยู่บนเส้นใยฝ้ายแต่ไม่สามารถบอกความแตกต่างของปริมาณอนุภาคไททาเนียที่เกาะอยู่บนเส้นใยฝ้ายว่ามากน้อยแตกต่างกันอย่างไรทั้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททาเนียโซลที่ใช้ความเข้มข้นของ TTIP ที่แตกต่างกัน หรือ ที่มีกรอบผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C อีกครั้ง

บทที่ 6
ข้อเสนอแนะ
(Suggestions)

การตกแต่งผ้าด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้ผ้ามีสมบัติกันยับโดยใช้การอบด้วยรังสียูวีไม่สามารถทำได้ในการศึกษาเบื้องต้นด้วยวิธีการทำไฮดรอกไซด์-เจล แต่การศึกษาผลของกระทบของการตกแต่งไททานเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีไฮดรอกไซด์ลงบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA ก็ยังเป็นที่น่าสนใจเพื่อศึกษาดูผลกระทบของไททานเนียมต่อสมบัติกันยับของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับ BTCA

การศึกษาการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยรังสียูวีอาจจะทำเพิ่มเติมได้มากกว่านี้ โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานของรังสียูวีให้หลากหลายมากขึ้นและทำการเปรียบเทียบพลังงานของรังสียูวีที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้าแตกต่างกันอย่างไร

การใช้เทคนิค TEM หรืออื่นๆที่มีประสิทธิภาพ เพื่อศึกษานาโนอนุภาคของไททานเนียมของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไททานเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันและในสภาวะการอบด้วยความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้น่าเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำประกอบเป็นข้อมูลวิเคราะห์ได้ตีมากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

1. Perkins, W.S, *Textile Coloration and Finishing*, Carolina Academic Press, Durham, NC, 1996.
2. Smith, B.F., and Block, I., *Textiles in perspective*, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, NJ, 1982.
3. Bajai, P. Finishing of Textile Materials, *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 631-659 (2002).
4. Holme, I. New Deveopments in the Chemical Finishing of Textiles, *Journal of the Textile Institute*, 84, 520-533 (1993).
5. Carr, C.M., *Chemistry of the Textiles Industry*, Blackie Academic & Professional, NY, 1995.
6. Hall, A.J., *Textile Finishing*, American Elsevier Publishing Company INC., NY, 1966.
7. Welch, C.M. Tetracarboxylic Acids as Formaldehyde-free Durable Press Finishing Agents. Part I Catalyst, Additives and Durability studies, *Textile Research Journal*, 58, 480-486 (1988).
8. Welch, C.M. and Andrews, B.A.K. Ester Crosslinks: A Route to High Performance Non-formaldehyde Finishing of Cotton, *Textile Chemist and Colorist*, 21, 13-17 (1989).
9. Welch, C.M. Formaldehyde-free Durable Press Finishes, *Reveiw. Progress Coloration*, 22, 32-41 (1992).
10. Welch, C.M. Formaldehyde-free DP Finishing with Polycarboxylic Acids, *American Dyestuff Reported*, 83, 19-26 (1994).
11. Andrews, B.A.K., Blanchard, E.J., and Reinhardt, R.M. Fabric Whiteness Retention in Durable Press Finishing with Citric acid, *Textile Chemist and Colorist*, 25, 52-54 (1993).
12. Andrews, B.A.K., and Trask-Morrell, B.J. Esterification Crosslinking Finighing of Cotton Fabric with Tricarboxylic Acids, *American Duestuff Reporter*, 80, 26-31 (1991).
13. <http://www.vcharkarn.com/varticle/27809>
14. <http://www.photocatalyst.co.jp/toha/toha.htm>
15. <http://ruby.colorado.edu/smyth/min/tio2.htm>
16. <http://article.kcnbrand.com/technology/3101>
17. <http://www.seasolutionsnano.com/What-is-Photocatalyst.gif>
18. Sol-gel เทคโนโลยี-สังเคราะห์ซิลิกาจากขาน้อย จาก
<http://www.neutron.rmutphysics.com/news>

19. <http://www.llnl.gov/str/May05/Satcher.html>
20. Gupta, K., Jassal, M., and Agrawal, A. Sol-gel derived titanium dioxide finishing of cotton fabric for self cleaning, *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, 33, 443-450 (2008).
21. Abidi, N., Cabrales, L., and Hequet, E. Functionalization of a cotton fabric surface with titania nanosol: Application for self-cleaning and UV-protection properties, *Applied Materials & Interfaces*, 1, 2141-2146 (2009).
22. Huang, K.S., Yang, K.L., Lin, S.J., and Lian, W.T. Antiwrinkle treatment of cotton fabric with a mixed sol of TEOS-TTB/DMDHEU, *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 2559-2564 (2006).
23. Huang, K.S., Hwang, M.C., Chen, J.S., Lin, S.J., and Wang, S.P. Application of mixed gel solution in the anti-wrinkle finishing of cotton fabrics, *Journal of the Textile Institute*, 98, 169-176 (2007).
24. Nazari, A., Montazer, M., Rashidi, A., Yazdashenas, M., and Anary-Abbasinejad, M. Nano TiO₂ photo-catalyst and sodium hypophosphite for cross-linking cotton with polycarboxylic acids under UV and high temperature, *Applied Catalysis A: General*, 371, 10-16 (2009).
25. Paul, R., Bautista, L., Varga, M.D.L., Botet, J.M., Casals, E., Puntès, V., and Marsal, F., Nano-cotton fabrics with high ultraviolet protection, *Textile Research Journal*, 80, 454-462 (2010).
26. 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, 4567-4574 (2006).
27. Qi, K., Chen, X., Liu, Y., Xin, J.H., Mak, C.L., and Daoud, W.A. Facile preparation of anatase/SiO₂ spherical nanocomposites and their application in self-cleaning textiles, *Journal of Materials Chemistry*, 17, 3504-3508 (2007).
28. Schramm, C., Binder, W.H., and Tessadri, R. Durable press finishing of cotton fabric with 1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid and TEOS/GPTMS, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 29, 155-165 (2004).
29. Wu, D., Long, M., Zhou, J., Cai, W., Zhu, X., Chen, C., and Wu, Y. Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics modified by TiO₂ through a facile approach, *Surface & Coatings Technology*, 203, 3728-3733 (2009).

ภาคผนวก

Performance of self-cleaning properties on the cotton fabric surface with TiO₂ nanosol finishing under ultraviolet irradiation and high temperature

Siriwan Kittinaovarat^{1,2} Titiyaporn Sansakda¹ and Suprata Jinawath^{1,2}

¹Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road, Bangkok 10330, Thailand.

²Center for Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials, Chulalongkorn, 254 Phayathai Road, Bangkok 10330, Thailand.

