

การเตรียมผ้าฝ้ายและผ้าไหมสะท้อนน้ำด้วยออร์แกนซิลีนร่วมกับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์



นางสาวธัญวรัตน์ พิพัฒน์ชาญชัย

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชา วัสดุศาสตร์

คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-1825-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF WATER REPELLENT COTTON AND SILK FABRICS
WITH ORGANOSILANE AND NANOSIZED SILICON DIOXIDE

Miss Thanwarat Pipatchanchai



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile
Technology

Department of Materials Science

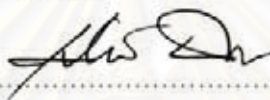
Faculty of Science

Chulalongkorn University

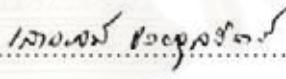
Academic Year 2006

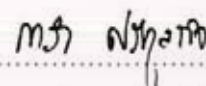
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมผ้าฝ้ายและผ้าไหมสะท้อนน้ำด้วยออร์แกนิกซิลเลนร่วมกับ
นาโนซิลิกอนไดออกไซด์
โดย นางสาวธัญวรัตน์ พิพัฒน์ชาญชัย
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ

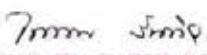
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

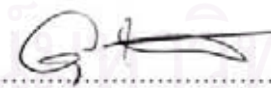

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ แมนะเศวต)

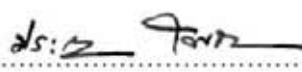
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ชัยจุลจิตร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

ธัญวรรณ์ พัทธมนชาญชัย : การเตรียมผ้าฝ้ายและผ้าไหมสะท้อนน้ำด้วยออร์แกโนซิลิโคนร่วมกับ
นาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (PREPARATION OF WATER REPELLENT COTTON AND SILK
FABRICS WITH ORGANOSILANE AND NANOSIZED SILICON DIOXIDE)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ, 104 หน้า. ISBN 974-14-1825-6.

งานวิจัยนี้ศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายและผ้าไหมให้มีสมบัติสะท้อนน้ำด้วยการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคนโดยอาศัยเทคนิคการจุ่มอัด-หมัก ขั้นตอนแรกนำซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดอนุภาค 14 นาโนเมตร ที่ผ่านการโซนิเคชันในรูปสารแขวนลอย มาจุ่มอัดลงบนผ้าด้วยเครื่องจุ่มอัด โดยที่ตั้งค่าความดันไว้เพื่อให้ได้ร้อยละของผ้าเปียก ที่ร้อยละ 80 ขั้นตอนที่สองนำผ้าที่ได้นั้นไปจุ่มอัดอีกครั้งในสารละลายเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคน ต่อจากนั้นนำผ้าใส่ในถุงพลาสติกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮล-เจล ผลจากการเกิดปฏิกิริยาไฮล-เจลพบว่าอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ถูกดัดแปรให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ซึ่งพบว่ามุมสัมผัสของน้ำสูงกว่า 120 องศา ซึ่งสอดคล้องกับผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคนาโนที่กระจายอยู่ทั่วพื้นผิวเส้นใยส่งผลให้เส้นใยมีพื้นผิวขรุขระ จากผลการทดลองเป็นการยืนยันว่าพื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้นร่วมกับสมบัติไม่ชอบน้ำ ทำให้พื้นผิวด้ามมีสมบัติ superhydrophobic จากผลการทดลองนี้ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และหลังจากการทดสอบซักล้าง 10 ครั้ง ผลที่ได้มุมสัมผัสของน้ำลดลง แต่อย่างไรก็ตามมุมสัมผัสของน้ำสูงกว่า 90 องศา จึงกล่าวได้ว่าพื้นผิวยังมีสมบัติไม่ชอบน้ำ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนยังคงมีความคงทนอยู่บนผ้าซึ่งให้ผลที่น่าพอใจ

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต.....ธัญวรรณ์ พัทธมนชาญชัย.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....รศ.ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ.....

#4772230623 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: WATER-REPELLENT/ SILICON DIOXIDE/ HEXADECYLTRIMETHOXYLANE/ COTTON/
SILK

THANWARAT PIPATCHANCHAI: PREPARATION OF WATER REPELLENT
COTTON AND SILK FABRICS WITH ORGANOSILANE AND NANOSIZED
SILICON DIOXIDE.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.KAWEE SRIKULKIT,Ph.D. 104 pp.

ISBN 974-14-1825-6.

The finishing of cotton and silk fabrics to impart the water repellency property was carried out using colloidal silicon dioxide and hexadecyltrimethoxysilane. The application was made pad-batch technique. First, the sonicated colloidal silicon dioxide with the particle size of 14 nm was applied onto fabrics using pad mangle set the percent pick-up at 80 wt%. Second the treated fabric was reimpregnated with the solution of hexadecyltrimethoxysilane. The treated fabric was kept in a plastic bag at room temperature for 24 hours to allow the sol-gel reaction. As a result of sol-gel reaction, the silicon dioxide nanoparticle became hydrophobic, according to the achievable high contact angle of more than 120 degree. According to SEM, the particles were distributed onto fiber surface, created the fiber surface roughness. It was believed that the increased surface roughness combined with hydrophobic contributed to the phenomenon of superhydrophobic surface. From this experiment, the optimum condition was the amount of silicon dioxide 5 wt% and hexadecyltrimethoxysilane 3 wt% at pH 5 adjusted with acetic acid. After 10 cycles washing test, the contact angle of more than 90 degree was still achieved and the evidence of silicon dioxide residue from TGA indicating that the fastness of nanoparticle onto the fabric was satisfactory.

Department Materials Science

Student's signature *Thanwarat Pipatchanchai*

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Advisor's signature *Kawee Srikulkit*

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำด้วยออร์แกนอซิลิโคนร่วมกับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ฉบับนี้ สามารถบรรลุวัตถุประสงค์และประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีก็ด้วยได้รับความอนุเคราะห์ การให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดกำลังใจจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องดังนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ให้คำแนะนำและข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย ตลอดจนการตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการรองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์และรองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์และแก้ไขเพิ่มเติม ส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ชินวัตรไหมไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ผ้าไหมสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ทุกคนสำหรับให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนพนักงานวิทยาศาสตร์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและญาติพี่น้อง ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1	บทนำ.....	1
2	วารสารปริทัศน์.....	4
	2.1 เส้นใยธรรมชาติ.....	4
	2.1.1 เส้นใยฝ้าย.....	4
	2.1.2 เส้นใยไหม.....	8
	2.2 การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ.....	13
	2.2.1 การเกาะติดของสารสะท้อนน้ำบนพื้นผิวเส้นใยด้วยแรงทางกายภาพ.....	15
	2.2.2 การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารไม่ชอบน้ำกับเส้นใย.....	15
	2.2.3 การเกิดเป็นฟิล์มสะท้อนน้ำเคลือบรอบเส้นใย.....	16
	2.3 ปรัชญาการนํ้ากึ่งบนใบบัว.....	16
	2.4 มุมสัมผัสผิวนํ้า.....	18
	2.5 กระบวนการโซล-เจล.....	19
	2.5.1 ชนิดของเจล.....	22
	2.5.2 เทคนิคการเกิดโซล-เจล.....	25
	2.6 ฟลูออโรซิลิกาและออร์แกนอซิลเลน.....	26
	2.6.1 ฟลูออโรซิลิกา.....	26
	2.6.2 ออร์แกนอซิลเลน.....	27

	2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
	3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
	3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง.....	32
	3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	33
	3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	33
	3.5 การเตรียมผ้าสะท้อนน้ำด้วยซิลิกอนไดออกไซด์.....	33
	3.5.1 การเตรียมตัวอย่างผ้า.....	33
	3.5.2 การเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปของสารแขวนลอย.....	33
	3.5.3 การเตรียมอิมัลชันเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีน.....	35
	3.5.4 การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ.....	35
	3.6 การทดสอบ.....	37
	3.6.1 ความขาวของผ้า.....	37
	3.6.2 มุมสัมผัสของน้ำ.....	38
	3.6.3 ความคงทนต่อการซักล้าง.....	40
	3.6.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวผ้า.....	41
	3.6.5 การศึกษาลักษณะเฉพาะของสารเคลือบบนพื้นผิวผ้าที่ผ่าน การตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิค ATR-FTIR.....	41
	3.6.6 การวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส.....	42
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	44
	4.1 ดัชนีความขาวของผ้า.....	44
	4.2 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้า.....	48
	4.3 ความคงทนต่อการซักล้าง.....	53
	4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวของผ้า.....	72
	4.6 การตรวจหาลักษณะเฉพาะของสารเคลือบบนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่ง สะท้อนน้ำด้วยเทคนิค ATR-FTIR.....	76
	4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วย ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส.....	79

5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	81
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	81
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
	รายการอ้างอิง.....	83
	ภาคผนวก.....	86
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบหลักกรดอะมิโนของไฟโบรอินและเซรีซิน.....10
ตารางที่ 2.2	สารช่วยตกแต่งสีสะท้อนน้ำ.....14
ตารางที่ 2.3	สมบัติของฟลูมซิลิกา.....26
ตารางที่ 3.1	การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ.....36
ตารางที่ 4.1	ร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ของผ้าฝ้ายและผ้าไหมด้วยเทคนิค TGA.....79



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส.....	4
รูปที่ 2.2 ภาพวาดแสดงภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย.....	5
รูปที่ 2.3 ภาพวาดแสดงภาพตามความยาวของเส้นใยฝ้าย.....	6
รูปที่ 2.4 ภาพวาดแสดงภาพตามยาวของเส้นใยไหม.....	9
รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของสายโซ่พอลิเบปไทด์ในไฟโบรอิน.....	10
รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายพื้นผิวใบบัว.....	16
รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายหยดน้ำบนพื้นผิวใบบัว.....	17
รูปที่ 2.8 แบบจำลองพื้นผิวที่สามารถทำความสะอาดตนเองได้.....	17
รูปที่ 2.9 มุมสัมผัสของเหลว.....	18
รูปที่ 2.10 กระบวนการโซล-เจล.....	20
รูปที่ 2.11 แสดงพฤติกรรมของการเกิดพอลิเมอร์ของอนุภาคซิลิกาในสารละลายน้ำ (A) ในสารละลายกรดหรือมีการเติมเกลือ อนุภาครวมกลุ่มกันเป็นโครงข่าย 3 มิติ และเกิดเป็นเจล (B) ในสารละลายเบสอนุภาคขนาดใหญ่เกิดขึ้นและ จำนวนอนุภาคลดลง.....	24
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของซิลิกา.....	27
รูปที่ 2.13 การดัดแปรพื้นผิววัสดุเซรามิกและแก้ว.....	28
รูปที่ 2.14 การเกิดปฏิกิริยาของออร์แกโนซิลอน.....	29
รูปที่ 3.1 เครื่องอัลตราโซนิก.....	34
รูปที่ 3.2 ซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปของสารแขวนลอย (ซ้าย) ก่อนทำโซนิเคชันและ (ขวา) ภายหลังทำโซนิเคชัน.....	34
รูปที่ 3.3 เครื่องจุ่มอัด.....	35
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดสี.....	37
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ.....	38
รูปที่ 3.6 วิธี sessile drop.....	39
รูปที่ 3.7 การวัดมุมสัมผัสโดยใช้ protactor.....	39
รูปที่ 3.8 เครื่องซักผ้า.....	40
รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	41

รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปีด้วยรังสีอินฟราเรด.....42

รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน.....43

รูปที่ 4.1 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....45

รูปที่ 4.2 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....45

รูปที่ 4.3 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....46

รูปที่ 4.4 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....47

รูปที่ 4.5 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน47

รูปที่ 4.6 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....48

รูปที่ 4.7 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....50

รูปที่ 4.8 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค
ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน
ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน.....50

- รูปที่ 4.45 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก.....70
- รูปที่ 4.46 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก.....70
- รูปที่ 4.47 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก.....71
- รูปที่ 4.48 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก.....71
- รูปที่ 4.49 แสดงพื้นผิวของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์และอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปแบบแขวนลอยร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ภายหลังจากทำเทคนิคเอชเอ็น จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า.....72
- รูปที่ 4.50 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....73
- รูปที่ 4.51 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....73
- รูปที่ 4.52 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....73
- รูปที่ 4.53 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....74
- รูปที่ 4.54 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....74
- รูปที่ 4.55 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....74

- รูปที่ 4.56 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่เคลือบด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....75
- รูปที่ 4.57 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่ กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า.....75
- รูปที่ 4.58 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้าย (a) ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ (b) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และ(c) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก.....76
- รูปที่ 4.59 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก (a) ก่อนซัก (b) หลังซัก 5 ครั้ง และ(c) หลังซัก 10 ครั้ง.....77
- รูปที่ 4.60 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าไหม (a) ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ (b) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และ(c) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก.....77
- รูปที่ 4.61 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และ เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิโคน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก (a) ก่อนซัก (b) หลังซัก 5 ครั้ง และ (c) หลังซัก 10 ครั้ง.....78

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคนิคการเตรียมผ้าที่มีสมบัติสะท้อนน้ำในปัจจุบันมีหลายวิธี [1, 2, 3] เช่น การตัดแปรพื้นผิวเส้นใยด้วยสารประกอบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน การเคลือบผิวของเส้นใยด้วยสารเคมีพวกพาราฟิน ซิลิโคนเรซิน และสารประกอบฟลูออโรคาร์บอน โดยเฉพาะสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนนิยมนำมาตกแต่งสะท้อนน้ำบนสิ่งทอเนื่องจากให้มุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้นั้นมีมุมสัมผัสของน้ำบนผ้าอยู่ระหว่าง 120-140 องศา แต่อย่างไรก็ตามมีข้อเสียตรงที่มีการปลดปล่อยสารพิษที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและไม่เป็นมิตรแก่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้พยายามปรับปรุงพื้นผิวของผ้าให้มีมุมสัมผัสของน้ำมากกว่า 120 องศา (ซึ่งโดยปกติแล้วจะทำได้ต้องอาศัยสารเคลือบที่เป็นสารประกอบฟลูออโรคาร์บอน) โดยในการทดลองนี้จะไม่อาศัยสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้อาศัยหลักการนาโนเทคโนโลยีมาปรับปรุงพื้นผิวสิ่งทอโดยเลียนแบบน้ำกิ้งก่าบินใบบัว [4, 5] ทำให้ผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) ไม่เปียกน้ำและยังสามารถทำความสะอาดตนเองได้ คือมีผิวที่ขรุขระด้วยการนำเอาอนุภาคนาโนมาอัดลงบนผิวเส้นใยหลังจากนั้นจะทำการจุ่มอัดอนุภาคเหล่านี้ด้วยสารที่ไม่ชอบน้ำทำให้อนุภาคนาโนมีผิวที่ไม่ชอบน้ำ

โดยงานวิจัยนี้จะทำการจุ่มอัดอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีขนาด 14 นาโนเมตร ลงบนผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) หลังจากนั้นทำการหุ้มอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนซึ่งเป็นสารพวกออร์แกโนซิเลน โดยอาศัยปฏิกิริยาโซล-เจลเพื่อทำให้อนุภาคซิลิกาที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เนื่องจากอนุภาคนาโนส่วนที่เกาะติดที่ผิวผ้าจะทำให้ผิวผ้ามีความขรุขระมากขึ้นเป็นเหตุให้ผิวผ้ามีพลังงานพื้นผิวด้านล่างต่ำกว่าเดิมมาก ส่งผลให้มุมสัมผัสของน้ำเพิ่มมากขึ้นมากกว่าการเคลือบผิวผ้าด้วยสารสะท้อนน้ำทั่วไป โดยขอบเขตการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยการตกแต่งสะท้อนน้ำบนผ้าทอด้วยอนุภาคนาโน การทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำและความคงทนของอนุภาคนาโนบนผิวผ้าภายหลังการซักล้าง ซึ่งผ้าสะท้อนน้ำที่เตรียมได้มีสมบัติคล้ายผิวใบบัว และสามารถทำความสะอาดตนเองได้ ดังนั้นจึงทำให้ผ้ามีสมบัติไม่แตกต่างจากผิวใบบัว

เสื้อผ้าที่ตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยวัสดุนาโนนั้น [6] จะมีความพิเศษที่ผู้สวมใส่จะสามารถแยกความแตกต่างได้ระหว่างการสวมใส่เสื้อผ้าที่ตกแต่งด้วยสารเคมีเคลือบผิวผ้าหรือวัสดุนาโน ทั้งนี้เพราะวัสดุนาโนนั้นมีพื้นผิวมหัพภาคและมีขนาดเล็กจิ๋ว จึงสามารถทำให้เกาะแนบติดอยู่กับเส้นใยดูเหมือนเป็นเนื้อเดียวกันโดยที่ไม่มีผลต่อการปกปิดช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทของอากาศเมื่อใส่แล้วรู้สึกสบายตัว ในขณะที่ใช้สารเคมีตกแต่งสำเร็จส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสารเคลือบ ดังนั้นเมื่อนำไปตกแต่งสิ่งทอจะเกิดเป็นฟิล์มปกคลุมผิวผ้าโดยปกคลุมช่องว่างระบายอากาศระหว่างเส้นใยด้วย ส่งผลให้อากาศไม่ถ่ายเทระหว่างภายนอกและภายในร่างกาย ทำให้เกิดความไม่สบายตัวต่อผู้สวมใส่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำและหาภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งด้วยการพ่นอนุภาคนาโนของซิลิกอนไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวสิ่งทอโดยอาศัยเทคนิคโซล-เจล
2. ศึกษาสมบัติการสะท้อนน้ำของผ้าที่มีอนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์และสัณฐานวิทยาของผ้าเมื่อผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ

ขอบเขตของการวิจัย

1. จุ่มอัดอนุภาคนาโนของซิลิกาบนผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) หลังจากนั้นจะหุ้มอนุภาคนาโนของซิลิกาด้วยเทคนิคโซล-เจลโดยอาศัยสารออร์แกนอซิลเลน ซึ่งจะศึกษาอิทธิพลต่างๆ ดังนี้
 - อัตราส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์กับสารออร์แกนอซิลเลน
 - ตัวเร่งปฏิกิริยา
 - ความเป็นกรด-เบส
2. การทดสอบและวิเคราะห์ตัวอย่าง
 - 2.1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าเมื่อผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ ได้แก่
 - การทดสอบสะท้อนน้ำด้วยวิธีการวัดมุมสัมผัส (contact angle measurements)
 - การทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง ตามมาตรฐาน AATCC test method 61
 - การทดสอบความขาวด้วยเครื่องวัดสี ตามมาตรฐาน AATCC test method 110

2.2 ตรวจสอบวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.3 ตรวจสอบวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของสารเคลือบบนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิค ATR-FTIR

2.4 วิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิค TGA



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

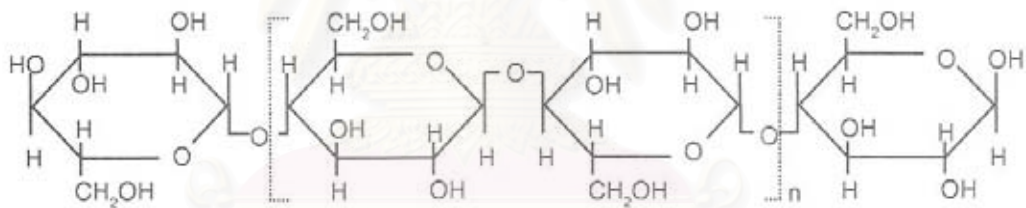
วารสารปริทรรศน์

2.1 เส้นใยธรรมชาติ

2.1.1 เส้นใยฝ้าย

2.1.1.1 โครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพ

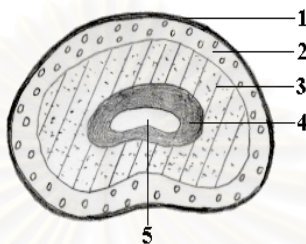
ฝ้ายเป็นพืชที่มีความสำคัญและมีการใช้งานกว้างขวางมากที่สุดร้อยละ 70-75 ของเส้นใยทุกชนิดโดยใช้ได้ในรูปของฝ้ายล้วนหรือฝ้ายผสมกับเส้นใยอื่นๆ ได้แทบทุกชนิด ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมี [7, 8] ประกอบด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอนร้อยละ 44.4 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 และออกซิเจนร้อยละ 49.4 มีหน่วยพื้นฐานที่เรียกว่า anhydro-d-glucose ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นลูกโซ่จนเกิดเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว ดังแสดงรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส [7]

แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน (เป็น primary group 1 หมู่ และ secondary group 2 หมู่) ซึ่งคล้ายกับโครงสร้างของโมเลกุลน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำซึ่งต่างจากน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนี้ นับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใยกล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี ลักษณะการเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวทำให้มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย พันธะระหว่างโมเลกุลคือพันธะ -C-O-C- เป็นพันธะที่ไม่ทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยถูกทำลายจากภูมิอากาศ ทำให้โมเลกุลยาวขาดลงกลายเป็นส่วนเล็กๆ คล้ายน้ำตาลและกลายเป็นอาหารของพืชและสัตว์ต่อไป

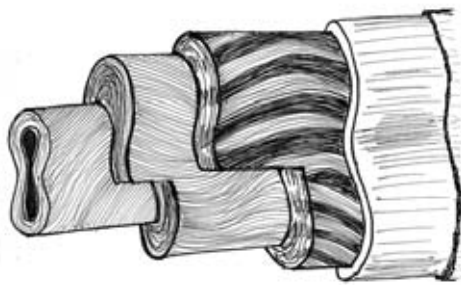
สำหรับโครงสร้างของฝ้ายหากมองในรายละเอียดทางกายภาพฝ้าย พบว่าอัตราส่วนความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึงประมาณ 2 ต่อ 1 ทำให้ความสามารถในการยืดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง โดยทางกายภาพฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีลักษณะภายนอกที่หยาบเป็นหลอดแบน [2, 8] ขั้วกันเป็นเกลียวและจากกล้องจุลทรรศน์ภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายรูปไตหรือเม็ดถั่วที่มีช่องว่างกลางกลวงเป็นช่องส่งน้ำ (lumen) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพวาดแสดงภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย [9]

- 1 – ชั้นของไขมัน
- 2 – ผนังชั้นแรก
- 3 – ผนังชั้นสอง
- 4 – ผนังชั้นสาม
- 5 – ช่องส่งน้ำ

ภาพตัดขวางของฝ้ายระยะแรกมีลักษณะเป็นตัว U ผนังเซลล์บางขณะที่ยังอ่อนอยู่ ต่อมาเส้นใยมีอายุมากขึ้นผนังก็เริ่มหนา มีลักษณะเป็นรูปถั่วมากขึ้น รูกกลางที่ท่อส่งน้ำจะหดเล็กลง ผิวนอกดูคล้ายฟิล์มมันเคลือบอยู่ ผนังชั้นแรกเป็นผนังชั้นที่เกิดก่อนเป็นชั้นบาง ขณะที่ท่อส่งน้ำตรงกลางใหญ่ดูคล้ายท่อ ต่อมาเจริญเติบโตมากขึ้นผนังชั้นแรกจะมีความหนาเพิ่มขึ้นขยายจากผิวเข้าสู่ส่วนกลาง การเจริญเติบโตเป็นชั้นๆ คล้ายวงปีในลำต้นทำให้ท่อส่งน้ำส่วนกลางถูกบีบเล็กลง แต่ละชั้นของผนังที่ขยายเข้าไปมีความหนาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ อาหารและน้ำ เปลือกที่หนาเพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า ผนังชั้นสองและชั้นสาม ตามลำดับ แต่ละชั้นที่เจริญเติบโตขึ้นนี้ประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดอันเกิดจากการต่อกันยาวของลูกโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงต่อกัน และลักษณะการจัดเรียงต่อกันนี้เองที่ทำให้ในบางครั้งมีทิศทางการเรียงที่สลับทิศสวนทางกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ทำให้เกิดเกลียวฝ้ายหรือบิดตัวคล้ายริบบิ้นขึ้นตามความยาวของเส้นใย



รูปที่ 2.3 ภาพวาดแสดงภาพตามความยาวของเส้นใยฝ้าย [9]

2.1.1.2 สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบนบิดขั้วกันเป็นเกลียว พื้นที่หน้าตัดเป็นเม็ดถั่วตรงกลางเป็นรูซึ่งเกิดจากท่อส่งน้ำตามแกนกลางของเส้นใยนั่นเอง ผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

ความยาวเส้นใย เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง $1/8-2 \frac{1}{2}$ นิ้ว (3-63 มิลลิเมตร) โดยทั่วไปฝ้ายยาวมีความแข็งแรงดีกว่าฝ้ายสั้น

สี ปกติฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพบเป็นสีครีมหรือสีน้ำตาล

ความเงามัน โดยธรรมชาติฝ้ายมีความมันน้อย ยกเว้นที่ผ่านการทำซุบมัน (mercerization) แล้วความเงามันจะดีขึ้น

ความแข็งแรง ฝ้ายเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงปานกลาง ความทนแรงดึง ณ จุดขาด มีค่าประมาณ 3.0-5.0 กรัมต่อแดเนียร์ (g/denier) เมื่อเปียกน้ำฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 10-20 ฝ้ายที่ผ่านกระบวนการซุบมันแล้วความแข็งแรงจะสูงขึ้น โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายแปรโดยตรงไปตามความยาวของเส้นใยเมื่อนำมาตีเกลียวเป็นด้าย เส้นใยาวจะมีจุดสัมผัสและการเกาะกันของเส้นใยมากกว่าเส้นใยสั้น ทำให้เกิดแรงเสียดทานได้มากกว่า ส่งผลให้การทนต่อแรงดึงสูงขึ้น

การยืดตัว เป็นเส้นใยที่มีการยืดตัวดีกว่าลินิน แต่ต่ำกว่าไหมและขนสัตว์ เกลียวฝ้ายที่เกิดจากธรรมชาติทำให้มีการยืดตัวที่ดีและนำมาปั่นเป็นด้ายได้ง่ายสามารถยืดตัวได้ประมาณร้อยละ 3-7

การคืนตัวจากแรงอัด ฝ้ายมีความสามารถในการคืนตัวภายหลังที่ถูกกดทับได้ต่ำ เกิดการยับได้ง่าย ในปัจจุบันมีการตกแต่งสำเร็จหลายวิธีที่จะช่วยให้ปัญหาของการยับลดลง

การดูดซึมความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานอุณหภูมิ 70 องศาฟาเรนไฮต์ (21 องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ฝ้ายมีความสามารถดูดซึมความชื้นได้สูงถึงร้อยละ 7-10 และความแข็งแรงของฝ้ายสูงขึ้นเมื่อเปียก

ความร้อน ฝ้ายทนต่อความร้อนได้ดี อุณหภูมิที่ใช้ในการรีดอาจสูงถึง 400-425 องศาฟาเรนไฮต์ (204-218 องศาเซลเซียส) ในระยะเวลาสั้นๆ ฝ้ายเริ่มไหม้และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 475 องศาฟาเรนไฮต์ (246 องศาเซลเซียส) และถ้าสูงกว่านั้นอาจถูกทำลายได้ สามารถซักได้ด้วยน้ำร้อนระดับ 212 องศาฟาเรนไฮต์ (100 องศาเซลเซียส) และอบแห้งที่ 160-200 องศาฟาเรนไฮต์ (71-93 องศาเซลเซียส)

2.1.1.3 สมบัติทางเคมี

กรด กรดอินทรีย์ เช่น กรดน้ำส้มไม่เป็นอันตรายต่อฝ้าย แต่ถ้าเป็นกรดประเภทกำมะถัน หรือกรดไฮโดรคลอริกจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว และถ้าถูกกรดในตริกทำปฏิกิริยาได้เซลลูโลสไนเตรตมีสมบัติเป็นวัตถุระเบิด

ด่าง ฝ้ายทนต่อสารละลายด่างได้ดี แม้ด่างแก่ที่ใช้เป็นสบู่ในการซักล้างก็ไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย นอกจากนั้นด่างที่เป็นสารเคมีหลักในการทำซุบมันเพื่อทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

สารละลายอินทรีย์ ฝ้ายสามารถซักแห้งได้ เนื่องจากมีความทนทานต่อสารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้ดีมาก

สารซักฟอก สารซักฟอกโดยทั่วไปที่มีขายในตลาดชนิดที่ไม่แก่นักสามารถใช้ซักฟอกฝ้ายได้ แต่ต้องระวังเรื่องของความเข้มข้นและระยะเวลา ประกอบกับภายหลังการซักแล้วควรทำการล้างน้ำสะอาดออกให้หมด สารซักฟอกในกลุ่มสารออกซิไดซ์แก่ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ แมงกานีสไดออกไซด์ และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีผลทำให้ฝ้ายเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็น ออกซีเซลลูโลส (oxycellulose) ที่มีสมบัติอ่อนแอกว่าฝ้ายปกติ ขาดง่ายเมื่อเปียกและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

ราและแมลง ปกติผ้าฝ้ายเกิดราได้ง่าย เนื่องจากแบ่งที่ตกค้างมาจากการลงแบ่งทำให้เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของรา ปัญหานี้แก้ได้โดยการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายภายหลัง สำหรับแมลงก็เช่นเดียวกันเป็นปัญหาสืบเนื่องจากแบ่งที่ตกค้างในฝ้ายเอง

แสง ฝ้ายถูกแสงแดดสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นออกซีเซลลูโลสเปลี่ยนเป็นเหลืองและเสื่อมคุณภาพลง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานของฝ้ายไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง

การย้อมสี สามารถรับสีย้อมได้หลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีแวต นอกจากนั้นอาจเป็นสีไดเร็กและสีเบสิก

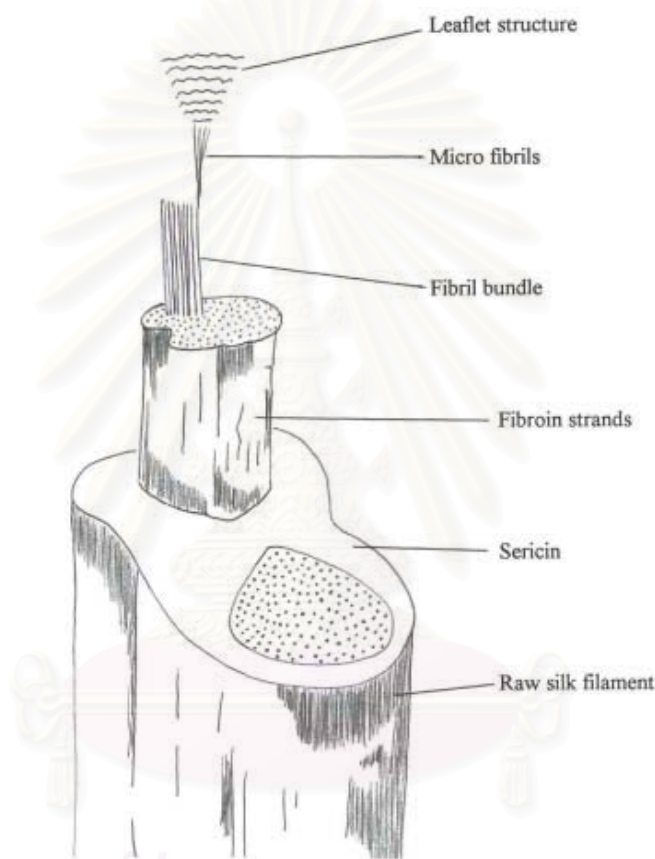
2.1.2 เส้นใยไหม

2.1.2.1 โครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพ

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่มีความหรูหรา สวยงาม มีเอกลักษณ์เป็นของตนเอง มีชีวิตชีวา และการทึงตัวดี มีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้ยังเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาว โดยมีความยาวต่อเนื่องตลอดเส้นที่เกิดจากรังไหมแต่ละรัง ความยาวระหว่าง 1,300-2,000 ฟุต (390-600 เมตร) และอาจพบความยาวต่อรังสูงกว่า 1,000 เมตร แต่ละเส้นของใยไหมประกอบด้วย เส้นใยสองเส้นเกาะติดกันและเคลือบด้วยกาวไหมที่เป็นเซรีซิน (sericin) [7]

พันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุดคือ พันธุ์ *Bombyx mori* วงจรของการเพาะเลี้ยงไหมเริ่มจากขั้นตอนการวางไข่ของตัวแมลงไหม หลังจากไข่ไซสุกและแตกออกตัวหนอนถูกเลี้ยงด้วยใบหม่อนอ่อน โดยใช้เวลาประมาณ 35 วัน หนอนไหมเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วจนมีน้ำหนักประมาณ 10,000 เท่าของแมลงแรกเกิด กิ่งไม้เล็กๆ ที่วางเตรียมในจานก็จะถูกหนอนไหมนำไปใช้เริ่มสร้างรัง เรียกว่า รังไหม (cocoon) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยไหมที่เกิดจากตัวหนอนไหมอัดปล่อยของเหลวออกจากต่อมรวมสองต่อมในรูเดียวกันจากส่วนหัวของตัวหนอน ดังนั้นจึงได้ออกมาเป็นเส้นใยคู่ที่เกาะติดกันด้วยสารเซรีซิน ช่วงเวลาเพียงแค่ 2-3 วัน หนอนไหมสามารถปั่นเส้นใยออกมาได้ยาวถึง 1 ไมล์ (1,600 เมตร) และล้อมรอบตัวของมันเองได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อตัวหนอนเจริญเติบโตต่อไปจะเปลี่ยนสภาพเป็นดักแด้แล้วจึงโตเป็นแมลง จากนั้นจะปล่อยสารละลายที่สามารถละลายเส้นใยที่เป็นรังไหมให้เปิดเป็นรูบริเวณปลายของรังเพื่อคลานออกสู่ภายนอกได้ ดังนั้นในการให้เส้นใยยาวต่อเนื่องในรังไหมนั้น จำเป็นต้องทำการฆ่าแมลงก่อนเสมอเพื่อป้องกันการที่แมลงจะปล่อยสารละลายเจาะรังไหมขาด ทั้งนี้วิธีการที่ทำกันคือ การนำรังไหมไปต้มซึ่งเป็นการเอากาวไหมออกด้วยในขั้นตอนเดียวกัน จากนั้นจึงสาวไหมออกจากรัง

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น [7, 8] มีผิวเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมนตามรูปที่ 2.4 องค์ประกอบหลักทางเคมีคือ โปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) โดยเส้นใยไหมนี้มีไฟโบรอินอยู่ร้อยละ 70-75 เซรีซินร้อยละ 20-25 ไขมันร้อยละ 2-3 และสารอื่นร้อยละ 1-1.7 ของสารทั้งหมด ซึ่งเซรีซินเป็นส่วน อดัณฐาน ทั้งไฟโบรอินและเซรีซินเป็นส่วนของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 16-18 ชนิด ส่วนใหญ่ได้แก่ ไกลซีน (glycin) อะลานีน (alanine) เซรีน (serine) และไทโรซีน (tyrosine) โดยโครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนทั้ง 4 ชนิดนี้แสดงดังตารางที่ 2.1

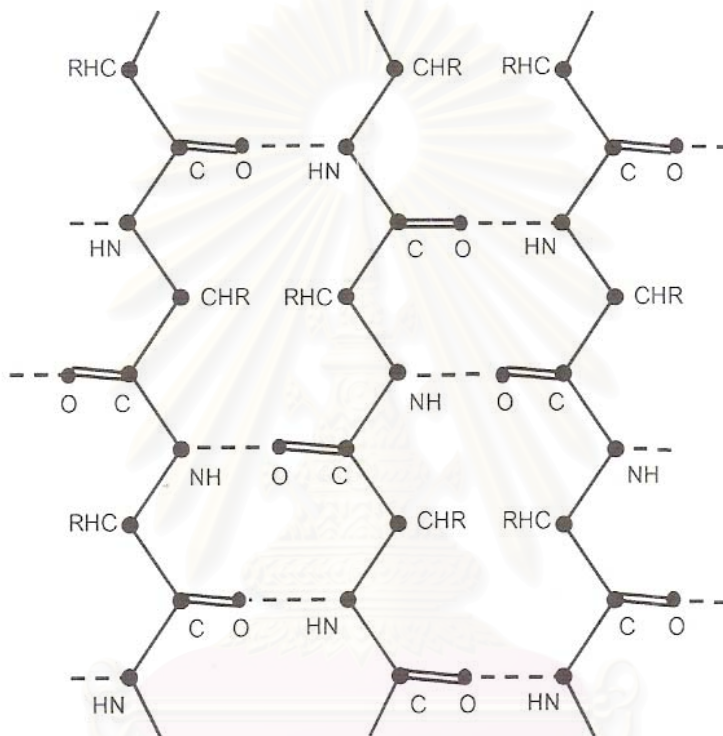


รูปที่ 2.4 ภาพวาดแสดงภาพตามยาวของเส้นใยไหม [10]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักกรดอะมิโนของไฟโบรอินและเซรีซิน

กรดอะมิโน	หมู่ข้างเคียง	เซรีซิน (%mol)	ไฟโบรอิน (%mol)
ไกลซีน	H -	14.75	45.21
อะลานีน	CH ₃ -	4.72	29.16
เซรีน	CH ₂ (OH) -	34.71	11.26
ไทโรซีน	OHC ₆ H ₄ CH ₂ -	3.35	5.14

องค์ประกอบหลักทางเคมีคือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบรอิน ประกอบด้วยธาตุหลักที่สำคัญคือ C, H, O, N และ S ซึ่งมีน้อยมาก โปรตีนไฟโบรอินจะเป็นลูกโซ่โมเลกุลเหยียดยาว ไม่มีพันธะเชื่อมขวางเหมือนขนสัตว์และจากการวิเคราะห์การจัดเรียงตัวด้วยรังสีเอ็กซ์ พบว่า ไฟโบรอินของไหมเป็นแบบเบต้า-ไฟโบรอิน โมเลกุลเรียงตัวกันแน่นเป็นระเบียบตามยาวและมีบางบริเวณที่เรียงตัวหลวมๆ ทำให้ไหมมีคุณสมบัติเหนียวแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของสายโซ่พอลิเบปไทด์ในไฟโบรอิน [7]

2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันด้วยกาวไหม มีความมัน นุ่มนวล เป็นแบบอย่างของการทำเส้นใยประดิษฐ์ ผิวนอกดูเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตลอด ความยาวของเส้นใย หลังจากลอกกาวไหมออกแล้วจะเป็นเส้นใยเดี่ยว เรียบ และพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน นับเป็นเส้นใยที่มีความละเอียดสูงขนาด 1.25 แคนเนียร์ต่อเส้นเท่านั้น

ความยาว ปกติใหม่มีความยาวมากและเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาว ความยาวโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,300–2,000 ฟุต (390–600 เมตร) และอาจพบที่ยาวได้ถึง 4,000 ฟุต (1,200 เมตร) ก็มี

สี ใหม่เดิมมีสีตั้งแต่เหลืองไปจนถึงเทา และปัจจุบันมีหลายสีมากขึ้น

ความมัน ภายหลังจากที่ลอกกาวยไหม่ออกแล้ว ไหมมีความมันดีมาก สวยงาม เป็นรูปแบบการทำเส้นใยประดิษฐ์

ความแข็งแรง ใหม่เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดด้วยผิวที่เรียบมัน ทำให้ลดปัญหาจากการขัดถู ความละเอียดของเส้นใยใหม่ทำให้ผ้าไหมสามารถที่จะได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างที่เบาบางและคงทน มีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5–5.0 กรัม ต่อแคเนียร์ ในขณะที่แห้ง และจะมีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยเมื่อเปียก (ลดลงประมาณร้อยละ 15–25)