ABSTRACT

In this study, we studied the self-cleaning performance of the cotton fabric surface treated with TiO₂ nanosol and heated under ultraviolet irradiation and under heat in conventional oven. The treated cotton fabric surface heated under UV and at high temperature had good ability to decompose the reactive dye, but not very good on those of decomposition of coffee stain and antibacterial property. Surprisingly, self-cleaning properties on antibacterial property and decomposition of coffee stain got better on the treated cotton fabric surface after re-curing at higher temperature 150°C for 5 min. This would imply that the curing temperature may affect the morphology of TiO₂ particles and enhance the performance of those two self-cleaning properties on the treated cotton fabric surface. XRD patterns of the treated cotton fabric surfaces showed anatase as the major peak of nano TiO₂. The surface morphology of the treated cotton fabric revealed the TiO₂ particles distributed over the fiber surface.

Key words : Self-cleaning, Sol-gel, Ultraviolet irradiation

Corresponding author: Tel: +66 2 218 5551; fax: +66 2 218 5561
E-mail address: ksiriwan@sc.chula.ac.th (S.Kittinaovarat)

TiO₂ nano-particles were compared with those of treated with commercial TiO₂ (Degussa P-25) with acrylic binder. Abidi et al. (3) prepared titania-nanosol from tetrabutyl orthotitanate in ethanol to treat cotton fabric and used hydrothermal treatment on the treated cotton fabric by boiling it in water for 1 h. Qi et al. (4-5) were prepared TiO₂ sol by titanium tetraisopropoxide as precursor under nitric acid at different heating temperature from 25-60° C for 16 h. Wu et al. (6) used tetrabutyl titanate as a precursor in ethanol and treated the cotton fabric with this prepared titania sol, and then heated the treated cotton fabric at 60°C for 5 min and cured 150°C for another 5 min, after that hydrothermal at 70°C for 3 h was done on the treated cotton fabric before the self-cleaning properties were tested on the treated cotton fabric.

For our study, we also investigated the efficiency of self-cleaning performance of the cotton fabric surface treated with TiO₂ nanosol and heated with two different conditions either under ultraviolet irradiation or in conventional oven. TiO₂ nanosol was prepared by sol-gel technique using titanium (IV) isopropoxide (TTIP) as a precursor under acid condition. The unique point of this study which is different from the other studies is to apply ultraviolet irradiation for converting TTIP sol to TiO₂ nano-crystals. Self-cleaning properties including degradation of coffee stain, antibacterial and decomposition of dye were investigated. The scanning electron microscope and X-ray diffractometer were used to observe the morphology and composition of TiO₂ coated cotton fabric surface, respectively.

MATERIALS AND METHODS

Materials: The plain weave 100% cotton fabric was desized, scoured and bleached from the textile factory. The fabric characteristics had the warp density of 65 yarns/cm and weft density of 60 yarns/cm and the fabric weight of 137 g/m². Titanium (IV) isopropoxide (TTIP) used to prepare the sol was purchased from Xenon arc. Nitric acid (70%) and acetic acid (99.7%) were purchased from Labsystem. All chemical reagents were used as received.

Titania-nanosol preparation: Aqueous solution of TTIP was prepared by mixing the TTIP precursor at various concentrations 5-20 % v/v in 5% acetic acid (99.7%) and 0.1 % nitric acid (70%). The mixed solution was heated to 80°C and stirred simultaneously at this temperature for 2.5 h.

Fabric treatment: Cotton fabric was immersed in the mixed solution of titania-nanosol for 10 min and padded through the two-rollers to obtain about 80% wet pick-up. After that the padded cotton fabric was heated either under ultraviolet irradiation (UV) having energy at 289 mJ/cm^2 for 5 cycles or in the oven at a high temperature, 100°C for 5 min. Then the treated cotton fabric was washed with water and dried at 80°C for 5 min before testing. In addition, the effect of re-curing condition at 150°C for 3 min on the 20% TTIP treated cotton fabric were also studied to observe the impact on the efficiency of self-cleaning properties on re-curing treatment condition.

X-Ray Diffraction (XRD): The crystallinity of the titania formed on the treated cotton fabric was studied by angle X-ray diffraction (D8 Advance Bruker AXS) with scan mode operating at 40 kV and 40 mA and diffraction angle (2θ) between $5\text{-}55^\circ$.

Scanning Electron Microscope: The morphology of titania on the treated cotton fabric was investigated using scanning electron microscopy.

Dye decomposition: Dye decomposition experiment was assessed by analyzing the decrease in concentration of CIBACRON Red LS-B h-c during exposure to either UV lamp or Daylight 65 lamp.

Coffee stain removal efficiency: The tested samples were immersed in the coffee solution at the coffee concentration of 10 g/l for 1 min. Then the coffee stained samples were dried at ambient condition for 2 h. The coffee stained cotton fabrics were irradiated under UV lamp or under daylight 65 and taken to measure K/S at 400 nm at 2 h interval until 8 h. Percent of decreasing K/S were calculated and reported as the coffee stain removal efficiency.

Antibacterial activity assessment: The antibacterial properties of the untreated and treated cotton fabrics were evaluated by method according to AATCC test method 147-1998. *Staphylococcus aureus*, a gram-positive bacterium and *Escherichia coli*, a gram-negative bacterium were two types of bacteria used for testing.

RESULTS AND DISCUSSION

XRD Spectroscopy

The crystal phase composition of the TiO_2 particles formed on the cotton fabric treated with TiO_2 nanosol prepared at various concentrations of TTIP between 5-20% (v/v) by sol-gel method was determined by XRD. XRD patterns of titania particles formed on either untreated or treated cotton fabrics are shown in Figure 1. As shown

in Figure 1, it can be observed the peak at $2\theta = 25.28^\circ$ which is related to anatase phase on 20% TTIP treated cotton fabric dried under UV irradiation. Meanwhile, the intensity of the peak at $2\theta = 25.28^\circ$ was observed less clearly on the other cotton fabrics treated with lower concentration of TTIP than 20%. The untreated cotton fabric did not appear the major peak of anatase particles. XRD results from Figure 1 could be concluded that the content of anatase crystallites formed on the 20% TTIP treated cotton fabric was larger than that of the other concentrations of TTIP treated cotton fabrics.

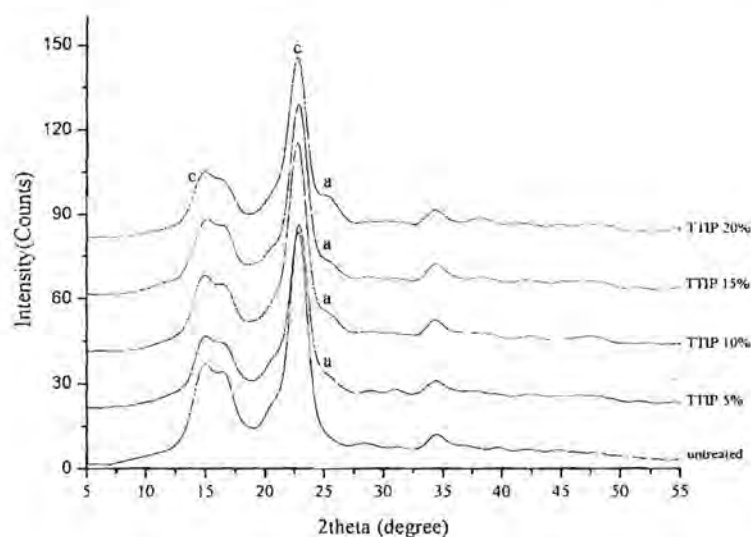


Figure 1. XRD patterns of titania particles formed on either untreated or treated cotton fabrics with different concentrations of TTIP at 5-20% V/V.