สภาพยืดหยุ่น ใหม่เป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่นตัวได้ดี อาจแปรไปบ้างตามชนิดของพันธุ์และการเจริญเติบโต สามารถยืดได้ถึงร้อยละ 20 ของความยาวเดิม เมื่อเทียบกับเส้นใยขนสัตว์จะพบว่าสภาพยืดหยุ่นของไหมไม่ดีเท่าขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางโมเลกุลของไหม ไม่มีพันธะเชื่อมขวาง ดังนั้นจึงไม่อาจดึงกลับคืนสภาพเดิมได้หมด

การคืนตัวจากแรงอัด ใหม่มีความสามารถในการคืนกลับได้ดี ไม่เกิดการยับย่นได้ง่าย สามารถกลับรูปเดิมได้เพียงแขนทึงไว้ระยะเวลาหนึ่ง

การดูดซึมความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานความสามารถในการดูดซึมความชื้นจะอยู่ที่ร้อยละ 11 นับว่ามีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดีด้วย ผ้าไหมทำให้ผู้ใส่รู้สึกสบายไม่ระคายผิวและเนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี จึงรักษาความอบอุ่นได้นานเหมาะแก่การทำเป็นผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น

ความร้อน สามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึงประมาณ 340 องศาฟาเรนไฮต์ (170 องศาเซลเซียส) ในเวลาสั้นๆ มิฉะนั้นจะสลายตัว นับได้ว่าค่อนข้างอ่อนไหวต่อความร้อนแต่ดีกว่าขนสัตว์

ความถ่วงจำเพาะ ใหม่เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเพียง 1.25 แต่ยังมี การทึงตัวดี

2.1.2.3 สมบัติทางเคมี

กรด คล้ายขนสัตว์คือไม่ถูกทำลายโดยกรดทั่วไป แต่กรดที่มีความเข้มข้นสูงสามารถทำลายไหมได้

ด่าง ไม่อ่อนไหวต่อด่างเท่ากับขนสัตว์ แต่อาจถูกทำลายได้ด้วยด่างที่มีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงพอ ด่างแก่มีผลทำให้ไหมมีความมันลดลง ผ้าไหมบางชนิดอาจซักด้วยน้ำสบู่อ่อนและการซักที่ไม่รุนแรงได้ แต่ถ้าจะรีดต้องมีผ้าป้องกันบนผ้าไหมและมีความชื้นพอเหมาะ

เกลือคลอไรด์ ไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหงื่อจะไปทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวหนังจะต้องรักษาความสะอาดให้ดีภายหลังการใช้งานทุกครั้ง

สารละลายอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ไหมส่วนใหญ่ใช้การชักแห้งอยู่เสมอทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อม โดยตัวมันเองแล้วไหมสามารถชักด้วยน้ำยาชักแห้งได้ สำหรับสารชักฟอกไหมมีความทนต่อสารชักฟอกคล้ายขนสัตว์ ถูกทำลายด้วยสารชักฟอกประเภทออกไซด์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปครอไรด์ผสมอยู่ แต่สารชักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์โบเรต ภายใต้ภาวะการชักปกติจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

ราและแมลง ปกติไหมไม่เกิดราได้ง่าย ยกเว้นถูกทิ้งไว้ในภาวะค่อนข้างเปียกชื้นเป็นเวลานาน ไหมสะอาดไม่มีปัญหาของแมลงและรา ยกเว้นแต่ได้ผลจากสารตกค้างสำเร็จหรือสิ่งสกปรกที่ติดมา

แสง ผ้าไหมอ่อนไหวต่อแสงแดด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถูกแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานาน ผ้าไหมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงลดลง ดังนั้นการนำผ้าไหมมาทำเป็นผ้าม่านหรือบุเครื่องเรือนควรมีการป้องกันไม่ให้ถูกแสงแดดมาก

การย้อมสี ไหมมีความสามารถในการย้อมสีได้ดีมาก อาจย้อมสีได้ด้วยสีที่เป็นแอลคิลเบสิกหรือสีไคเร็ก ผ้าไหมเมื่อย้อมสีจะได้สีเข้มกว่าขนสัตว์และสามารถย้อมได้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

2.2 การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ

การตกแต่งสะท้อนน้ำมีความจำเป็นมากสำหรับทำเสื้อผ้ายกกีฬาและเสื้อกันฝน ผลิตภัณฑ์เพอร์ฟิเจอร์ พรอม และเคหะสิ่งทออื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอใช้กับงานภายนอก ที่ไม่ต้องการเปียกหรือน้ำซึมผ่านได้ โดยปกติแล้วเราสามารถนำผ้ามาตกแต่งการสะท้อนน้ำในปัจจุบันมีหลายวิธี [2, 9, 11] ด้วยสารเคมี เช่น

- สบู่/เกลืออะลูมิเนียม
- สบู่/ไข/เกลืออะลูมิเนียม
- ไข/เกลืออะลูมิเนียม
- ไข/เกลือเซอร์โคเนียม
- สารประกอบไพริดีนัม เช่น สเตียอมีโดเมทิลไพริดีนัมคลอไรด์ (stearamidomethyl pyridinum chloride)
- พาราฟินแว็กซ์/เรซิน
- สารประกอบเชิงซ้อนออร์แกโนเมททัลลิก เช่น สเตียอโตโครมิกคลอไรด์ (stearatochromic chloride)
- ซิลิโคน เช่น พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (polydimethyl siloxanes)
- สารประกอบฟลูออโรคาร์บอน

เทคนิคในการเตรียมผ้าให้มีสมบัติสะท้อนน้ำแบ่งออกเป็น 3 วิธี [9, 12, 13]

2.2.1 การเกาะติดของสารสะท้อนน้ำบนพื้นผิวเส้นใยด้วยแรงทางกายภาพ

หลักการ นำเทคนิคของเกลือมาประยุกต์ ขั้นตอนเริ่มจากการทำให้วัสดุสิ่งทออิมมัตวด้วยสารละลายอิมันชั้นที่มีสบู่และโซลอยู่ จากนั้นทำให้แห้งจะได้พื้นผิวผ้าที่เต็มไปด้วยสารละลายอะลูมิเนียมฟอสเฟตหรืออะซิเตททำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนน้ำได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันนิยมใช้การตกแต่งในขั้นเดียวเป็นระบบอิมันชั้นที่เสถียรของพาราฟิน โซล และเกลืออะลูมิเนียมหรือเกลือเซอร์โคเนียมเป็นหลัก ความคงทนต่อการซักแปรปรวน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้โซล/เกลือเซอร์โคเนียมเป็นหลัก มีความคงทนต่อการซักดีกว่าโซล/เกลืออะลูมิเนียมและสบู่/เกลือของโลหะร่วมกันเสียด้วย นอกจากนี้ถ้าต้องการให้มีบางส่วนเกาะเส้นใยแน่นโดยการแทนที่โซล/เกลืออะลูมิเนียมกับเกลือเซอร์โคเนียมร่วมกันสะสมบนเส้นใย ทำให้ความคงทนต่อการซักดีขึ้นแต่อย่างไรก็ตามมันสามารถเคลื่อนที่หลุดออกจากพื้นผิวผ้าได้ง่ายในอุณหภูมิการซักที่ร้อนสูง

2.2.2 การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารไม่ชอบน้ำกับเส้นใย

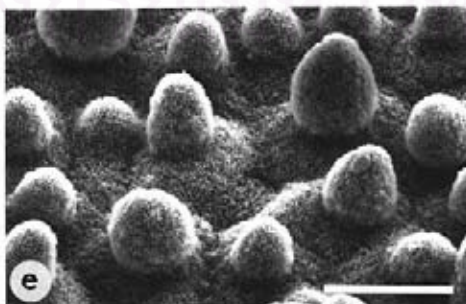
หลักการ เกิดปฏิกิริยากับเส้นใยด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันกับอีเทอร์ริฟิเคชันบนเส้นใยเซลลูโลสกับสารสะท้อนน้ำ ทำให้ความคงทนต่อการซักดี สารเคมีที่ใช้มีหลายประเภทอาทิเช่น อนุพันธ์กรดไขมันที่มีประจุบวกที่ชอบทำปฏิกิริยากับเส้นใยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกสารประเภทไพริดีนัม แต่มีข้อเสียมักมีสารไพริดีนปล่อยออกมา มีกลิ่นเหม็นและเป็นพิษในระหว่างกระบวนการตกแต่งที่ความร้อน ส่วนเรซินสังเคราะห์ที่ได้จากการดัดแปรไขมันและพาราฟินแวกซ์/เรซิน มีประสิทธิภาพดีมาก สารตกแต่งเรซิน เช่น ยูเรียฟอสเฟตไฮโดรเจนและเมลามีนฟอสเฟต ดีไฮด์ เป็นสารเชื่อมขวางระหว่างเส้นใยภายในโมเลกุลเกิดพันธะโคเวเลนต์โดยมีหมู่ไม่ชอบน้ำเป็นตัวกำหนดสมบัติสะท้อนน้ำของผ้า อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปลดปล่อยฟอสเฟต ดีไฮด์สูง มีกลิ่นคล้ายผลไม้แต่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังมีอนุพันธ์ของกรดไขมันที่ประกอบด้วยโลหะ สารประกอบเชิงซ้อนออร์แกโนเมทัลลิกของโครเมียม ที่ใช้กันแต่มีข้อเสียทำให้สีผ้าซีดและเป็นปัญหาแก๊สแวลลุ่ม ภายหลังการตกแต่งสำเร็จน้ำทิ้งที่ออกมานั้นมีโลหะโครเมียมปนเปื้อน จึงมีการใช้อย่างจำกัด ไม่เป็นที่นิยม

2.2.3 การเกิดเป็นฟิล์มสะท้อนน้ำเคลือบรอบเส้นใย

หลักการ เป็นการนำพอลิเมอร์มาใช้ เคลือบเป็นฟิล์มใช้ได้กับเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติ พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นพวกซิลิโคนปัจจุบันนิยมใช้กันมากในการตกแต่งสะท้อนน้ำ ส่วนเมทิลไฮโดรเจนและอนุพันธ์ไดเมทิลนำมาใช้ร่วมกัน ได้ผ้าสะท้อนน้ำดีและผิวสัมผัสนุ่ม สำหรับพวกสารพอลิซิลอกเซนจะปรับปรุงสมบัติต้านทานสิ่งสกปรก ช่วยทำให้ผ้าดูแลรักษาง่ายและคงทนต่อการยับ แต่อย่างไรก็ตามการตกแต่งสะท้อนน้ำนี้ยังมีข้อเสียคือ ไม่มีความคงทนของสีต่อแสงและการซักถู เมื่อใช้ไปนานๆ แผ่นฟิล์มที่เคลือบจะแยกแตกทำให้สมบัติสะท้อนน้ำลดลง นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกฟลูออโรคาร์บอนที่ใช้เตรียมผ้าสะท้อนน้ำและน้ำมัน ทำให้พื้นผิวผ้ามีแรงดึงผิวต่ำลงส่งผลให้การสะท้อนน้ำดีขึ้น มีข้อเสียคือ ทั้งระหว่างและหลังกระบวนการตกแต่งมีสารประกอบฟลูออรีนปลดปล่อยออกมาเป็นอันตรายต่อร่างกาย ผิวหนังและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในปัจจุบันจึงพยายามเลิกใช้สารประกอบที่มีฟลูออรีนมาตกแต่งสะท้อนน้ำ

2.3 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect)

เมื่อน้ำหยดลงบนใบบัว [4, 14] หยดน้ำจะไม่แตกกระจายเปียกใบบัว แต่จะกลิ้งลงไปรวมกันตรงกลาง สาเหตุที่ทำให้ผิวใบบัวไม่เปียกนี้ เกิดจากที่ผิวหน้าของใบบัวประกอบไปด้วยโครงสร้างคล้ายหนามจำนวนมาก และกระจายอยู่ทั่วไปอย่างเป็นระเบียบ โดยหนามแต่ละอันมีความเล็กขนาดนาโนเมตร ส่งผลให้พื้นผิวด้านหน้าของใบบัวมีลักษณะขรุขระและขนเล็ก ๆ เหล่านี้ยังถูกเคลือบด้วยสารซึ่งมีลักษณะคล้ายแว็กซ์ มีสมบัติไม่ชอบน้ำแสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 เมื่อหยดน้ำตกลงมากกระทบกับใบบัวขณะที่ขรุขระอากาศที่อยู่ระหว่างช่องของขนจะพองหยดน้ำไม่ไปสัมผัสกับผิวใบบัว หยดน้ำจะมีมุมสัมผัสมีค่าใกล้เคียง 180 องศา ทำให้หยดน้ำมีลักษณะกลม ไม่มีความเสียดและกลิ้งไปมาตลอดเวลา ส่งผลให้ใบบัวแสดงสมบัติไม่เปียกน้ำเลยซึ่งเรียกผิวแบบนี้ว่า superhydrophobic surface

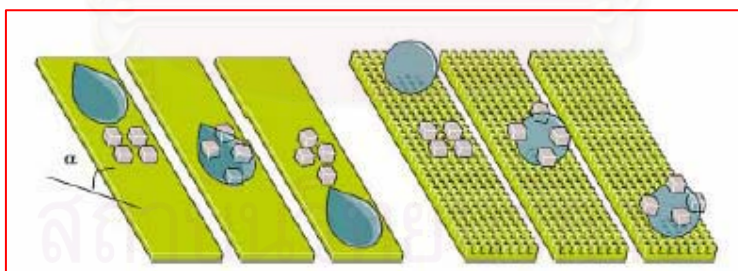


รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายพื้นผิวใบบัว [14]



รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายหยดน้ำบนพื้นผิวใบบัว [15]

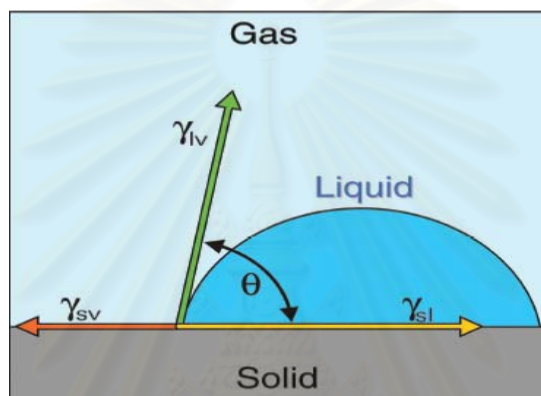
ดังนั้นเมื่อฝุ่นผงและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ติดอยู่ที่ใบบัว จะมีแรงยึดเกาะน้อยเนื่องจากมีพื้นที่เพียงเล็กน้อยบนปลายหนามเท่านั้นที่สัมผัสกับฝุ่นและเมื่อหยดน้ำตกลงมาบนใบบัว แรงดึงดูดระหว่างผิวของหยดน้ำกับฝุ่นจะมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างฝุ่นกับใบบัว ฝุ่นจึงติดไปกับผิวของหยดน้ำขณะที่หยดน้ำกลิ้งลงมาจากใบบัว ทำให้ผิวของใบบัวสะอาดอยู่เสมอ เรียกสมบัติแบบนี้ว่า self cleaning surface [16] ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากการศึกษาปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว ทำให้นักวิทยาศาสตร์มีแนวความคิดในการสร้างเสื้อผ้ากันน้ำและคราบสกปรก โดยนำเสื้อผ้ามาเคลือบด้วยอนุภาคนาโนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ทำให้น้ำและของเหลวบางชนิดเมื่อสัมผัสกับผ้าก็จะกลายเป็นหยดไหลลงมาไม่ซึมเข้าไปในเนื้อผ้า ทำให้เสื้อผ้าสะอาดอยู่ได้นานและคราบสกปรกจะไม่ฝังแน่น



รูปที่ 2.8 แบบจำลองพื้นผิวที่สามารถทำความสะอาดตนเองได้ [14]

2.4 มุมสัมผัสของน้ำ (contact angle)

เป็นที่ทราบกันว่าพื้นผิวใบบัวสะท้อนน้ำ มีสมบัติไม่ชอบน้ำและพลังงานพื้นผิวต่ำ ในขณะที่น้ำเป็นของเหลวที่มีพลังงานพื้นผิวสูง จึงทำให้น้ำไม่สามารถแทรกลงไปพื้นผิวได้ พื้นผิวจึงไม่เกิดการเปียก การสะท้อนน้ำบนผิววัสดุทราบได้จากการวัดมุมสัมผัสของน้ำ [17] เป็นมุมสัมผัสที่เกิดจากจุดบนเส้นสัมผัสของเฟส 3 เฟส ที่มีอย่างน้อย 2 เฟสที่สัมผัสกัน หาได้โดยลากเส้นสัมผัสของหยดของเหลวกับพื้นผิว ดังรูปที่ 2.9 หนึ่งในเฟสทั้ง 3 ต้องเป็นของเหลว อีกเฟสหนึ่งจะเป็นของแข็งหรือของเหลวและเฟสที่ 3 จะเป็นอากาศหรือของเหลว



รูปที่ 2.9 มุมสัมผัสของเหลว [18]

$$\gamma_{s,v} = \text{แรงตึงผิววัสดุ}$$

$$\gamma_{l,v} = \text{แรงตึงผิวของเหลว}$$

$$\gamma_{s,l} = \text{แรงตึงผิวที่อยู่ระหว่างของเหลวกับของแข็ง}$$

$$\theta = \text{มุมสัมผัสของเหลว}$$

ค่ามุมสัมผัสจะขึ้นกับพลังงานพื้นผิวและแรงตึงผิวของเหลว ถ้าพื้นผิวมีการเปียกที่สมบูรณ์กับของเหลว หยดของเหลวจะแบ่งออกไปทั่วพื้นผิว ทำให้มุมสัมผัสมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ขณะเดียวกันถ้าพื้นผิวสามารถเปียกโดยของเหลวได้ไม่เต็มที่ มุมสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับพื้นผิวก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-180 องศา โดยที่ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงแสดงว่าผิวสัมผัสมีสมบัติสะท้อนน้ำที่ดี แต่ถ้ามุมสัมผัสของน้ำต่ำแสดงว่าพื้นผิวถูกทำให้เปียกง่าย

สำหรับงานวิจัยนี้สารเคลือบผิวที่ใช้ในการตกแต่งสะท้อนน้ำของผ้าเป็นสารออร์แกโนซิลอนที่มีความยาวสายโซ่โมเลกุลยาวๆ โดยจะหันด้าน R (หมู่อัลคิล) มาเกาะกันที่ผิว ส่งผลให้พื้นผิวมีค่าพลังงานพื้นผิวต่ำ ในขณะที่น้ำมีค่าพลังงานพื้นผิวสูง ความแตกต่างของค่าพลังงาน

พื้นผิว (surface energy) ส่งผลให้น้ำไม่สามารถแทรกไปที่ผิว พื้นผิวจึงไม่เปียกจึงกล่าวได้ว่าพื้นผิวสะท้อนน้ำได้

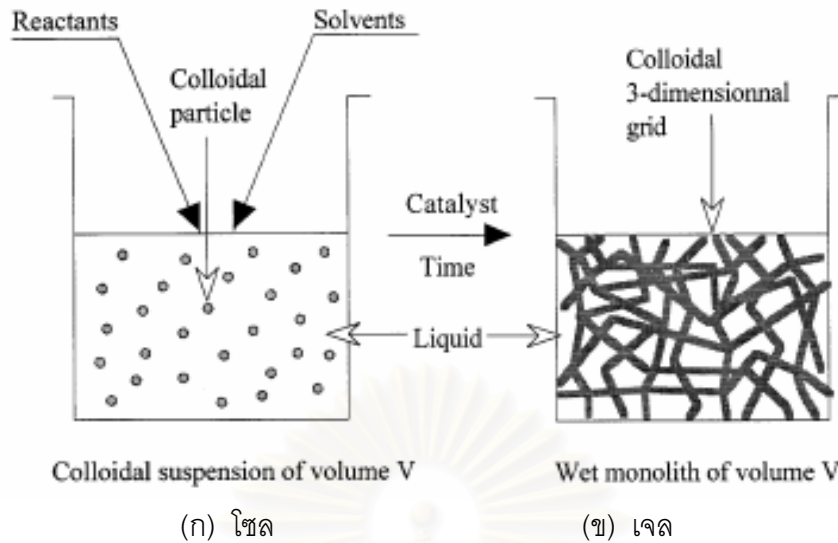
2.5 กระบวนการโซล-เจล (sol-gel process)