XRD patterns of TiO_2 particles form 20% TTIP treated cotton fabrics under non re-curing and re-curing are shown in Figure 2. It can be seen that the intensity of the peak at $2\theta = 25.28^\circ$ on re-curing treated cotton fabric is a little bid higher than that of non re-curing. This could be confirmed that re-curing at higher temperature on the 20% TTIP treated cotton fabric might increase the crystal of TiO_2 particles formed on the treated cotton fabric. XRD patterns in Figure 3 show comparison of the spectrum of the 20% TTIP treated cotton fabric dried with UV irradiation and re-curing at higher temperature with the spectrum of the 20% TTIP treated cotton fabric dried with high temperature at 100°C and re-curing at higher temperature at 150°C . As shown in Figure 3, the intensity of the peak at $2\theta = 25.28^\circ$ related to anatase

crystallites on the treated cotton fabric under heating condition of UV irradiation and re-curing at higher temperature is higher than that of the treated cotton fabric heated at high temperature of 100°C and re-curing at higher temperature. This would be implied that the different combined heating condition may affect the crystalline size on the treated cotton fabric and may impact on the performances on self-cleaning properties on the treated cotton fabrics.

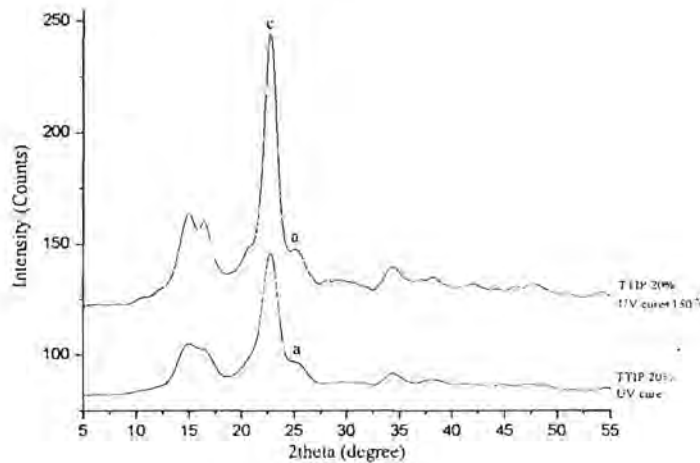


Figure 2. XRD patterns of titania particles formed on 20% TTIP treated cotton fabrics dried with UV irradiation and with re-curing at higher temperature.

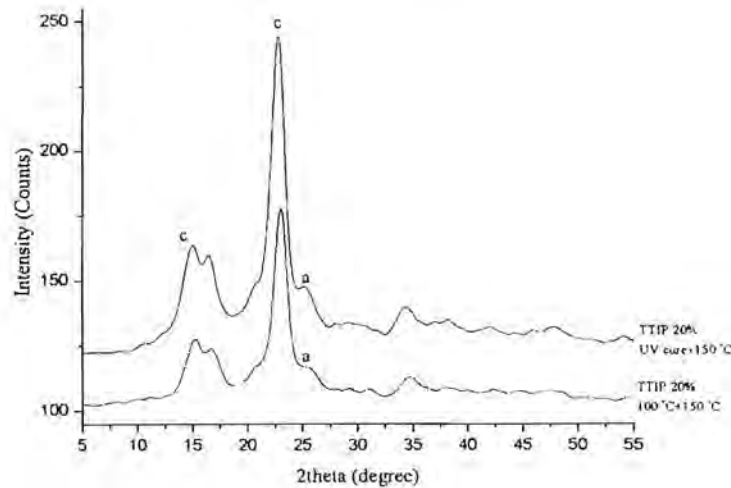


Figure 3. XRD patterns of titania particles formed on 20% TTIP treated cotton fabrics dried at different conditions either UV irradiation or high temperature at 100°C with re-curing at higher temperature.

Dye decomposition activity

Figures 4 to 7 display the rate of dye decomposition of the treated cotton fabric treated with various concentrations of TTIP between 5-20% under either UV lamp or D65 lamp, respectively. The decrease in the concentration of the red colorant of CIBACRON Red LS-B h-c was observed in the descending concentration of TTIP in titania sol treated on the cotton fabric under UV lamp or D65 lamp. Interesting points as shown in Figures 4 to 7 are that the dye decomposition under D65 lamp the 15% TTIP treated cotton fabrics with different dry-treatments either UV irradiation or high temperature at 100°C has a slightly better in decomposition ability than that of the 20% TTIP treated cotton fabrics. In contrast, the 20% TTIP treated cotton fabric had the rate of dye composition a little bit faster than that of the 15% TTIP treated cotton fabrics at a first four hours of dye decomposition under UV lamp, after that the rate of dye decomposition of both 15% TTIP and 20% TTIP treated cotton fabrics was come closer to each other after 5 hours of dye decomposition under UV lamp. According to the results of dye decomposition, it could be concluded that the cotton fabric treated with 15% or 20% TTIP dried with UV irradiation or high temperature at 100°C had ability to decompose reactive dye better than those of the cotton fabrics treated with lower concentrations of TTIP at 10% and 5%. The reason of these results could be because the treated cotton fabrics having more anatase particles had beneficial for enhancing the photocatalytic activity to decompose the reactive dye of CIBACRON Red LS-B h-c.

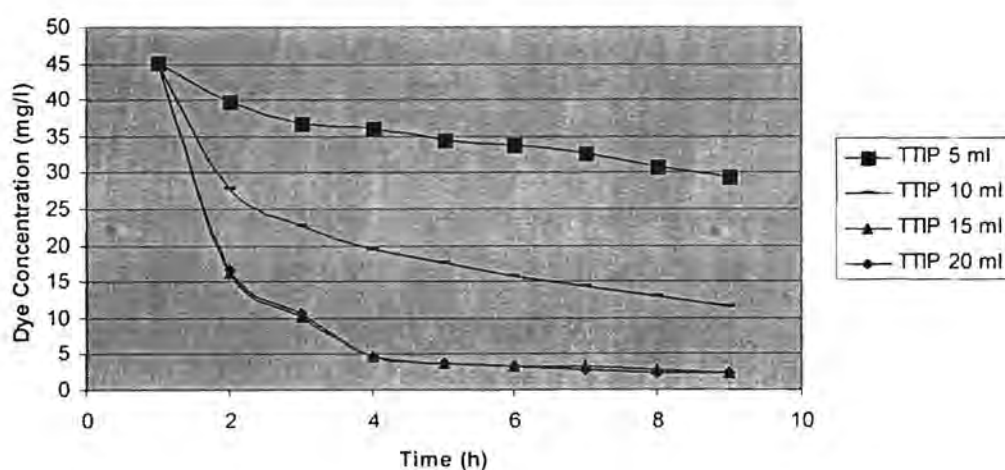


Figure 4. Dye decomposition under UV lamp on the treated cotton fabrics heated at 100°C for 5 min.

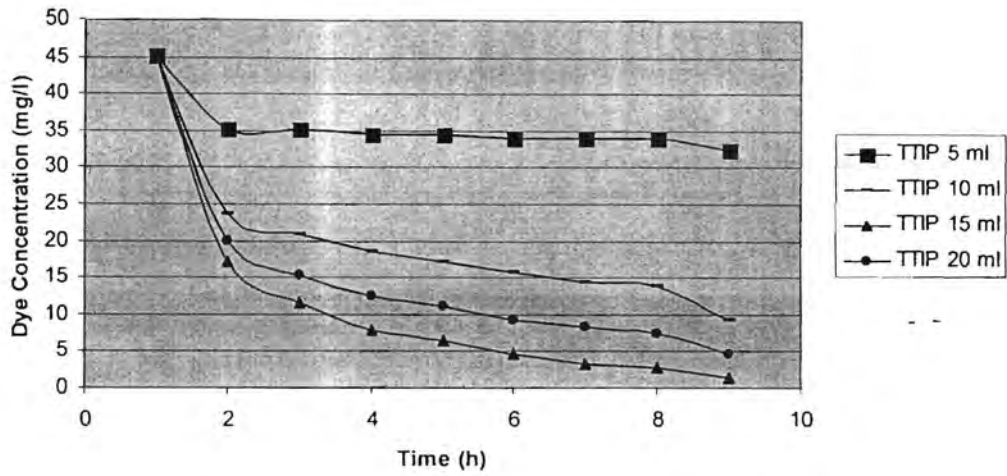


Figure 5. Dye decomposition under D65 lamp on the treated cotton fabrics heated at 100°C for 5 min.

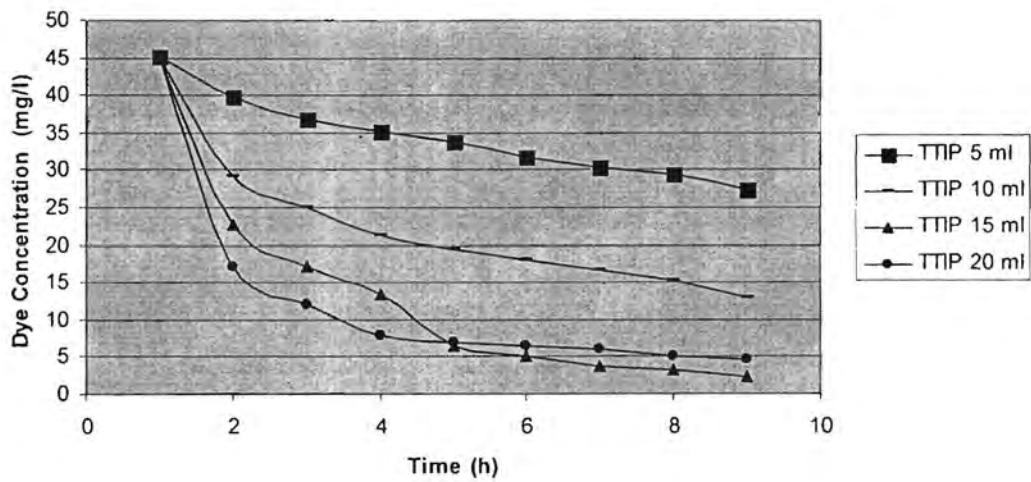


Figure 6. Dye decomposition under UV lamp on the treated cotton fabrics heated with UV irradiation.

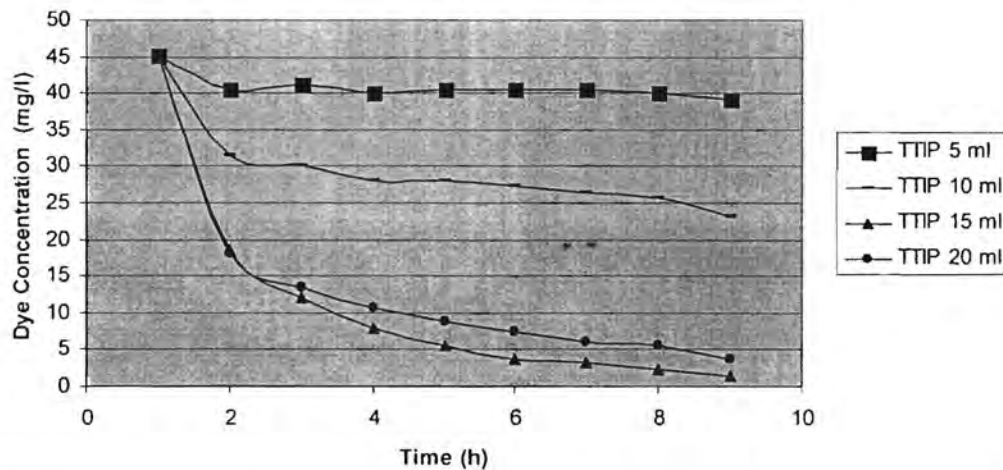


Figure 7. Dye decomposition under D65 lamp on the treated cotton fabric heating with UV irradiation.

The effect of re-curing on dye decomposition under D65 lamp or UV lamp of 20% TTIP treated cotton fabrics are shown in Figures 8 to 9, respectively. The results shown in Figures 8 and 9 appear that the re-curing treatment provided dye decomposition activity a little bit better than that of those non-recurring treatment.

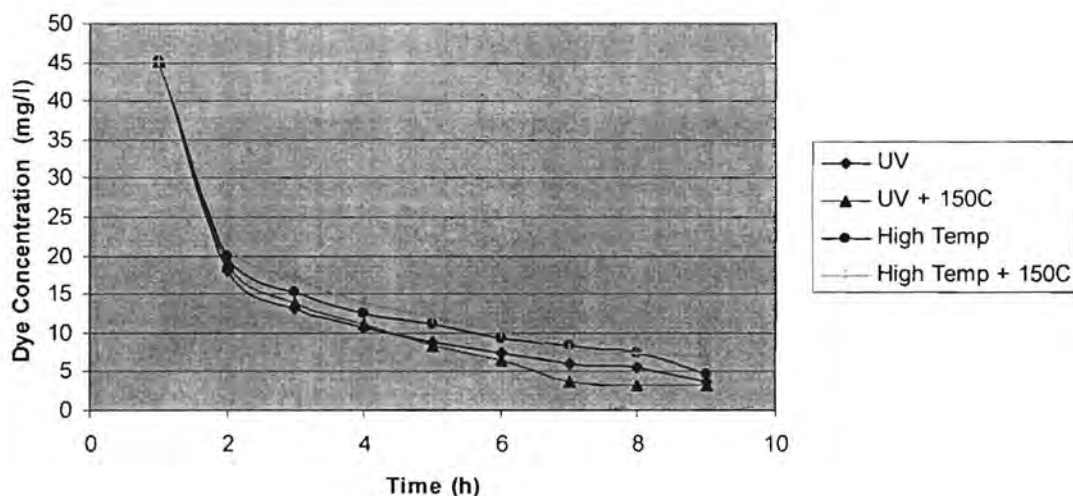


Figure 8. Dye decomposition under D65 lamp on the treated cotton fabrics with different drying condition either UV irradiation or high temperature at 100°C with re-curing at higher temperature 150°C for 3 min.