โซล-เจล เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเซรามิกและแก้วจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิต่ำของโลหะอัลคอกไซด์ (metal alkoxide) โดยเริ่มจากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของโลหะอัลคอกไซด์ก่อนในน้ำ ตามด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นโดยอาศัยกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากสถานะของเหลวกลายเป็นโซล หรือ อนุภาคเล็กๆ ที่ละลายอยู่ในตัวกลาง (sol-solution) ไปเป็นของแข็ง (gel-gelation) แสดงดังรูปที่ 2.10 วิธีนี้สามารถใช้ในการเคลือบผิววัสดุและการผลิตฟิล์มบาง [19]

โซล คือ อนุภาคคอลลอยด์ของสารผสมซึ่งเป็นของแข็งกระจายตัวอยู่ในตัวกลางของเหลว อนุภาคนั้นอาจมีรูปผลึกหรือรูปอสัณฐานก็ได้

เจล คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเข้าด้วยกันหรือกล่าวได้ว่าเกิดโครงสร้างแบบตาข่ายซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคของแข็งต่อเนื่องและเฟสของเหลวของอนุภาคคอลลอยด์ การเกิดพันธะภายในโครงสร้างอาจผันกลับได้ถ้าหากระบบที่เป็นอนุภาคได้รับแรงสั่นสะเทือนหรือไม่สามารถผันกลับได้ถ้าหากระบบเปลี่ยนสภาพเป็นพอลิเมอรัสภาพของการเกิดเจลเกิดขึ้นหลังจากโซลถูกเทลงบนแบบเพื่อให้ได้รูปร่างต่างๆ ตามแบบและการเกิดพันธะจะไม่หยุดที่ gel point แต่จะเกิดเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการควบแน่นเพียงพอ ซึ่งขณะนั้นตัวทำละลายจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว เกิดการหดตัวจะมีการสร้างพันธะขึ้นมาเพื่อยึดเหนี่ยวไว้ภายในโครงสร้าง

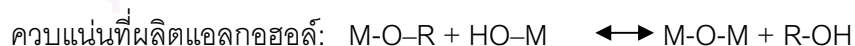
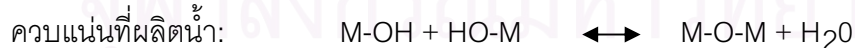
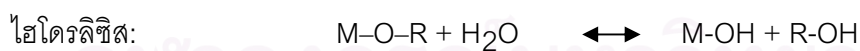
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 กระบวนการโซล-เจล [19]

กระบวนการที่ผลิตโดยวิธีโซล-เจลเป็นกระบวนการผลิตที่มีประโยชน์หลายอย่างในการผลิตเซรามิกและแก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง โดยทั่วไปกระบวนการโซล-เจลเป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “โซล” ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน เป็นของแข็งที่เรียกว่า “เจล”

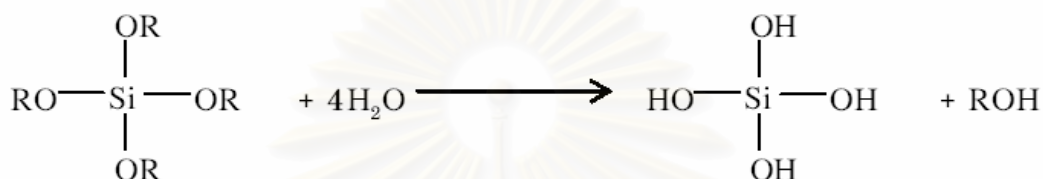
ปฏิกิริยาที่สำคัญในกระบวนการโซล-เจล [20] มี 3 ปฏิกิริยา คือ ไฮโดรลิซิส ควบแน่นของน้ำและควบแน่นของแอลกอฮอล์ ดังสมการ มีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ ความเป็นกรด-ด่าง ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ อัตราส่วนของโมลต่อน้ำและอัลคอกไซด์ของโลหะ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ในภาวะที่ต่างกันจะทำโซลและเจลที่ได้ มีสมบัติและโครงสร้างต่างกัน



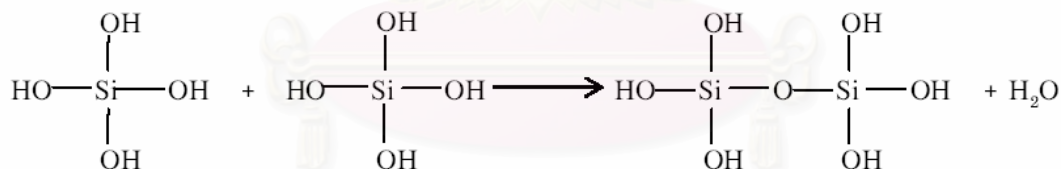
เมื่อ M แทนโลหะ ได้แก่ Si, Zr, Ti, Al, Sn, Ce และ OR แทนหมู่อัลคอกไซด์

ขั้นตอนแรกของการทำโซล-เจล คือ การผสมสารตั้งต้น (precursor) กับน้ำ สารตั้งต้นที่นิยมใช้ในกระบวนการโซล-เจล เป็นสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะที่ล้อมรอบด้วยลิแกนด์ที่ไว

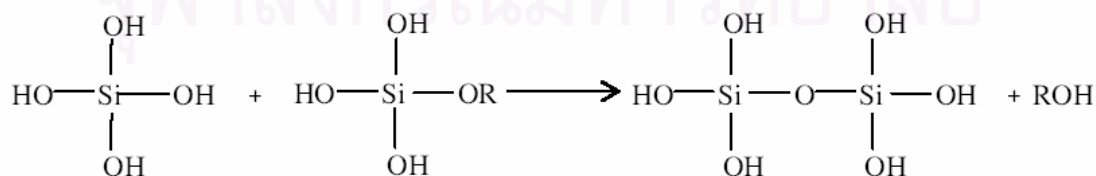
ต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น อัลคอกไซด์ของโลหะ เป็นสารตั้งต้นที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี เช่น เตตระเมทอกซีซิลเลน (TMOS) และ เตตระเอทอกซีซิลเลน (TEOS) ส่วนอัลคอกไซด์ของโลหะชนิดอื่น เช่น อะลูมิเนียม ไททาเนียม และโบรอน ก็มีใช้กันแพร่หลาย โดยกรณีใช้ TEOS เช่น $\text{Si}(\text{OR})_4$ ซึ่ง R คือ C_2H_5 จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ดังสมการ เกิดจากการแทนที่หมู่อัลคอกไซด์ (-OR) ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH)



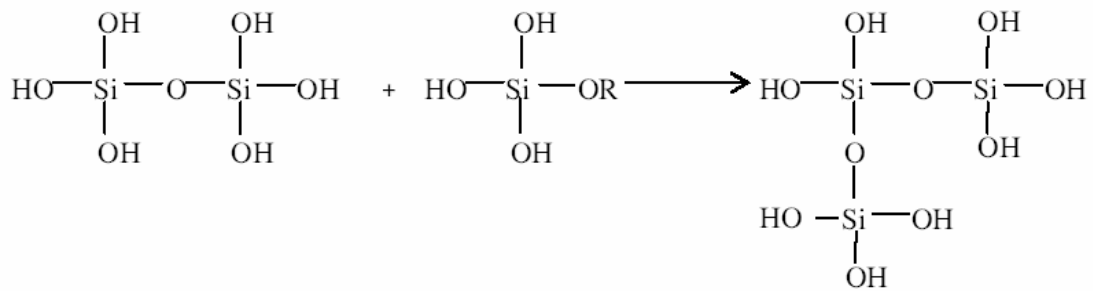
และตามด้วยเกิดปฏิกิริยาควบแน่นที่เกิดจากการรวมหมู่ซิลานอล (-Si-OH) เพื่อสร้างพันธะซิลอกเซน (-Si-O-Si-) เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นน้ำหรือแอลกอฮอล์ ดังสมการปฏิกิริยาควบแน่นผลิตน้ำ (water condensation reaction)



หรือปฏิกิริยาควบแน่นที่ผลิตแอลกอฮอล์ (alcohol condensation reaction)



สารประกอบที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นต่อไปจนกลายเป็นโครงร่างตาข่ายซิลิกา อยู่ในภาวะที่เรียกว่าเจล จึงเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น



ในกระบวนการโซล-เจลผลิตภัณฑ์เบื้องต้นคือ โซลเมื่อปล่อยให้แห้งโซลจะค่อยๆ เกิดพันธะเชื่อมต่อกันเป็นเจลซึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย โซลสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ พาร์ติคิวเลทโซล (particulate sols) โดยทั่วไปเมื่อโซลมีขนาดมากกว่า 5 นาโนเมตร และพอลิเมอร์โซล (polymeric sols) ในกรณีที่มีโซลมีขนาดน้อยกว่า 1 นาโนเมตร ทำให้เจลที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะเช่นเดียวกันคือ พาร์ติคิวเลทเจล (particulate gels) และพอลิเมอร์เจล (polymeric gels) โดยที่พาร์ติคิวเลทเจล หมายถึงมวลลักษณะยึดหยุ่นได้เกิดจากอนุภาคโซลเชื่อมกันด้วยแรงที่ผิว (surface force เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์) เกิดโครงสร้างเชื่อมกันขึ้น ส่วนพอลิเมอร์เจลหมายถึงมวลลักษณะยึดหยุ่นได้ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงของโซลด้วยพันธะโคเวเลนต์

2.5.1 ชนิดของเจล

โครงสร้างของเจลประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์หรือโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งโครงสร้างของเจลสำหรับการผลิตหรือการนำไปใช้งานสามารถแบ่งชนิดของเจลได้เป็น 2 ประเภท [20] คือ พาร์ติคิวเลทเจล (particulate gels) และพอลิเมอร์เจล (polymeric gels)

2.5.1.1 พาร์ติคิวเลทเจล (particulate gels)

พาร์ติคิวเลทเจลเป็นสารแขวนลอยในของเหลวเพื่อที่จะเกิดเป็นโซล ประกอบด้วยโครงสร้างตาข่ายของอนุภาคแอนไฮเดรต (anhydrous) ซึ่งจะจับกันด้วยแรงดึงดูด โครงสร้างแบบนี้มีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าพอลิเมอร์เจล ผลซึ่งเกิดจากการที่รูพรุนมีขนาดใหญ่ ทำให้แรงกดดันภายในช่องว่างที่เป็นรูพรุนลดน้อยลงระหว่างการทำให้แห้งส่งผลให้เกิดการหดตัวน้อยลงด้วย เพราะว่าการแพร่ผ่านของรูพรุนของของเหลวในระบบออกมาได้ง่ายและมากกว่า ซึ่งหดตัวต่ำทำให้การแตกของเจลขณะการอบแห้งลดต่ำลงด้วยและขนาดของรูพรุนมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคด้วย คืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีรูพรุนขนาดใหญ่ด้วย โดยปกติการเตรียม

เจลชนิดนี้สามารถเตรียมได้โดยการทำให้ของเหลวในเจลระเหยออกไปหรือการใส่กรดหรือเบสลงไปเล็กน้อยเพื่อลดความเสถียรของอนุภาคแขวนลอย

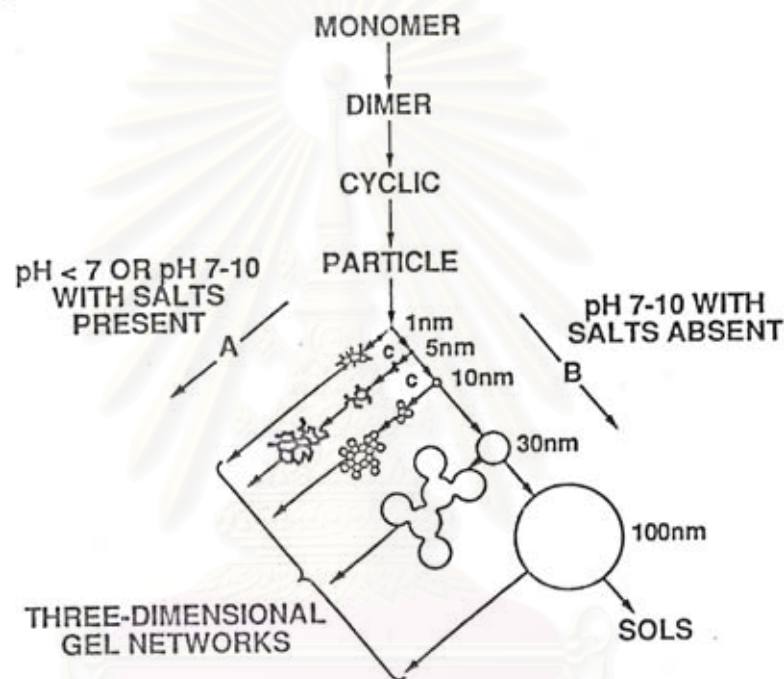
2.5.1.2 พอลิเมอร์เจล (polymeric gels)

พอลิเมอร์เจลเตรียมได้โดยการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของสารประกอบโลหะอินทรีย์ คือ อัลคอกไซด์ เพื่อที่จะเกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างตาข่ายแบบร่างแห 3 มิติ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้แก่ไฮโดรลิซิส ควบแน่นและพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยเจลจะเกิดการพัวพันและเกิดการเชื่อมโยงของสายพอลิเมอร์หลังจากการเตรียมเจล เจลจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นอสังฐานที่ไม่แข็งแรงซึ่งในส่วนนี้จะมีโครงสร้างที่เป็นตาข่ายโดยภายในประกอบไปด้วยรูพรุนขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ภายในด้วย

การเกิดเจลสามารถสังเกตได้ชัดเพราะความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อของเหลวในเจลระเหยออก เจลสามารถเกิดการหดตัวได้เพราะว่าการที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก จะเกิดแรงกดดันของรูพรุนสูงซึ่งอาจทำให้โครงสร้างของเจลถูกทำลายได้ แต่เนื่องจากการที่เจลเกิดการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้โครงสร้างของเจลที่สร้างไม่ถูกทำลาย

การเกิดเจลทั้ง 2 ลักษณะสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ ในกรณีพาร์ทิคูลเจลสามารถอธิบายได้โดยอาศัยรูปที่ 2.11 ซึ่งพบว่าในระบบที่มีน้ำปริมาณมากเกินพอและไม่ใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายร่วม ลักษณะของเจลที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายน้ำกล่าวคือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมาเกาะกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ลักษณะเช่นนี้สามารถเกิดขึ้นในระบบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7 ถึง 10) ได้เมื่อมีเกลืออยู่ในระบบจะทำหน้าที่ลดแรงผลักดันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคมาเกาะตัวกันเป็นโครงสร้างเจลได้ง่ายขึ้น ส่วนในระบบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7 ถึง 10 และไม่มีเกลือ อนุภาคจะโตขึ้นมากเป็นโซลที่เสถียรซึ่งจะไม่สามารถเกาะตัวกันเป็นเจลได้ สำหรับการเกิดเจลในกรณีพาร์ทิคูลเจล ปฏิกิริยาควบแน่นเกิดในทิศทางที่จะได้พันธะซิลอกเซนมากที่สุดและเหลือหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) น้อยที่สุดอยู่ที่ปลายของโมเลกุล ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาควบแน่นจึงเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับ โดยเริ่มจากมอนอเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์ที่เป็นเส้นตรง ไตรเมอร์ที่เป็นวง เตตระเมอร์ที่เป็นวง จนกระทั่งวงของพอลิเมอร์ที่ใหญ่ขึ้น จนเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง จะเห็นได้ว่าการเกิดอนุภาคในลักษณะนี้จะต้องอาศัยปัจจัย 2 ประการคือ การแตกตัวของวงพอลิเมอร์ (depolymerisation) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาควบแน่นและการเติมมอนอเมอร์เข้าสู่วงพอลิเมอร์เดิมพบว่าการเพิ่มขนาดของอนุภาคจะหยุดเมื่อความแตกต่างระหว่าง

ความสามารถในการละลายของอนุภาค(การสลายของพันธะซิลอกเซน) ที่เล็กที่สุดและอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดเพียง 2 ถึง 3 ส่วนในล้านส่วน (2-3 ppm) เท่านั้น จากนั้นแต่ละอนุภาคซึ่งมีลักษณะเป็นคอลลอยด์อยู่ในของเหลวเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์เกาะกันเป็นโซ่ของอนุภาคจนกระทั่งเป็นโครงร่างตาข่ายซึ่งแผ่ขยายในตัวกลางที่เป็นของเหลวมีความหนาเพิ่มขึ้นจนมีลักษณะเป็นเจล การเพิ่มขนาดของอนุภาคและการเกาะกลุ่มของอนุภาคสามารถจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันได้ขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2.11 แสดงพฤติกรรมของการเกิดพอลิเมอร์ของอนุภาคซิลิกาในสารละลายน้ำ

(A) ในสารละลายกรดหรือมีการเติมเกลือ อนุภาครวมกลุ่มกันเป็นโครงข่าย 3 มิติ และเกิดเป็นเจล (B) ในสารละลายเบสอนุภาคขนาดใหญ่เกิดขึ้นและจำนวนอนุภาคลดลง [20]

ส่วนในกรณีของพอลิเมอร์เจล จากกระบวนการไซล-เจลที่สภาพความเป็นกรด-ด่างต่ำ (ค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำกว่า 7) โดยเฉพาะในระบบสารละลายแอลกอฮอล์-น้ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาควบแน่นจะต่ำกว่าระบบของสารละลายน้ำภายใต้ภาวะเหล่านี้ เสนอว่า การแตกของวงพอลิเมอร์เกิดขึ้นน้อยที่สุด ปฏิกิริยาควบแน่นจะเป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ และพันธะซิลอกเซนไม่สามารถถูกไฮโดรไลซ์ กระบวนการควบแน่นจะคล้ายคลึงกับการ

เกิดปฏิกิริยาควบแน่นของมอนอเมอร์ของสารอินทรีย์เป็นสายโซ่ ทำให้เจลเกิดขึ้นในลักษณะโครงข่ายโมเลกุล พอลิเมอร์สามมิติ

2.5.2 เทคนิคการเกิดโซล-เจล

เทคนิคการเกิดโซล-เจล สามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอนคือ

2.5.2.1 สารละลาย (solution) สำหรับงานวิจัยนี้สารตั้งต้นคือ

เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลเลน ละลายในตัวทำละลาย

2.5.2.2 การเกิดเจล (gelation) เมื่อผสมสารตั้งต้นเข้าด้วยกันแล้วปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ยังเป็นปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสและควบแน่นซึ่งมีความหนืดของระบบสูงขึ้น

นิยามการเกิดเจลคือ การที่สารละลายยังมีความสามารถในการไหลได้และเมื่อเวลาผ่านไปสารละลายนั้นได้กลายเป็นของแข็งซึ่งไม่สามารถไหลได้

2.5.2.3. การบ่ม (aging) เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันก็จะนำไปสู่การเกิดเจลซึ่งสามารถหยุดปฏิกิริยานี้ได้ถ้าเจลถูกบ่มในสารละลาย สายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดการแพร่ผ่านและจับโครงสร้างตาข่ายหลักและเมื่อสายโซ่พอลิเมอร์มาเชื่อมต่อกันทำให้โครงสร้างที่ได้มีความแข็งแรงขึ้น

2.5.2.4. การอบแห้ง (drying) เพื่อลดเวลาในการเคลือบฟิล์ม ทำให้ฟิล์มแห้งเร็วขึ้นเป็นการระเหยตัวทำละลายออกไปและยังช่วยให้ฟิล์มเกาะผิวดีไม่หลุดเมื่อทำเคลือบชั้นต่อไป