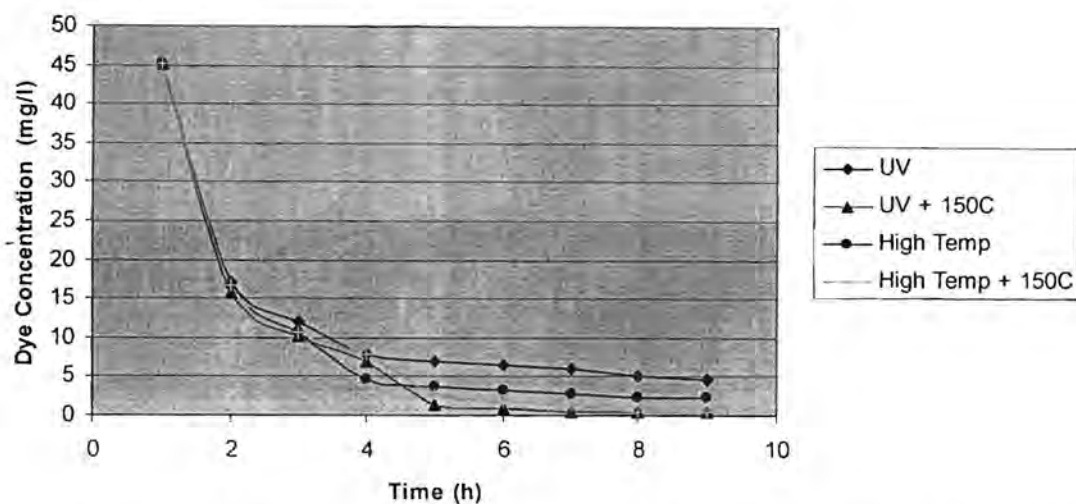





Figure 9. Dye decomposition under UV lamp on the treated cotton fabrics with different drying condition either UV irradiation or high temperature at 100°C with re-curing at higher temperature 150°C for 3 min.

Antibacterial activity

The 20% TTIP treated cotton fabric dried with UV irradiation or high temperature at 100°C were taken to re-cure at higher temperature at 150°C for 3 min. The 20% TTIP treated cotton fabrics without re-curing and with re-curing at higher temperature were taken to conduct the test according to the Standard Method of AATCC-147. The results of antibacterial activity on those treated cotton fabrics are shown in Figure 10. As shown in Figure 10, it can be concluded that re-curing the treated cotton fabric at higher temperature enhanced the ability to inhibit the growth of *Staphylococcus aureus* but the inhibition ability was still not as good as to see a clear zone. This ability of inhibition was not observed on untreated cotton fabric and 20% TTIP treated cotton fabric without re-curing at higher temperature. For *Escherichia coli*, all those tested cotton fabrics showed the inhibition on the growth of *Escherichia coli*. This was because the UV lamp used to expose the tested sample before testing having the lamp intensity high enough to inhibit the *Escherichia coli* but not for the *Staphylococcus aureus*.

Antibacterial activity on *Staphylococcus aureus* testing followed by testing method of AATCC-147

		
Untreated cotton fabric	20 % TTIP treated cotton fabric dried with UV irradiation and re-curing at higher temperature at 150°C for 3 min	20 % TTIP treated cotton fabric dried with high temperature at 100°C and re-curing at higher temperature at 150°C for 3 min

Antibacterial activity on *Escherichia coli* testing followed by AATCC-147




		
Untreated cotton fabric	20 % TTIP treated cotton fabric dried with UV irradiation and re-curing at higher temperature at 150°C for 3 min	20 % TTIP treated cotton fabric dried with high temperature at 100°C and re-curing at higher temperature at 150°C for 3 min

Figure 10. Antibacterial testing on the 20% TTIP treated cotton fabric dried with UV irradiation or high temperature at 100°C were taken to re-cure the fabrics at higher temperature at 150°C for 3 min.

Degradation of a coffee stain

The cotton fabrics treated with 20% TTIP and then dried with UV irradiation or with high temperature at 100°C in the oven were taken to stain with coffee. The coffee stained on the treated cotton fabric were exposed to the UV or to D65 lamp for 8 h and measured the K/S at each 2 h interval and calculated the % decreasing of K/S on the coffee stained cotton fabric. In addition, the untreated cotton fabric and the 20% TTIP treated cotton fabric dried either UV irradiation or high temperature at 100°C with re-curing at higher temperature were taken to stain coffee and also studied the rate of degradation of the coffee stain on these cotton fabrics as well. Figures 11 and

12 show the degradation of coffee stain under UV lamp and under D65 lamp on different types of cotton fabrics including untreated cotton fabric, 20% TTIP treated cotton fabrics dried with either UV irradiation or high temperature and those two treated cotton fabrics with re-curing at higher temperature, respectively. The results obtained in the Figures 11 and 12 can be concluded that the % decreasing in K/S of coffee stained untreated cotton fabric was not changed very much. This means that the coffee stain on the untreated cotton fabric was hardly to decompose under UV or D65 lamp. The coffee stained cotton fabrics treated with 20% TTIP and then dried with UV irradiation or with high temperature at 100°C in the oven show some degradation of coffee stain under UV and D65 lamps about 50% of K/S decreasing. But the rate of degradation of the coffee stain on the 20% TTIP treated cotton fabrics with re-curing at higher temperature was much faster than that of the 20% TTIP treated cotton fabrics without re-curing. The decreasing of K/S was about 80% on the 20% TTIP treated cotton fabrics with re-curing. The rate of degradation of the coffee stain under D65 was faster than that under UV lamp.

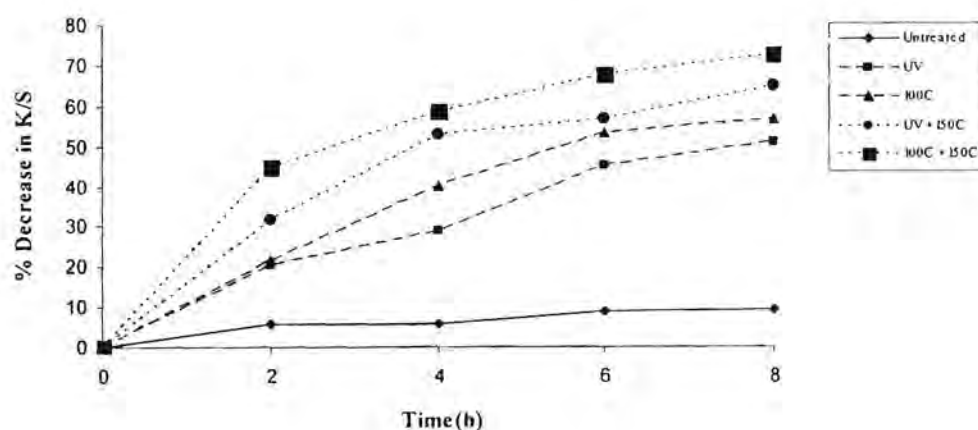


Figure 11. Degradation of coffee stain under UV lamp on the treated cotton fabrics with different drying condition either UV irradiation or high temperature at 100°C with re-curing at higher temperature 150°C for 3 min.

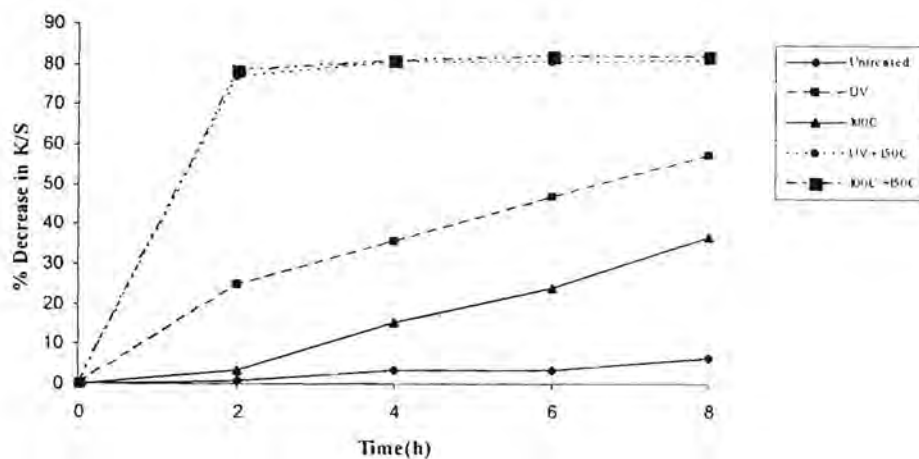
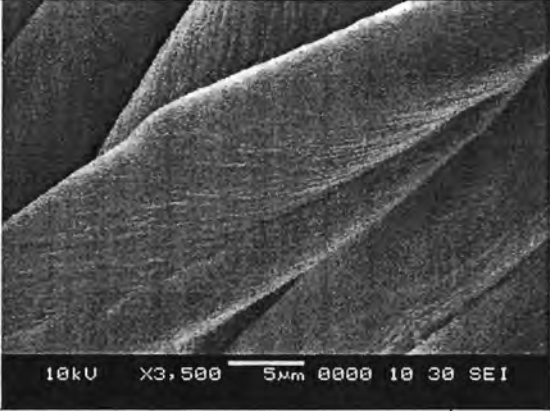
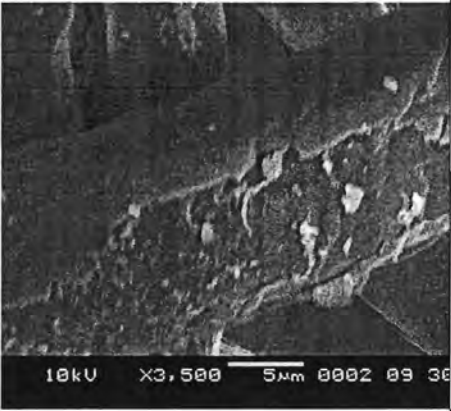
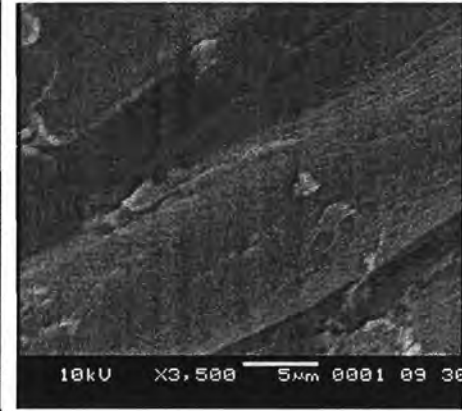
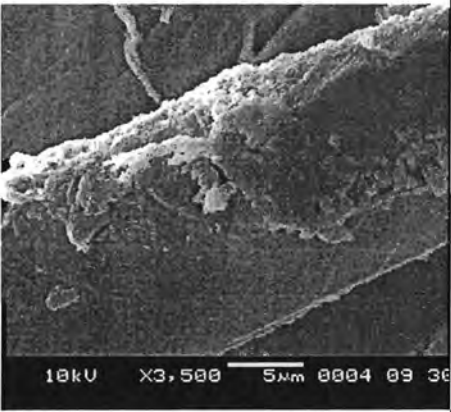
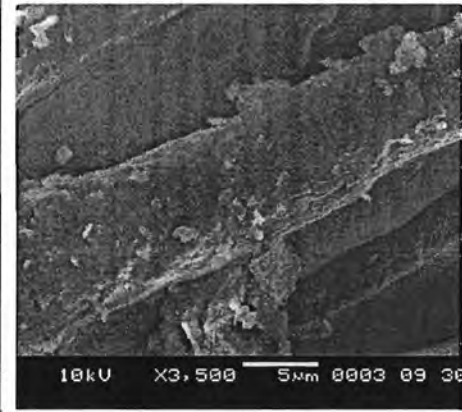
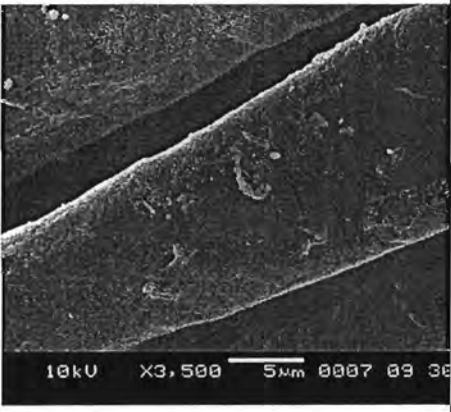
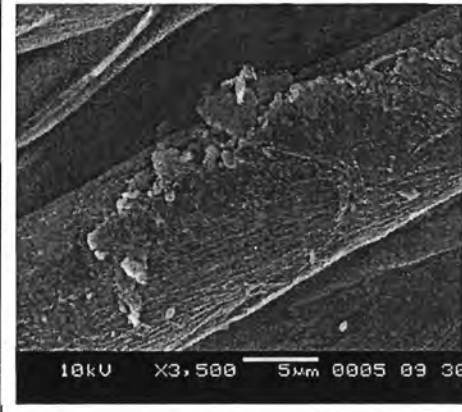


Figure 12. Dye decomposition under D65 lamp on the treated cotton fabrics with different drying condition either UV irradiation or high temperature at 100°C with re-curing at higher temperature 150°C for 3 min.