การนำเทคโนโลยีโซล-เจล (sol-gel technology) มาใช้ประโยชน์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น ผงละเอียด ฟิล์มบาง เส้นใยและวัตถุก้อน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป เช่น แก้ว สารเคลือบป้องกันการสึกกร่อน การสะท้อนแสงและการเกาะติดผิวของน้ำ เป็นต้น เทคโนโลยีโซล-เจลจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการผลิตสารหรือวัสดุที่มีสมบัติเฉพาะตัวหรือต้องการความบริสุทธิ์สูงหรือแม้แต่การผลิตสารหรือวัสดุทดแทนการใช้แร่หรือทรัพยากรธรรมชาติหายากและมีอยู่อย่างจำกัดเป็นวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการโซล-เจลจะมีความบริสุทธิ์สูงเนื่องจากการเตรียมสารหรือวัสดุในระดับโมเลกุลทำให้สามารถกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการได้ง่ายนับเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเคมี เทคโนโลยีพลังงาน อุตสาหกรรมรถยนต์และอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น การนำเทคโนโลยีโซล-เจลมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม ยังต้องศึกษาในรายละเอียดเกี่ยวกับ

ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและลักษณะหรือสมบัติของสารหรือวัสดุที่ต้องการ ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากกระบวนการโซล-เจลเป็นเทคโนโลยีการผลิตที่ทำได้ที่อุณหภูมิห้อง สามารถทำได้ตั้งแต่ระดับห้องปฏิบัติการจนถึงระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถสนองตอบความต้องการของผู้บริโภคได้จริง

สำหรับการใช้วิธีการโซล-เจล ปรับปรุงพื้นผิววัสดุเซรามิกและแก้วให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยเตรียมจากสารออร์แกโนซิลิโคนเคลือบผิววัสดุ ที่นิยมใช้เป็นสารเคมีพวกอัลคิลไตรอัลคอกซี ซิลิโคนโดยเฉพาะที่มีสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่ยาวจะช่วยเพิ่มมุมสัมผัสของน้ำ ทำให้ได้พื้นผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำสูง สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิห้องและเป็นมิตรแก่สิ่งแวดล้อม

2.6 พุ่มซิลิกาและออร์แกโนซิลิโคน

2.6.1 พุ่มซิลิกา (fumed silica)

พุ่มซิลิกาเป็นซิลิกอนไดออกไซด์สังเคราะห์ที่ได้จากการเผาซิลิกอนเตตระคลอไรด์ (SiCl_4) ที่อุณหภูมิสูงพร้อมทั้งเป่าอากาศและไฮโดรเจนเข้าด้วยกัน ซึ่งมีอนุภาคละเอียดมาก เป็นปุยเบา และนิ่ม ลักษณะอนุภาคผงสีขาว ทรงกลม มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน พื้นผิวสูง สมบัติทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.3 [21]

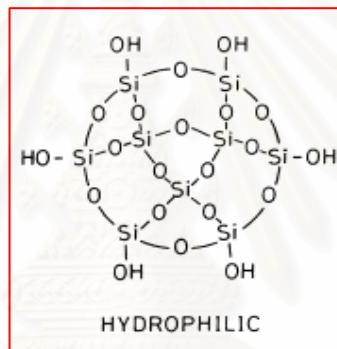
ตารางที่ 2.3 สมบัติของพุ่มซิลิกา

สี	ขาว
โครงสร้าง	วิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์เป็นอสัณฐาน
พื้นที่ผิว	50-380 ตารางเมตรต่อกรัม
ความหนาแน่นของหมู่ซิลานอล	2-4 ซิลานอลต่อตารางนาโนเมตร
ดัชนีหักเห	1.45
ขนาดอนุภาค	7-40 นาโนเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคโดยเฉลี่ย 7-40 นาโนเมตร ขนาดที่แตกต่างกันนี้ตามภาวะการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์พุ่มซิลิกา มีพื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 50-380 ตารางเมตรต่อกรัม อนุภาคพุ่มซิลิกาที่มีพื้นที่ผิวต่ำกว่า 300 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นโครงสร้างที่ไม่มีรูพรุนแต่ถ้าอนุภาคมีพื้นที่ผิวมากกว่า 300 ตารางเมตรต่อกรัม จะมีโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็กมาก การที่มี

อนุภาคละเอียดมากทำให้มันสามารถเพิ่มความหนืดให้แก่ของเหลวได้ทุกประเภท การนำซิลิกาชนิดนี้มาใช้ประโยชน์คือ การนำมาใช้เป็นสารข้น (thickening agent) ให้กับพลาสติกที่การขึ้นรูปหรือการใช้งานที่จำเป็นต้องให้ความหนืดระบบสูง

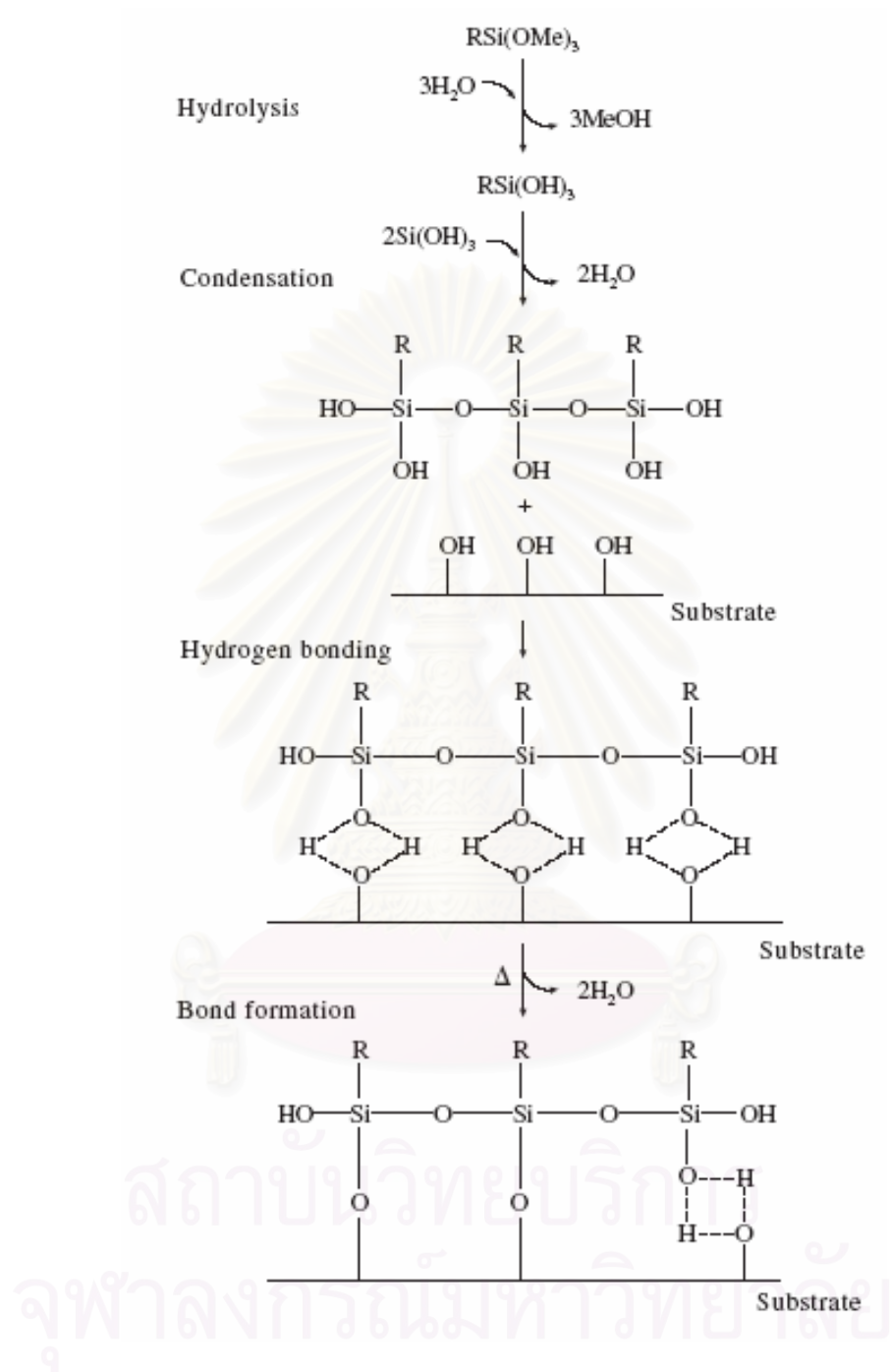
อนุภาคซิลิกาลักษณะพื้นผิวมีหมู่ซิลานอล (-SiOH) และภายในมีพันธะซิลอกเซน (Si-O-Si) แสดงดังรูปที่ 2.11 หมู่ซิลานอลทำให้พื้นผิวมีสมบัติชอบน้ำ อนุภาคสามารถยึดเกาะกันเองด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่ออยู่ในระบบที่มีของเหลวทำให้เพิ่มความหนืด เป็นปรากฏการณ์การเกิดเจลในของเหลวหรือวัสดุแข็งของเหลวที่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมา กล่าวคือ เมื่อปล่อยของเหลวทิ้งไว้จะกลายเป็นเจลที่ยึดกันด้วยพันธะทุติยภูมิและเจลที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำลายได้โดยการกวน เขย่าหรือความร้อนเล็กน้อย เห็นได้ว่าบริเวณที่ทำปฏิกิริยาคือ หมู่ซิลานอล นอกจากนี้ในการปรับปรุงพื้นผิวซิลิกานิยมพวกรสารซิลิโคนเป็นสารประสานจะมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของซิลิกา [22]

2.6.2 ออร์แกนอซิลิโคน (organosilane)

ออร์แกนอซิลิโคนเป็นสารประสานที่นิยมใช้กันมากกับผลิตภัณฑ์วัสดุเซรามิกและแก้วในการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ สูตรทั่วไปคือ [23] $R-(CH_2)_n-Si-X_3$ โดยหมู่ X เป็นสารอินทรีย์ที่เชื่อมกับอะตอมซิลิกอน เช่น อัลคอกซี ฮาโลเจนหรือเอมีน สารออร์แกนอซิลิโคนส่วนใหญ่ที่นิยมใช้หมู่ X เป็นพวกหมู่อัลคอกซีพวกเมทอกซี ($-OCH_3$) และเอทอกซี ($-OC_2H_5$) จะเข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสและปฏิกิริยาควบแน่นเกิดพันธะซิลอกเซนกับวัสดุเซรามิกและแก้ว โดยวัสดุพวกออกไซด์ของโลหะ เช่น ซิลิกอน อะลูมิเนียม เซอร์โคเนียม ดีบุก ไททาเนียมและนิกเกิล จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นที่เสถียร สำหรับออกไซด์ของโบรอน ทองแดง และคาร์บอน จะเกิดพันธะที่เสถียรต่ำ ส่วนออกไซด์ของโลหะแอลคาไลและคาร์บอนเนตจะไม่เกิดพันธะซิลอกเซนที่เสถียร



รูปที่ 2.14 การเกิดปฏิกิริยาของออร์แกโนซิลิโคน [26]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cerne และผู้ร่วมงาน [27] ได้ศึกษาการใช้สารพวกฟลูออรีนในการนำมาตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำบนผ้าฝ้าย พบว่าทำให้พลังงานพื้นผิวเส้นใยต่ำลง เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยเทคนิค goniometric-sessile drop ซึ่งทราบได้ว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 136.6 องศา ส่งผลให้ผ้ามีสมบัติการเปียกน้ำลดลง สำหรับวัสดุสิ่งทอที่มีการเคลือบสารสะท้อนน้ำพวกพอลิฟลูออรีนจะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติพื้นผิวของผ้าเซลลูโลสที่ขอบน้ำเป็นผ้าที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำซึ่งไม่ชอบน้ำ นอกจากนี้ความคงทนต่อการซักสามารถทำให้สูงขึ้นได้โดยผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนเนื่องจากโมเลกุลของสารเคลือบบนผิวผ้ามีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบขึ้น

Daoud และผู้ร่วมงาน [28] ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มเคลือบซิลิกาบนผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิต่ำ ฟิล์มที่ได้ลักษณะโปร่งใสและกันน้ำคงทนถาวร การเคลือบโดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการโซล-เจล โดยเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสและการควบแน่นระหว่างเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีน เตตระเอทอกซีออร์โทซิลิเกตและ 3-ไกลซิดีลออกซีโพรพิลไตรเมทอกซีซิลีนมาทำปฏิกิริยาร่วมกันได้สารเคลือบนาโนคอมโพสิตที่ไม่ชอบน้ำ ทราบได้จากการทดสอบมุมสัมผัสพบว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบมีมุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 141 องศา ในทางตรงกันข้ามก่อนเคลือบมุมสัมผัสเท่ากับ 0 เพราะปกติธรรมชาติของผ้าฝ้ายชอบน้ำมาก สารเคลือบนาโนคอมโพสิต สามารถนำมาใช้กับวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพวกที่มีความต้านทานความร้อนต่ำ เช่น วัสดุสิ่งทอและพลาสติก ทั้งนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถใช้เป็นสารสะท้อนน้ำแทนสารประกอบฟลูออรีน

Han และผู้ร่วมงาน [29] ได้เตรียมพื้นผิวไม่ชอบน้ำสูงโดยอาศัยอนุภาคนาโนที่เตรียมในรูปอิมัลชัน ด้วยการเคลือบอนุภาคนาโนด้วยบิวทิลอะครีเลต-ไดเมทิลซิลอกเซนโคพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถควบคุมสัดส่วนวิทยาของอนุภาคด้วยการระเหยของตัวทำละลายในพอลิเมอร์ทำให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระ เป็นการกำหนดด้วยสารอินทรีย์จากการใช้ร่วมกันระหว่างสารอินทรีย์ที่เคลือบด้วยสารอินทรีย์ทำให้พื้นผิวไม่ชอบน้ำมากขึ้น เมื่อหยดน้ำตกลงบนพื้นผิวสามารถกลิ้งได้ลักษณะเหมือนใบบัวโดยมุมสัมผัสของน้ำเพิ่มขึ้น

Hikita และผู้ร่วมงาน [30] ศึกษาหาวิธีการเตรียมพื้นผิวที่สะท้อนของเหลว สามารถทำได้ง่ายด้วยกระบวนการโซล-เจล โดยเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสและการควบแน่นของสารประกอบอัลคอกซีซิลีน เพื่อเตรียมเป็นฟิล์มหุ้มอนุภาคนาโนที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำและผิวขรุขระ ซึ่งใช้สารเตตระเอทอกซีออร์โทซิลิเกตกับสารฟลูออโรอัลคอกซีซิลีนในสัดส่วนที่เหมาะสมได้พื้นผิวที่มีสมบัติสะท้อนน้ำและน้ำมัน ทั้งนี้ฟิล์มที่ได้โปร่งใสและความคงทนดี

Mahiting และผู้ร่วมงาน [24] ได้เตรียมวัสดุสิ่งทอสะท้อนน้ำโดยการเคลือบด้วยซิลิกาโซลที่ผ่านการดัดแปร โดยเตรียมอนุภาคซิลิกาบริสุทธิ์จากเตตระเอทอกซีออร์โทซิลิเกตมาเข้าร่วมกับ 3-ไกลซิลไดออกซีโพรพิลไตรเอทอกซีซีลีเลน โดยอาศัยปฏิกิริยาโซล-เจลเพื่อให้เป็นซิลิกาที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ไกลซิลหลังจากนั้นผสมกับสารอนุพันธ์ซีลีเลนต่างๆ กัน 3 ชนิด คือ อัลคิลไตรอัลคอกซีซีลีเลน อนุพันธ์ของพอลิซิลอกเซนและสารประกอบซีลีเลนที่มีฟลูออรีน หลังจากได้ซิลิกาโซลแล้วนำไปเคลือบบนผ้าไนลอนและผ้าพอลิเอสเตอร์ผสมฝ้ายเพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ทราบได้จากการวัดมุมสัมผัสพบว่าการไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นอัลคอกซีซีลีเลนที่เติมลงในการเตรียมซิลิกาโซลและความยาวของสายโซ่อัลคิลสูงขึ้น การเคลือบวัสดุสิ่งทอให้มีความไม่ชอบน้ำสูงได้โดยใช้พอลิซิลอกเซนหรือสารประกอบซีลีเลนที่มีฟลูออรีน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความคงทนต่อการซักล้างพบว่าซิลิกาโซลที่มีสารประกอบพวกฟลูออรีนและเติมเฮกซะเดคซิลซีลีเลนเท่านั้นที่มีความคงทนสูง ซึ่งเห็นได้ว่าสารอัลคิลไตรอัลคอกซีซีลีเลนที่มีสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนยาวๆ สามารถใช้แทนสารประกอบฟลูออรีนสำหรับการปรับปรุงพื้นผิววัสดุสิ่งทอ

Tshabalala และผู้ร่วมงาน [31] ศึกษาสมบัติการดูดซับความชื้นและลักษณะพื้นผิวโซล-เจล ซึ่งเกิดจากพอลิซิลอกเซนที่ไม่ชอบน้ำเคลือบอยู่บนเนื้อไม้ โดยการใช้การผสมกันระหว่างเมทิลไตรเอทอกซีซีลีเลนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกับเฮกซะเดคซิลไตรเมทิลซีลีเลนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ได้มีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวทางเคมีและสัณฐานวิทยาของชิ้นไม้ตัวอย่างนั้นสามารถวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR, energy-dispersive X-ray analysis, X-ray photoelectron spectroscopy, SEM และ AFM อธิบายถึงกระบวนการโซล-เจล ทำให้ทราบว่าพอลิซิลอกเซนมีการเชื่อมพันธะทางเคมีกับเนื้อไม้ซึ่งเกิดการควบแน่นบนพื้นผิวที่มีหมู่ไฮดรอกซิล บริเวณพื้นผิวที่มีหมู่ไฮดรอกซิลประกอบด้วยพันธะที่ปรากฏบนโครงสร้างเซลล์ลูโลสของไม้แล้วยังพบว่ากรณีที่โซล-เจลเกิดปฏิกิริยาบนเนื้อไม้ได้ต่ำอันเนื่องจากการระเหยออกไปของน้ำจึงต้องทำภายใต้สุญญากาศ การใช้เมทิลไตรเอทอกซีซีลีเลนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำนั้นจะแทรกซึมอยู่บนพื้นผิวชั้นนอกของเนื้อไม้และเกิดปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ส่วน เฮกซะเดคซิลไตรเมทิลซีลีเลนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงการที่จะแทรกซึมเข้าไปในชั้นผิวนอกนั้นไม่ง่ายในการใช้งานจึงนำมาเชื่อมกับเมทิลไตรเอทอกซีซีลีเลน โดยเฮกซะเดคซิลไตรเมทิลซีลีเลนที่ใช้นี้มีสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนยาวซึ่งจะอยู่ในรูปของพอลิซิลอกเซนที่ไม่ชอบน้ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ผ้าฝ้าย เป็นผ้าทอละลายซัด น้ำหนัก 151.5 กรัมต่อตารางเมตร ที่ผ่านการลอกแป้ง การกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาวเรียบร้อยแล้ว

3.1.2 ผ้าไหม เป็นผ้าทอละลายซัด น้ำหนัก 51.6 กรัมต่อตารางเมตร ที่ผ่านการลอกกาวแล้ว ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ชินวัตรไหมไทย จำกัด

3.1.3 ฟูมซิลิกา (fumed silica) ชื่อทางการค้าคือ AEROSIL 200 มีพื้นที่ผิว 200 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดอนุภาค 14 นาโนเมตร เกรดอุตสาหกรรมสั่งซื้อจากบริษัท JJ Degussa (Thailand) จำกัด

3.1.4 เฮกซะเดซิลไตรเมทอกซีซิลีน ($C_{16}H_{33}Si(OCH_3)_3$, hexadecyltrimethoxysilane) เกรดสำหรับการทดลอง จาก Fluka ประเทศเยอรมันนี

3.1.5 กรดไฮโดรคลอริก จาก J.T Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.6 กรดอะซิติก จาก Merck ประเทศเยอรมันนี

3.1.7 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ($C_{34}H_{62}O_{11}$, Triton X-100) จาก Merck ประเทศเยอรมันนี