SEM observation

The SEM images of untreated cotton fabric and cotton fabric treated with titania nanosols at different concentration of TTIP precursor dried with UV irradiation and with high temperature at 100°C, and also 20% TTIP treated cotton fabric with re-curing at 150°C are shown in Figure 13. The surface of untreated cotton fabric was clean and smooth. The surface of treated cotton fabrics with TTIP precursor at different concentrations of TTIP had some deposited titania particles on the fiber surface. The amount of deposited titania particles on the surface of treated cotton fabrics tended to increase when the concentration of TTIP precursor used in preparing in titania sol was increased. While the SEM images of the 20% TTIP treated cotton fabrics with re-curing at higher temperature at 150°C and without re-curing do not show any changes much more clearly on morphology of TiO₂ nano-particles on these treated cotton fabrics. Therefore, it was very hard to tell if there was anything changes on the TiO₂ particles on the treated cotton fabrics after re-curing treatment.

Untreated		
Conc. of TTIP(ml)	UV	High temp
5		
10		
15		

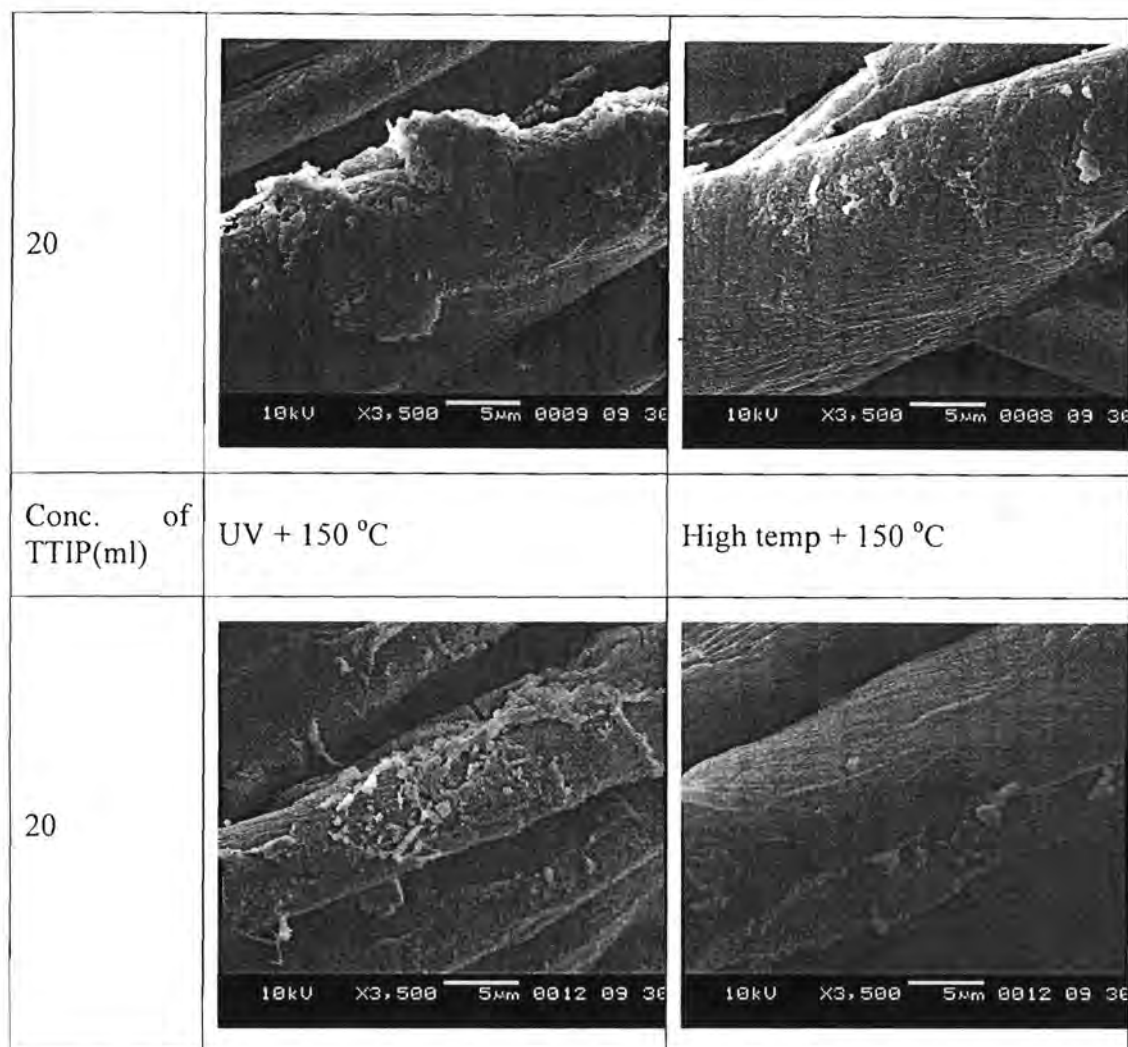


Figure 13. SEM images on different types of the cotton fabrics: untreated cotton fabric, treated cotton fabrics at various TTIP concentrations and dried with either UV or high temperature at 100°C, and 20% TTIP treated cotton fabrics dried with either UV irradiation or high temperature and re-curing at higher temperature.

CONCLUSIONS

Self-cleaning performance of the cotton fabric surface treated with TiO₂ nanosol and heated under ultraviolet irradiation and under heat in conventional oven. Self-cleaning properties including degradation of coffee stain, antibacterial property and dye decomposition were all investigated. The treated cotton fabric surface heated under UV and at high temperature had ability to decompose the reactive dye, but not very good on those antibacterial property and decomposition of coffee stain. When the 20% TTIP treated cotton fabrics were taken to re-curing at higher temperature 150°C for 5 min and conducted to test on the self-cleaning properties again. The results of

self-cleaning properties on those treated cotton fabrics with recurring treatment were better than those of non-recurring treated cotton fabrics. This would imply that the curing temperature may affect the morphology of TiO₂ particles and enhance the performance of those two self-cleaning properties on the treated cotton fabric surface. XRD patterns of the treated cotton fabric surfaces showed anatase as the major peak of nano TiO₂. The surface morphology of the treated cotton fabric revealed the TiO₂ particles distributed over the fiber surface.

Acknowledgment

The authors thank the CU-CLUSTER-FUND (Ratchdaphiseksomphot Endowment Fund), Chulalongkorn University for the financial support.