3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ขวดวัดปริมาตร

3.2.2 ปีกเกอร์

3.2.3 ปีเปต

3.2.4 กระบอกตวง

3.2.5 แท่งแก้วคน

3.2.6 จานเพาะเชื้อ

3.2.7 หลอดหยด

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 กระจกย้อมสแตนเลส
- 3.3.2 เครื่องอัลตราโซนิก
- 3.3.3 เครื่องจุ่มอัด (padding mangle)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 3.4.1 เครื่องวัดสี (spectrophotometer) รุ่น Macbeth Color-Eye 7000
- 3.4.2 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (contact angle meter) รุ่น CAM-PLUS Tantec
- 3.4.3 เครื่องซักผ้า (gyrowash) รุ่น 415/8 จากบริษัท James H. Heal
- 3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-5410LV
- 3.4.5 เครื่องวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปีด้วยรังสีอินฟราเรด (attenuated total reflectance-fourier transform infrared spectroscopy, ATR-FTIR) รุ่น Microscope Continuum
- 3.4.6 เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (thermogravimetric analyzer, TGA) รุ่น Mettler Toledo TGA/SDTA 851^e

3.5 การเตรียมผ้าสะท้อนน้ำด้วยซิลิกอนไดออกไซด์

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างผ้า

ตัดผ้าชิ้นตัวอย่างทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหมขนาด 10 x 20 เซนติเมตร สำหรับใช้ในการตกแต่งสะท้อนน้ำ

3.5.2 การเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปของสารแขวนลอย

ซึ่งผงพุ่มซิลิกาตามต้องการใส่ลงในกระจกย้อมสแตนเลส เต็มน้ำจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดฝากระจกย้อมสแตนเลส กวนซิลิกอนไดออกไซด์ให้กระจายตัวในน้ำ โดยนำกระจกย้อมสแตนเลสไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิก แล้วทำโซนิกเคชันเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ภายหลังทำโซนิกเคชันจะได้สารแขวนลอยของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความเสถียรไม่ตกตะกอน ทั้งนี้เพราะคลื่นอัลตราโซนิกจะทำให้อนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์ที่จับตัวรวมกัน

แยกตัวเป็นอนุภาคที่เล็กลงจนสามารถแขวนลอยในน้ำได้ด้วยตัวเองโดยไม่อาศัยสารช่วยกระจายตัว



รูปที่ 3.1 เครื่องอัลตราโซนิก



รูปที่ 3.2 ซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปของสารแขวนลอย (ขี้เถ้า) ก่อนทำโซนิคเคชัน และ (ข้าว) ภายหลังทำโซนิคเคชัน

3.5.3 การเตรียมอิมัลชันเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลเลน (preparation of hexadecyltrimethoxysilane emulsion)

เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลเลนเป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นก่อนนำไปใช้เคลือบอนุภาคซิลิกาบนผ้าจึงต้องเตรียมเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลเลนในรูปของอิมัลชันก่อน โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิว วิธีการเตรียมอิมัลชันทำโดยเตรียมผสมสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Triton X-100) 0.5 กรัม เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลเลนตามต้องการ และเติมน้ำจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรจากนั้นใส่ในเครื่องอัลตราโซนิก แล้วทำโซนิกเคชันเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องซึ่งได้เป็นของผสมเนื้อเดียวคล้ายน้ำนม หลังจากนั้นทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในภาวะเป็นกรดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดอะซิติก ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดที่ต้องการ

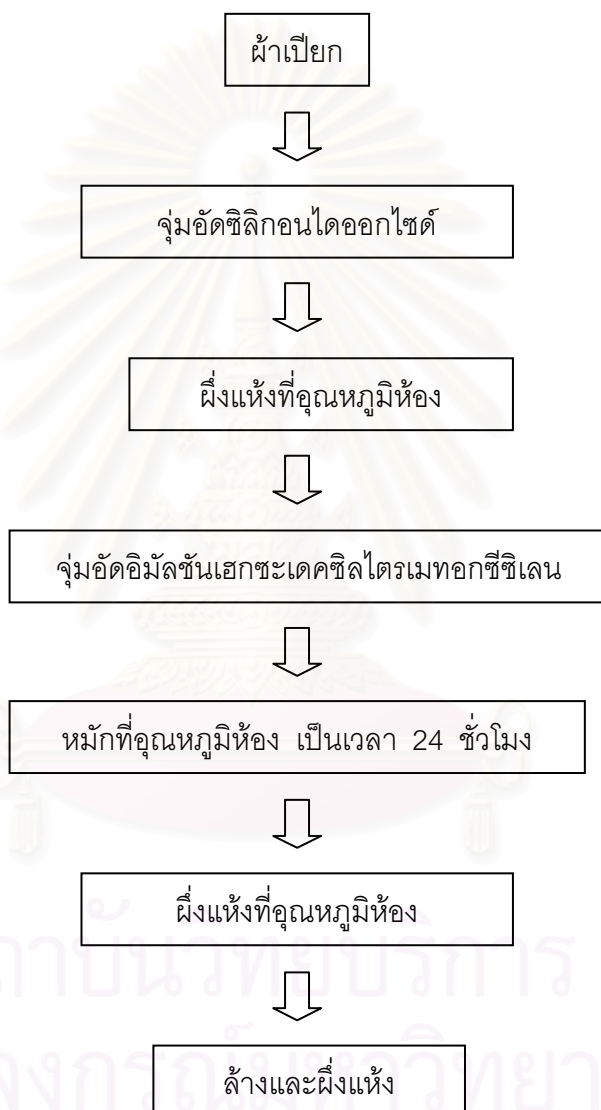
3.5.4 การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ

นำผ้าฝ้ายและผ้าไหม ที่เตรียมไว้ในหัวข้อ 3.5.1 มาทำให้ผ้าเปียกน้ำก่อนด้วยเครื่องจุ่มอัด (pad mangle) ดังรูปที่ 3.3 โดยที่ตั้งค่าความดันไว้เพื่อให้ได้ร้อยละของผ้าเปียก ที่ร้อยละ 80 จากนั้นนำผ้าที่ชุ่มด้วยน้ำที่ได้ ไปทำการจุ่มอัดด้วยสารแขวนลอยซิลิกอนไดออกไซด์แล้วผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และทำการจุ่มอัดอีกครั้งในอิมัลชันเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลเลน ต่อจากนั้นทำการหมักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาหมักนำไปผึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้องอีกครั้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดกระบวนการโซล-เจลเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคซิลิกา หลังจากนั้นนำไปล้างเอาสารลดแรงตึงผิวออกด้วยน้ำ 10 นาที แล้วผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการทดลองเตรียมผ้าสะท้อนน้ำได้สรุปไว้ในดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 เครื่องจุ่มอัด (pad mangle)

ในการทดลองนี้จะศึกษาผลของปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนัก เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนัก และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (กรดไฮโดรคลอริกและกรดอะซิติก ที่ค่าพีเอช 3, 4 และ 5)



ตารางที่ 3.1 การตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำ

3.6 การทดสอบ

3.6.1 ความขาวของผ้า (whiteness) [32]

ความขาวของผ้านิยามวัดเป็นค่าดัชนีความขาว (whiteness index, WI) ซึ่งจะทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 110-2000 เครื่องทดสอบที่ใช้คือเครื่อง spectrophotometer รุ่น Macbeth Color-Eye 7000 ก่อนทำการทดสอบจะต้องทำการตรวจวัดมาตรฐานเครื่องเสียก่อนด้วย black tile (แผ่นเซรามิกสีดำ) และ white tile (แผ่นเซรามิกสีขาว) หลังจากนั้นพับผ้าที่ทดสอบเป็น 4 ทบ ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าช่องที่ใช้สำหรับตรวจวัดการสะท้อนแสงของผ้า โดยจะทำการวัดทั้งด้านหน้าและด้านหลังของผ้า แล้วเครื่องจะระบุค่าความขาวได้เป็น whiteness CIE ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของเครื่อง

สำหรับในระบบซีไออี เพื่อใช้วัดความสว่างที่มุม 10 องศา ออกมาเป็นตัวเลข ตามมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ อิลลูมินันต์ D_{65} ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แสงแทนแสงแดด โดยคำนวณค่าดัชนีความขาว จากสูตรดังนี้

$$W_{10} = Y_{10} + 800(0.3138 - x_{10}) + 1700(0.3310 - y_{10})$$

เมื่อ

W_{10} = ดัชนีความขาว (whiteness index)

Y_{10} = ค่า Y ซีไออีไตรสตีมิวล์สของตัวอย่าง (CIE tristimulus value)

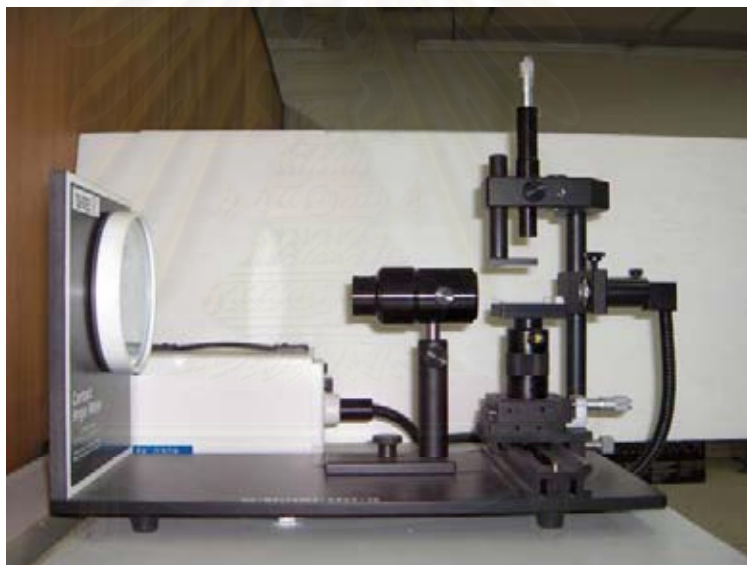
x_{10}, y_{10} = พิกัดโครมาติซิตีของตัวอย่าง (chromaticity coordinates)



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดสี (spectrophotometer)

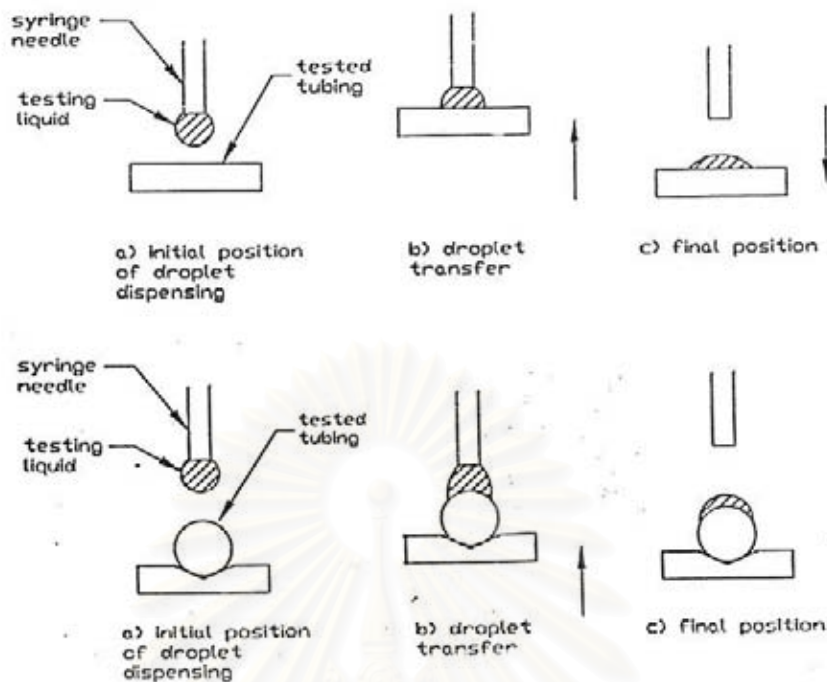
3.6.2 มุมสัมผัสของน้ำ (contact angle)

มุมสัมผัสของน้ำใช้เครื่องทดสอบคือ contact angle meter (goniometer) รุ่น CAM-PLUS Tantec ดังรูปที่ 3.5 โดยการทดสอบมุมสัมผัสจะใช้วิธีที่เรียกว่า sessile drop ดังรูปที่ 3.6 หยดของเหลวจะถูกหยดออกจากหลอดฉีดยาขนาดเล็ก ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 1 หยด เท่ากับ 4 ไมโครลิตร ลงบนพื้นผิวที่ต้องการทดสอบ โดยการนำเอาพื้นผิวขึ้นไปสัมผัสกับหยดที่แขวนอยู่ที่ปลายเข็มฉีดยา เพื่อให้ได้ของเหลวเพียงหยดเดียวที่สัมผัสกับผิวผิว จากนั้นแสงจะถูกส่องผ่านด้านหน้าของเหลวและภาพของหยดของเหลวจะตกลงบนฉากรับภาพซึ่งอยู่ด้านหลังหยดของเหลว มุมสัมผัสจะถูกวัดโดยใช้ฉากวัดมุม (protractor) ที่ติดอยู่กับฉากรับภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยการวัดบนวัสดุสิ่งทอ จะวัดหลังจากหยดของเหลวบนผิวผิวไปแล้ว 20 วินาที แต่ถ้าหยดของเหลวจมภายใน 20 วินาที ถือว่าพื้นผิวนั้นไม่สามารถวัดมุมสัมผัสได้

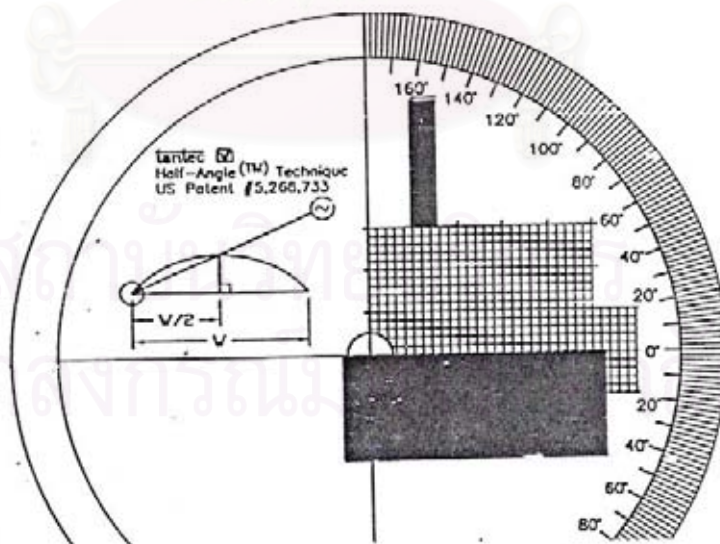


รูปที่ 3.5 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (contact angle meter)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมแสดงวิธีการวัดมุมสัมผัสแบบ sessile drop
 (ภาพบน) ชั้นทดสอบที่เป็นแผ่น
 (ภาพล่าง) ชั้นทดสอบที่เป็นทรงกลม



รูปที่ 3.7 การวัดหามุมสัมผัสโดยใช้ protactor

3.6.3 ความคงทนต่อการซักล้าง (wash fastness) [33]

เป็นการทดสอบมุมสัมผัสของน้ำบนผ้าที่ผ่านการซัก-อบแห้ง 5 ครั้ง โดยเทียบกับมาตรฐาน AATCC 61-2001 เครื่องทดสอบที่ใช้คือ gyrowash รุ่น 415/8 จากบริษัท James H. Heal ประเทศอังกฤษ ตัดขึ้นทดสอบขนาด 2 x 4 นิ้ว ทดสอบการซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ผงซักฟอกมาตรฐาน (WOB) 0.37 % หรือ 0.74 กรัม น้ำ 200 มิลลิลิตร และลูกบอลสแตนเลส 10 ลูก เป็นเวลา 45 นาที (ซัก 1 ครั้ง เท่ากับซักด้วยมือ 5 ครั้ง) จากนั้นนำผ้าที่ทำการทดสอบล้างน้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หรืออบไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อผ้าแห้งนำไปทดสอบมุมสัมผัสของน้ำ



รูปที่ 3.8 เครื่องซักผ้า (gyrowash)

3.6.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวผ้า

จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-5410LV จากบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวผ้าฝ้ายและผ้าไหม สามารถหาได้โดยนำตัวอย่างที่แห้งสนิทขนาดระดับมิลลิเมตรมาฉาบทองด้วยเครื่องฉาบทอง แล้วจึงนำมาใส่ไว้ที่ช่องตัวอย่างในคอลัมน์ สร้างสุญญากาศภายในคอลัมน์ จากนั้นลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวดตัวอย่างและถูกผลัดดันให้เคลื่อนไปบนผิวดตัวอย่างนั้น ปฏิกริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวดตัวอย่างทำให้มีอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งมีพลังงานต่ำหลุดออกมาจากบริเวณชั้นบนของผิวดตัวอย่าง ซึ่งจะถูกจับและรวมเป็นสัญญาณในที่สุดจะถูกประมวลผลเป็นภาพขาวดำปรากฏบนจอโทรทัศน์



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.6.5 การศึกษาลักษณะเฉพาะของสารเคลือบบนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่ง สะท้อนน้ำด้วยเทคนิค ATR-FTIR

เอทีอาร์-เอฟทีไออาร์ (attenuated total reflectance-fourier transform infrared spectroscopy, ATR-FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้หาลักษณะเฉพาะของสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการที่โมเลกุลแต่ละโมเลกุลจะมีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่แตกต่างกัน โดยเมื่อโมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรด โมเลกุลจะถูกกระตุ้นเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ในสถานะพื้น ทำ

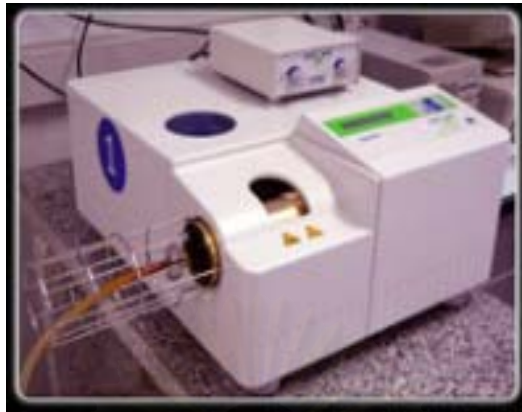
ให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) หรือเกิดการหมุน (rotation) เข้าสู่ดีเทกเตอร์เพื่อตรวจวัดและแสดงผลออกมาเป็นค่าความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับร้อยละของการดูดกลืนแสง จุดที่ ATR-FTIR แตกต่างจาก FTIR ทั่วไปคือ ATR นั้นในการตรวจวัดบริเวณพื้นผิวเท่านั้น งานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค ATR เพราะต้องการตรวจวัดสารที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยใช้เครื่องรุ่น Microscope Continuum จากบริษัท Thermo Electron Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่ได้ระหว่าง $4000 - 750 \text{ cm}^{-1}$ และใช้ scan time เท่ากับ 32 resolution เท่ากับ 8



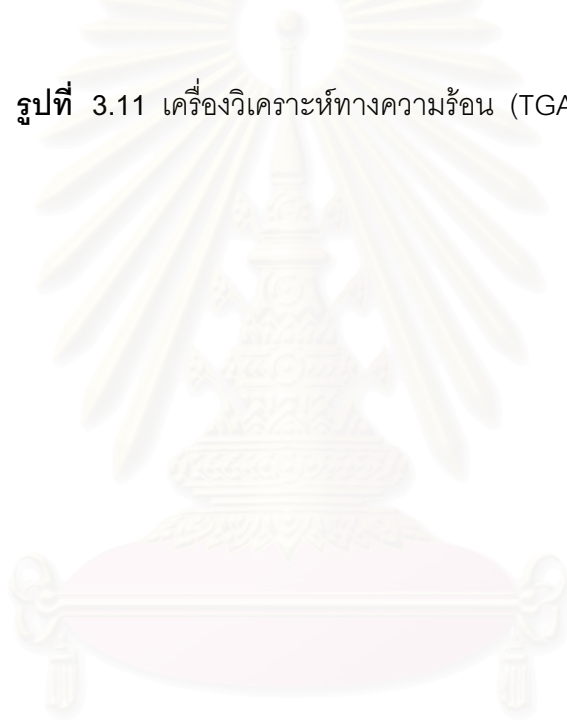
รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปีด้วยรังสีอินฟราเรด (ATR-FTIR)

3.6.6 การวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส (TGA)

สำหรับงานวิจัยนี้จะนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่เคลือบสารออร์แกนอซิลเลน มาทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง TGA รุ่น Mettler Toledo TGA/SDTA 851° ดังรูปที่ 3.11 เพื่อหาปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เหลือบนผ้าภายหลังจากการเผาไหม้ ตัวอย่างทดสอบที่ใช้น้ำหนักระหว่าง 3-4 มิลลิกรัม ใส่ในถาดอะลูมินา (alumina pan) กำหนดภาวะทดสอบโดยอุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สออกซิเจน



รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (TGA)

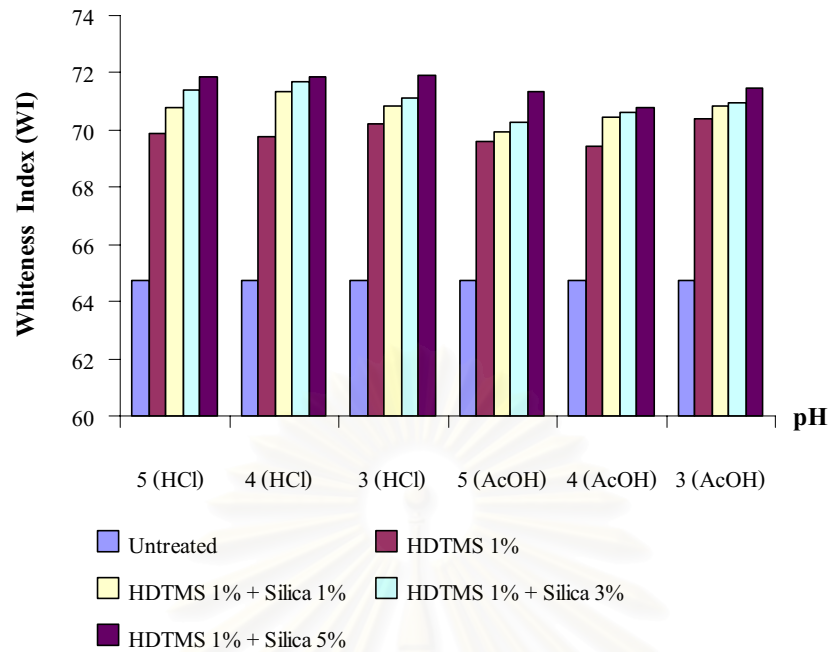


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

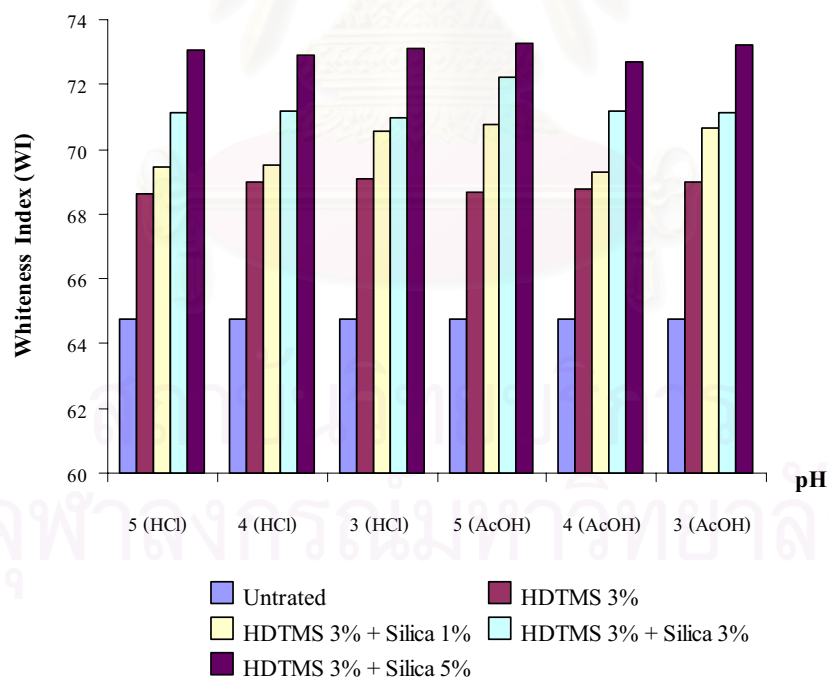
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ดัชนีความขาวของผ้า

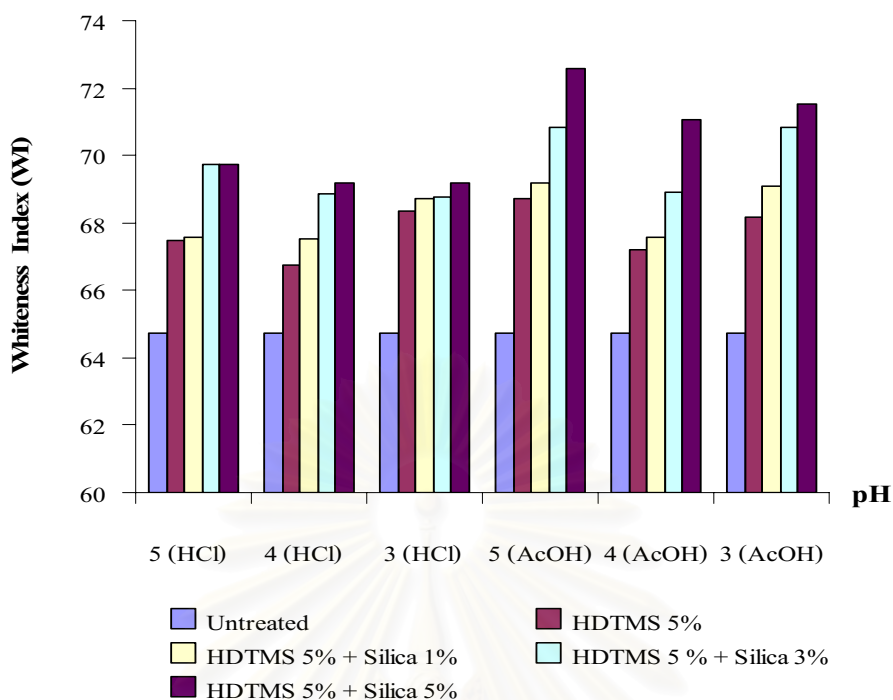
ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ โดยทำการเคลือบซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าหลังจากนั้นทำการหุ้มอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ซึ่งสารตัวนี้จะเกิดปฏิกิริยาโซล-เจลล้อมรอบอนุภาคซิลิกาทำให้อนุภาคซิลิกามีสมบัติสะท้อนน้ำ จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าผ้ามีความขาวเพิ่มขึ้นภายหลังการตกแต่งสะท้อนน้ำ ซึ่งยืนยันด้วยเครื่อง spectrophotometer เพื่อวัดหาความขาวของผ้า ผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1-4.3 เป็นที่ทราบกันว่าซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นพุ่มซิลิกามีลักษณะอนุภาคเป็นผงละเอียดมากขนาด 14 นาโนเมตร มีสีขาว ส่งผลให้ตัวมันเองสามารถสะท้อนแสงได้ดี ดังนั้นเมื่อใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ปริมาณมากขึ้นทำให้ความขาวของผ้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงรูปที่ 4.1-4.3 ค่าดัชนีความขาวของผ้าที่ยังไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำจะอยู่ที่ 64.75 ส่วนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนัก โดยการหุ้มด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นเป็น 70.81, 71.39 และ 71.83 ตามลำดับ เมื่อแปรผันความเข้มข้นของเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนหรือแปรผันความเป็นกรดตามชนิดของกรดที่ใช้ พบว่าทั้งเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนและกรดไม่มีผลต่อความขาวของผ้าแต่อย่างใด ดังนั้นจึงสรุปได้ความขาวที่เพิ่มของผ้านั้นเนื่องมาจากการเติมอนุภาคซิลิกา สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าอนุภาคซิลิกามีความสามารถในการสะท้อนแสงได้ดีกว่าพื้นผิวสิ่งทอที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ



รูปที่ 4.1 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนักที่ภาวะกรดต่างกัน

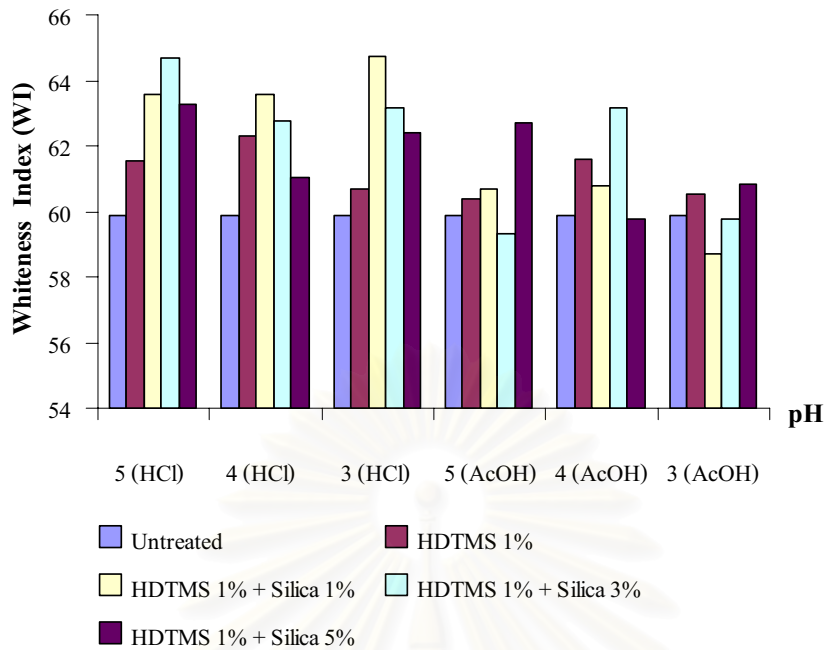


รูปที่ 4.2 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนักที่ภาวะกรดต่างกัน

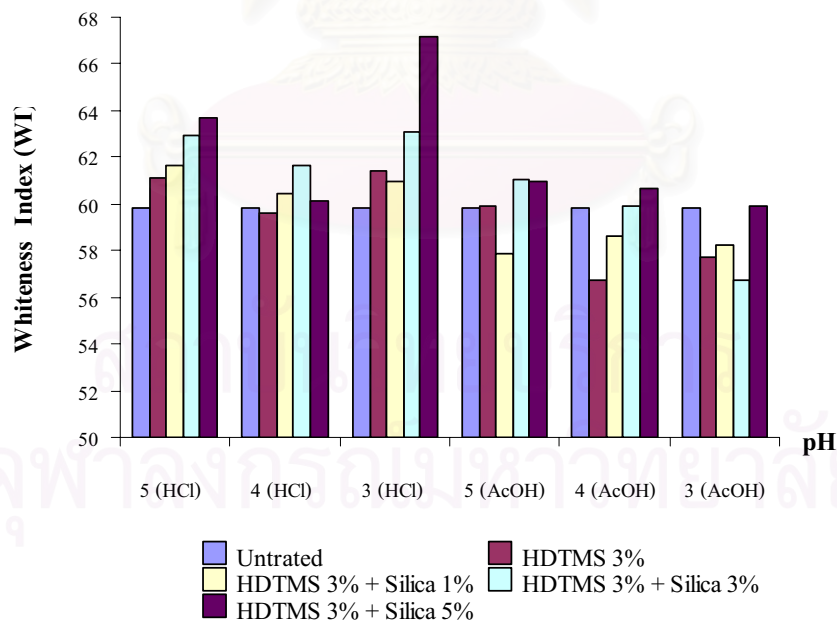


รูปที่ 4.3 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนักที่ภาวะกรดต่างกัน

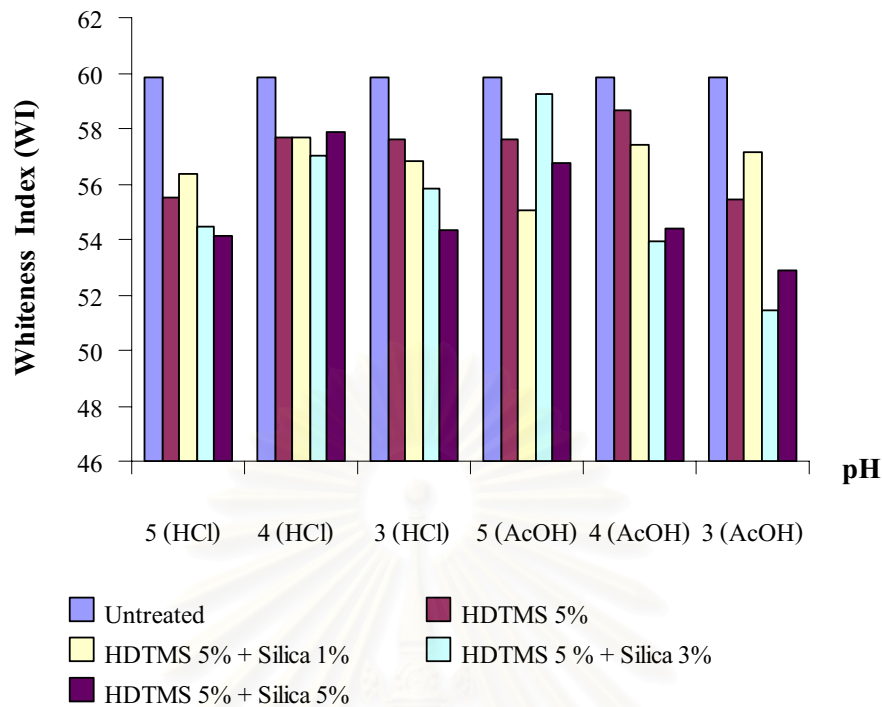
ส่วนผ้าไหมจะเห็นได้จากรูปที่ 4.4-4.6 ค่าดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ยังไม่ได้ตกแต่งสะท้อนน้ำอยู่ที่ 59.86 สำหรับความขาวของผ้าไหมที่ตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยวิธีการไฮโดรเจลนี้ค่อนข้างแปรปรวน ดังตัวอย่างการทดลองเช่น การตกแต่งด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนัก โดยการหุ้มด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นเป็น 63.56, 64.66 และ 63.29 ตามลำดับ นอกจากนี้บางการทดลองยังทำให้ความขาวของผ้าลดลง เช่น การตกแต่งด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนัก โดยการหุ้มด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าดัชนีความขาวลดลงเป็น 56.34, 54.47 และ 54.13 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าถึงแม้จะเพิ่มปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ก็ไม่ทำให้ผ้าขาวขึ้นเท่าที่ควร อันเนื่องจากอิทธิพลความขรุขระบนพื้นผิวผ้าไหมที่เพิ่มขึ้นซึ่งเดิมนั้นก่อนนำไปตกแต่งไหมมีผิวเรียบมัน และเมื่อนำผ้าไหมไปเคลือบด้วยนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ทำให้พื้นผิวขรุขระส่งผลให้แสงที่ตกกระทบแล้วสะท้อนน้ำไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นระเบียบ บางส่วนเกิดการหักเหแสงทำให้ความเงามันลดลงและความขาวลดลงไปด้วย



รูปที่ 4.4 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนักที่ภาวะกรดต่างกัน



รูปที่ 4.5 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนักที่ภาวะกรดต่างกัน

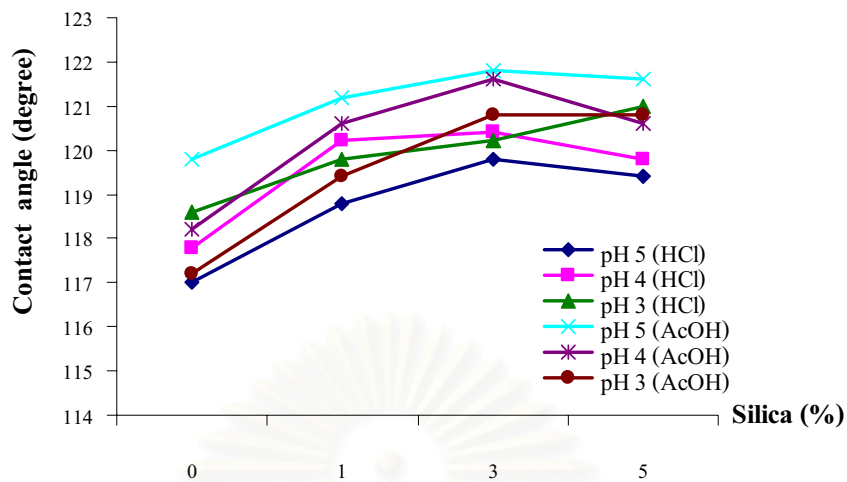


รูปที่ 4.6 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนักที่ภาวะกรดต่างกัน

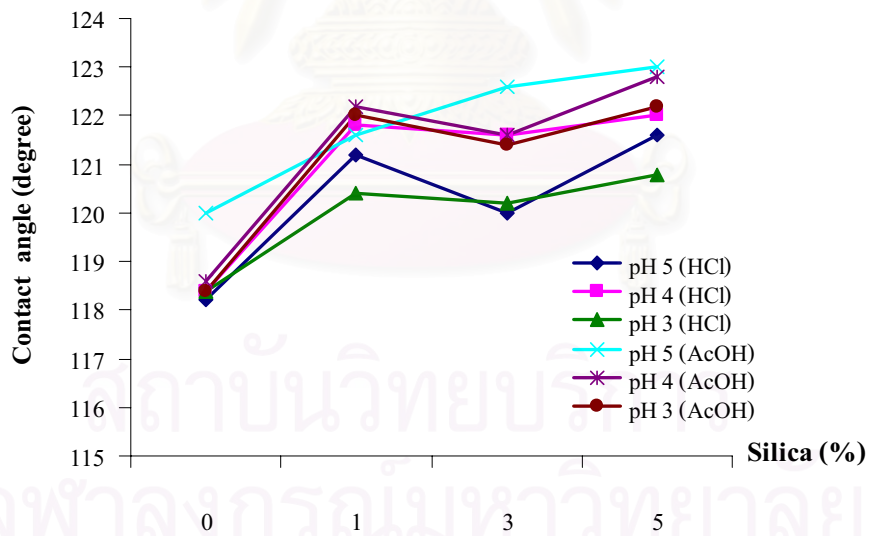
4.2 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้า

การตกแต่งสะท้อนน้ำบนวัสดุสิ่งทอทำได้ด้วยเทคนิคซิล-เจลโดยเตรียมจากการจุ่มอัดอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวเส้นใย หลังจากนั้นทำการหุ้มอนุภาคเหล่านี้ด้วยสารไม่ชอบน้ำเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนซึ่งมีสายโซ่โมเลกุลเป็นไฮโดรคาร์บอน 16 อะตอม เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนจะเกิดปฏิกิริยาซิล-เจลที่ผิวของอนุภาคซิลิกา ซึ่งภายหลังเสร็จสิ้นปฏิกิริยาเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนจะเกาะติดกับอนุภาคซิลิกาด้วยพันธะซิลอกเซน (siloxane bond) ทำให้ได้อนุภาคมีผิวไม่ชอบน้ำ เมื่ออนุภาคนี้นี้ตกแต่งอยู่บนผิวของผ้าจึงทำให้ผ้า (ผ้าฝ้ายและไหม) มีสมบัติไม่เปียกน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.12 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อใช้ปริมาณเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผ้าสะท้อนน้ำที่มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายอยู่ที่ 117 องศา และผ้าไหมอยู่ที่ 118.2 องศา ซึ่งผลการทดลองที่ได้กล่าวข้างต้นนี้ไม่ได้เคลือบซิลิกอนไดออกไซด์บนพื้นผิวผ้าเพียงแต่เป็นการเคลือบด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนอย่างเดียว