REFERENCES

1. Daoud, W.A. and Xin, J.H. Nucleation and growth of anatase nanocrystalites on cotton fabrics at low temperature, *Journal of American Ceramic Society*, 87, 953-955 (2004).
2. Gupta, K., Jassal, M., and Agrawal, A. Sol-gel derived titanium dioxide finishing of cotton fabric for self cleaning, *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, 33, 443-450 (2008).
3. Abidi, N., Cabrales, L., and Hequet, E. Functionalization of a cotton fabric surface with titania nanosol: Application for self-cleaning and UV-protection properties, *Applied Materials & Interfaces*, 1, 2141-2146 (2009).
4. 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, 4567-4574 (2006).
5. Qi, K., Chen, X., Liu, Y., Xin, J.H., Mak, C.L., and Daoud, W.A. Facile preparation of anatase/SiO₂ spherical nanocomposites and their application in self-cleaning textiles, *Journal of Materials Chemistry*, 17, 3504-3508 (2007).
6. Wu, D., Long, M., Zhou, J., Cai, W., Zhu, X., Chen, C., and Wu, Y. Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics modified by TiO₂ through a facile approach, *Surface & Coatings Technology*, 203, 3728-3733 (2009).

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ ผ.ศ. ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวัฒน์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทรศัพท์ 218-5551
งานวิจัยที่สนใจ : สนใจทางด้าน การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เช่น การตกแต่งการยับ
การด้านเชื้อจุลินทรีย์ การทำความสะอาดได้ด้วยตนเองของผ้า
และ การย้อมผ้าด้วยสีย้อมธรรมชาติ

งานวิจัยที่ศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะคริลิกและกรดซิตริก เป็นสารช่วยปรับปรุงสมบัติผ้าฝ้ายให้ทนต่อการยับย่นได้ดีขึ้น ในรับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2543

การตกแต่งผ้าฝ้ายให้ทนต่อการยับย่น ด้านทานเชื้รราและแบคทีเรียด้วยสาร ไกลออกซอลและโคโคซาน ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยในปีงบประมาณ 2545

อิทธิพลของสารโคโคซานต่อคุณสมบัติสีย้อมบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่สกัดจากเปลือกมังคุด ในรับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปีงบประมาณ 2545

การย้อมและตกแต่งกันยับบนผ้าฝ้ายแบบชั้นตอนเดียวด้วยสีย้อมที่สกัดได้จากเปลือกมังคุดและสารกันยับไกลออกซอล ในรับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2547

การดัดแปลงดินมอนคัมอริโลไนต์เพื่อใช้เป็นสารหน่วงไฟในผ้าฝ้าย ในรับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปีงบประมาณ 2548

การอบผนึกด้วยรังสียูวีเพื่อตกแต่งผ้าฝ้ายให้มีคุณสมบัติกันยับ ในรับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก โครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาที่มีศักยภาพสูง กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปีงบประมาณ 2553

บทความที่ตีพิมพ์

S. Kittinaovarat, 2003, "Acrylic and Citric Acid in Nonformaldehyde Durable Press Finishing on Cotton Fabric", *AATCC REVIEW*, Volume 3, No. 8, pp. 62-64.

W. Udomkichdecha, S. Kittinaovarat, U. Thanasoonthornroek, P. Potiyaraj, and P. Likitbanakorn, 2003, "Acrylic and Maleic Acids in Nonformaldehyde Durable Press Finishing of Cotton Fabric", *Textile Research Journal*, Volume 73, No. 5, pp. 401-406.

S. Kittinaovaratt, 2004, "Using Chitosan for Improving the Dyeability of Cotton Fabrics with Mangosteen Rind Dye", *Journal of Science Research Chulalongkorn University*, Volume 29, No. 2, pp. 155-162.

S. Kittinaovaratt and P. Kantuptim, 2005, "Comparative Antibacterial Properties of Glyoxal and Glyoxal and Chitosan Treated Cotton Fabrics", *AATCC Review*, Volume 5, No. 4, pp. 22-24.

S. Kittinaovaratt, P. Kantuptim, and T. Singhaboonponp, 2005, "Wrinkle Resistant Properties and Antibacterial Efficacy of Cotton Fabrics Treated with Glyoxal System and with Combination of Glyoxal and Chitosan System", *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 100, No. 9, pp. 1372-1377.

S. Kittinaovaratt, 2006, "One-Bath Dyeing and Finishing by Using Exhaustion and Pad-dry-cure Methods on Cotton Fabrics Using Mangosteen Rind Dye and Glyoxal", *Journal of Science Research Chulalongkorn University*, Volume 31, No. 2, pp. 95-99.

W. Nitayaphat, N. Jiratumnukul, S. Charuchinda, and **S. Kittinaovaratt**, 2009, "Mechanical Properties of Chitosan / Bamboo Charcoal Composite Films Made with Normal and Surface Oxidized Charcoal", *Carbohydrate Polymer*, Volume 78, No.9, pp.444-448.

S. Kittinaovaratt, P. Kansomwan, and N. Jiratumnukul, 2010, "Chitosan/modified montmorillonite beads and adsorption Reactive Red 120", *Applied Clay Science*, Volume 48, pp. 87-91.

S. Kittinaovaratt, N. Jiratumnukul and N. Koolpreechanan, 2011, "Modification of montmorillonite with a cationic softener for finishing cotton fabric with hand builder Performance", *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Volume 21, pp. 37-42.

บทความวิชาการ

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ "การเพิ่มสมบัติด้านทานแบคทีเรียและเชื้อราบนผ้าด้วยสารไคโตซาน" *สาระความรู้ ชุมรมไคตินไคโตซาน ปีที่ 3 ฉบับที่ 9 กรกฎาคม-กันยายน 2544*.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ "การตกแต่งในลอนให้ทนต่อเชื้อราและแบคทีเรีย" *Colourway ฉบับที่ 37 พ.ย. - ธ.ค. 2544* หน้า 94-99.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ "การลอกแป้งด้วยเอนไซม์และการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกทางชีวภาพ ตอนที่ 1." *Colourway ฉบับที่ 39 มี.ค.-เม.ย. 2545* หน้า 10-13.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ "การลอกแป้งด้วยเอนไซม์และการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกทางชีวภาพ ตอนที่ 2." *Colourway ฉบับที่ 40 พ.ค.-มิ.ย. 2545* หน้า 36-38.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ “การลอกแป้งด้วยเอนไซม์และการกำจัดไขมันและสิ่งสกปรกทางชีวภาพ ตอนจบ” *Colourway* ฉบับที่ 41 ก.ค.-ส.ค. 2545 หน้า 20-22.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ “สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ” *Colourway* ฉบับที่ 46 พ.ค. – มิ.ย. 2546 หน้า 58-62.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ “แนวโน้มการใช้โคตินไคโตซานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ” *Colourway* ฉบับที่ 51 มี.ค. – เม.ย. 2547 หน้า 48-49.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ “การศึกษาผลกระทบของโคโตซาน ความเป็นกรดค้างและเกลือต่อสมบัติสีของบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด” *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์* ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 ก.ย.-ธ.ค. 2547 หน้า 210-223.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ “สิ่งทอเฉพาะด้านกีฬา” *Colourway* ฉบับที่ 66 ก.ย.-ต.ค. 2549 หน้า 34-36.

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ “สีย้อมธรรมชาติ” *Colourway* ฉบับที่ 69 มี.ค.-เม.ย. 2550 หน้า 39-