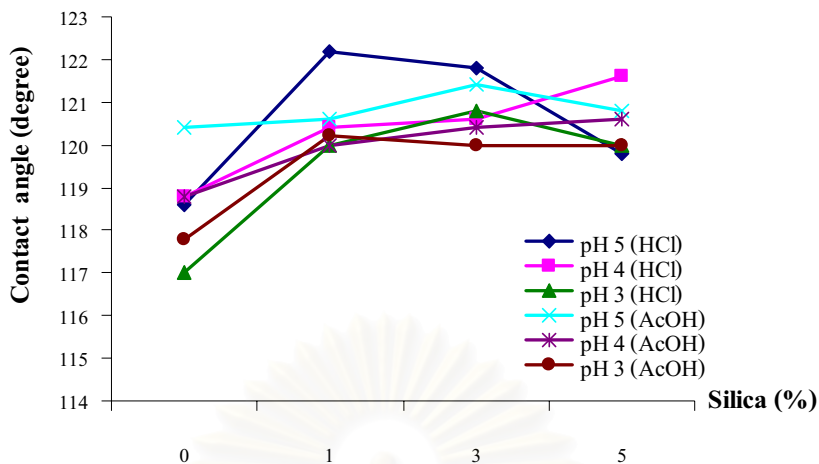
นอกจากนี้การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงขึ้น (แต่ไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก เนื่องจากถ้าใช้ในปริมาณมากกว่านี้ซิลิกอนไดออกไซด์จะไม่เสถียรในรูปสารแขวนลอย เกิดการตกตะกอนได้) ทำให้พื้นผิวผ้าเกิดความขรุขระ ส่งผลมุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายและผ้าไหมสูงขึ้น ทำให้พื้นผิวผ้าสะท้อนน้ำได้ดี ผลจากแรงยึดเกาะน้ำที่ติดอยู่บนพื้นผิวน้อย เนื่องจากมีพื้นที่เพียงเล็กน้อยบนอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์เท่านั้นที่สัมผัสกับหยดน้ำ ทำให้หยดน้ำสามารถกลิ้งออกจากพื้นผิวผ้าได้ ลักษณะเหมือนผิวใบบัว ดังตัวอย่างการทดลองการตกแต่งด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนัก โดยการหุ้มด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผ้าสะท้อนน้ำที่มีมุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายอยู่ที่ 118.8, 119.8 และ 119.4 องศา ตามลำดับ ส่วนมุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมอยู่ที่ 118.6, 121.2 และ 120.4 องศา ตามลำดับ จากการสังเกตผลการทดลองโดยรวมพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผ้า (ผ้าฝ้ายและไหม) สะท้อนน้ำด้วยอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ในการทดลองนี้คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าเท่ากับพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้มุมสัมผัสของน้ำบนผิวผ้าทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหมเท่ากับ 123 องศา เป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำที่มีมุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 0 องศา เพราะได้ทำการทดลองหยดน้ำลงบนผิวน้ำซึมผ่านอย่างรวดเร็ว อันเนื่องจากฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสและไหมเป็นเส้นใยโปรตีนซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีสมบัติชอบน้ำสูง ต่างจากผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำเมื่อหยดน้ำลงบนพื้นผิวผ้า ทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหมไม่เปียกน้ำ หยดน้ำไม่สามารถซึมผ่านบนพื้นผิวผ้าได้ ในการทดลองนี้กล่าวได้ว่าการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำ (ผ้าฝ้ายและไหม) ทำได้โดยปรับปรุงพื้นผิวผ้าให้มีพลังงานพื้นผิวดำและเกิดความขรุขระมากขึ้น



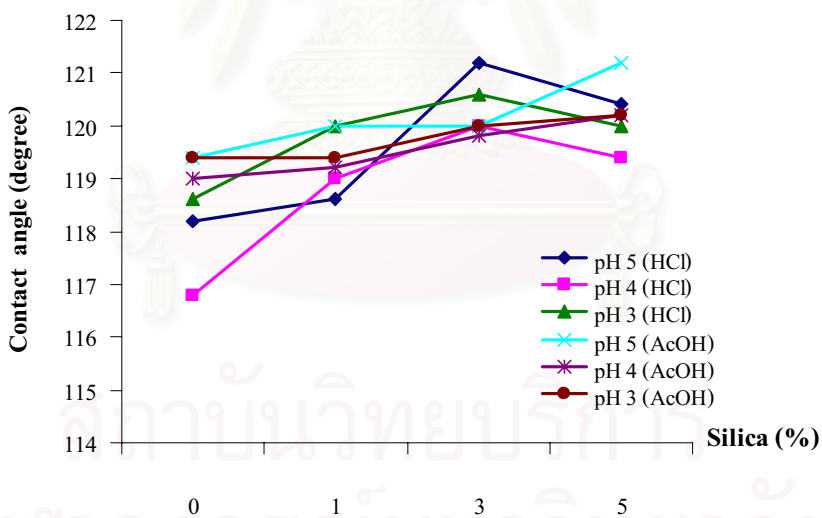
รูปที่ 4.7 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน



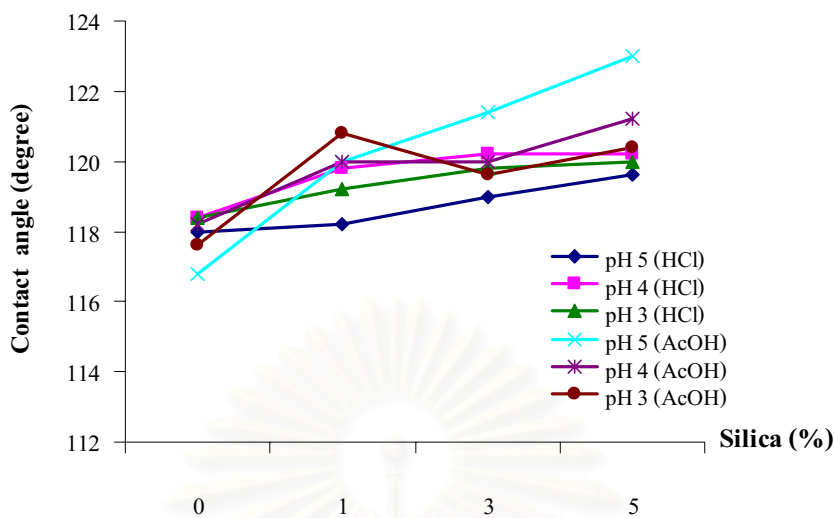
รูปที่ 4.8 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน



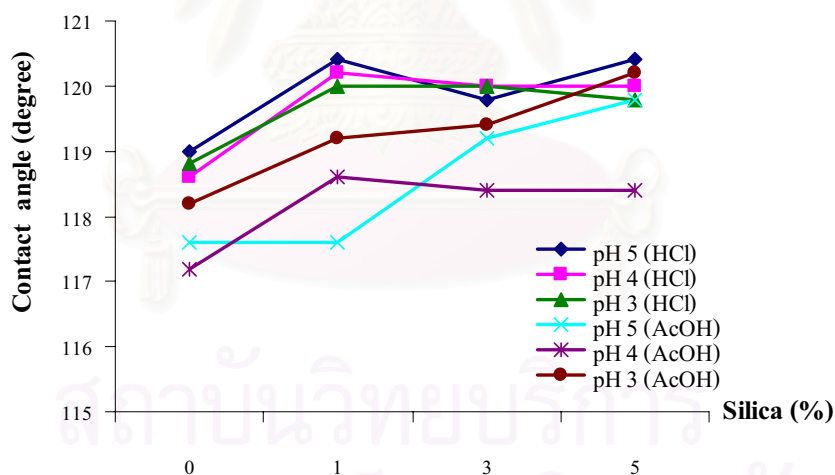
รูปที่ 4.9 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน



รูปที่ 4.10 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน



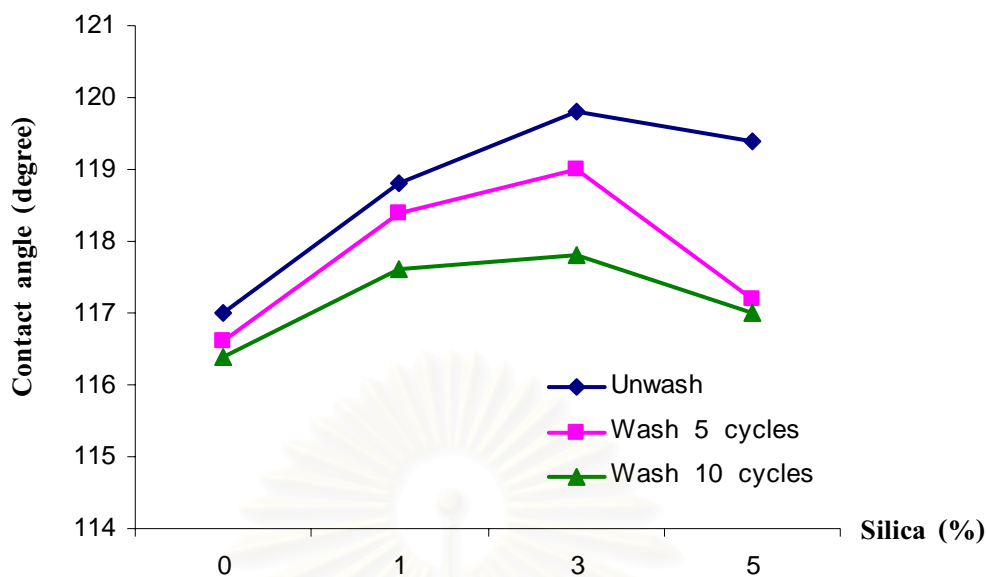
รูปที่ 4.11 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน



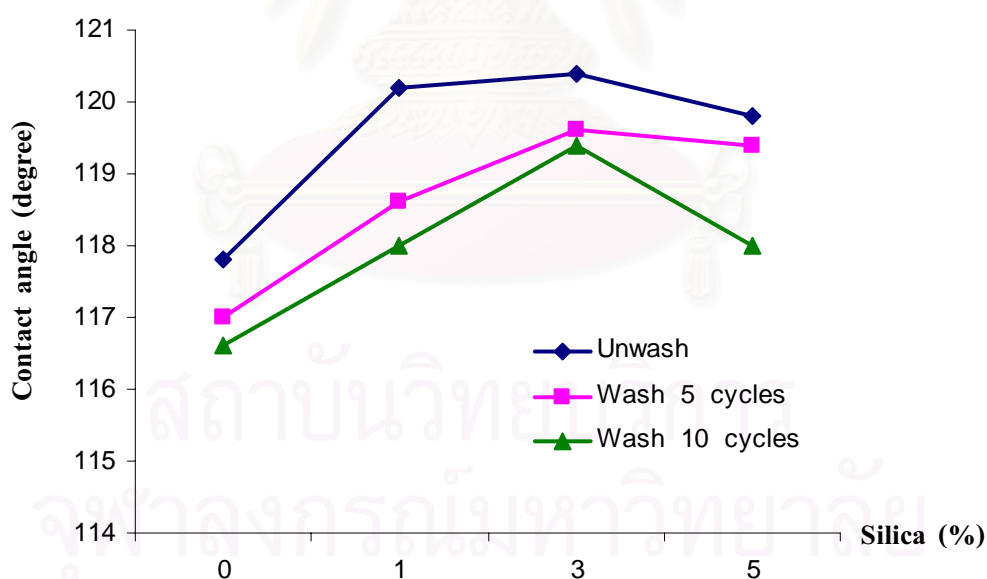
รูปที่ 4.12 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำโดยการเคลือบอนุภาค ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ที่ภาวะกรดต่างกัน

4.3 ความคงทนต่อการซักล้าง

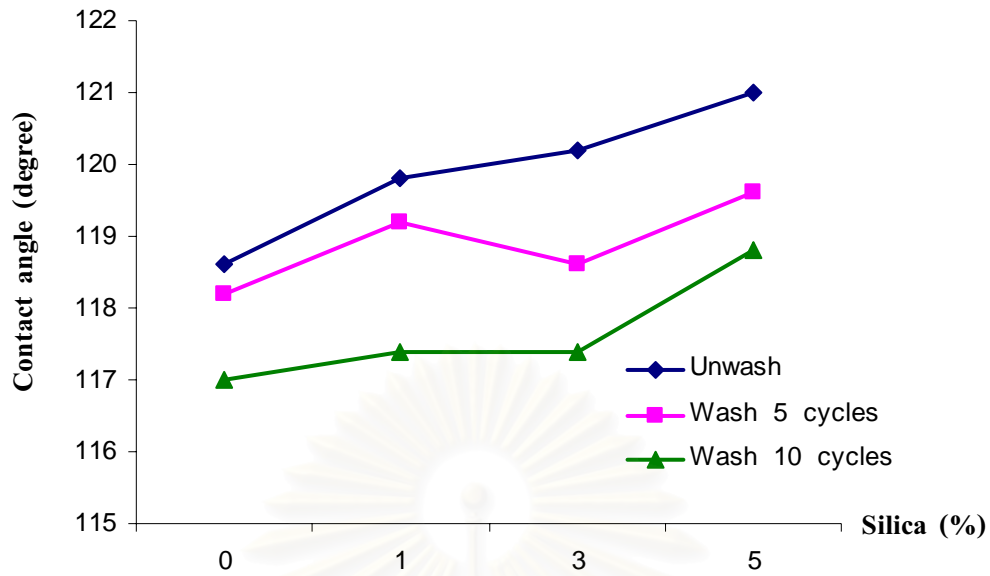
จากผลการทดลองความคงทนต่อการซักล้างแสดงดังรูปที่ 4.13-4.48 พบว่าผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) สะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากการจุ่มอัดอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่เคลือบด้วย เฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนเมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง 10 ครั้ง ผลที่ได้คือ มุมสัมผัสของน้ำลดลงแต่อย่างไรก็ตามมุมสัมผัสของน้ำก็สูงกว่า 90 องศา ยืนยันได้ว่าพื้นผิวนั้น ยังมีสมบัติไม่ชอบน้ำอยู่ ตัวอย่างเช่น ภาวะการทดลองที่ใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของ น้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วย กรดอะซิติกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก่อนทำการทดสอบการซักล้างทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหม มีมุมสัมผัส ของน้ำเท่ากับ 123 องศา ภายหลังการซักล้าง 5 และ 10 ครั้ง พบว่ามุมสัมผัสของน้ำบนผ้า ฝ้ายลดลงเป็น 120.4 และ 119.6 องศา ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมมุมสัมผัสของน้ำลดลงเป็น 118.8 และ 115.2 องศา ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าพื้นผิวผ้ายังมีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีความ คงทนต่อการซักล้าง เนื่องจากอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็กมาก ทำให้สามารถ เกาะแนบติดอยู่กับเส้นใยจนดูเหมือนเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่เคลือบด้วยเฮกซะ เดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนเพียงอย่างเดียวมีความคงทนต่อการซักล้างน้อยกว่าการเคลือบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ดังเช่นการเคลือบบนพื้นผิวผ้าด้วยเฮกซะ เดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติกเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายเท่ากับ 120 องศา เมื่อนำไปทดสอบการซักล้างมีมุม สัมผัสของน้ำเท่ากับ 118.9 และ 117.4 ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมก่อนซักมีมุมสัมผัสของน้ำ 116.8 องศา ภายหลังการซักล้าง 5 และ 10 ครั้งลดลงเป็น 114.6 และ 113.2 ตามลำดับ โดยที่ภาวะการทดลองเดียวกันผ้าฝ้ายมีความคงทนต่อการซักดีกว่าผ้าไหมเพราะลักษณะพื้นผิว เส้นใยไหมเรียบมันและภาพตัดขวางของเส้นใยสามเหลี่ยมมุมมนจึงทำให้อนุภาคนาโน ซิลิกอนไดออกไซด์หลุดลอกระหว่างการซักได้ง่ายกว่า เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ เคลือบอยู่บนผ้าไม่ได้สร้างพันธะเคมีกับเส้นใย เพียงแต่เกาะแนบติดอยู่กับเส้นใยเท่านั้น ดังนั้น ในการนำไปใช้งานจริง การตกแต่งสะท้อนน้ำวิธีนี้จะเหมาะสมกับการตกแต่งสิ่งทอที่ไม่ จำเป็นต้องผ่านการซักบ่อย



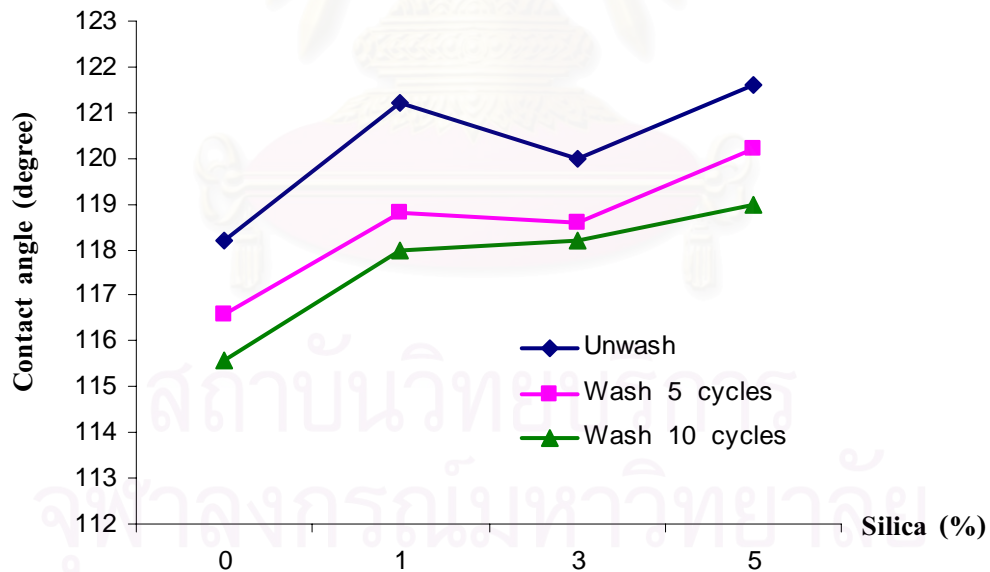
รูปที่ 4.13 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



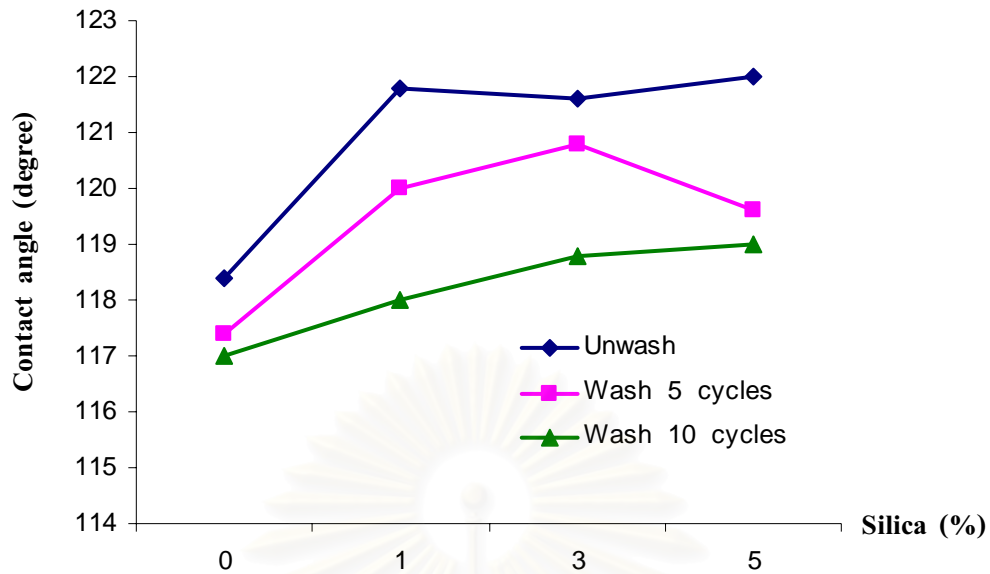
รูปที่ 4.14 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



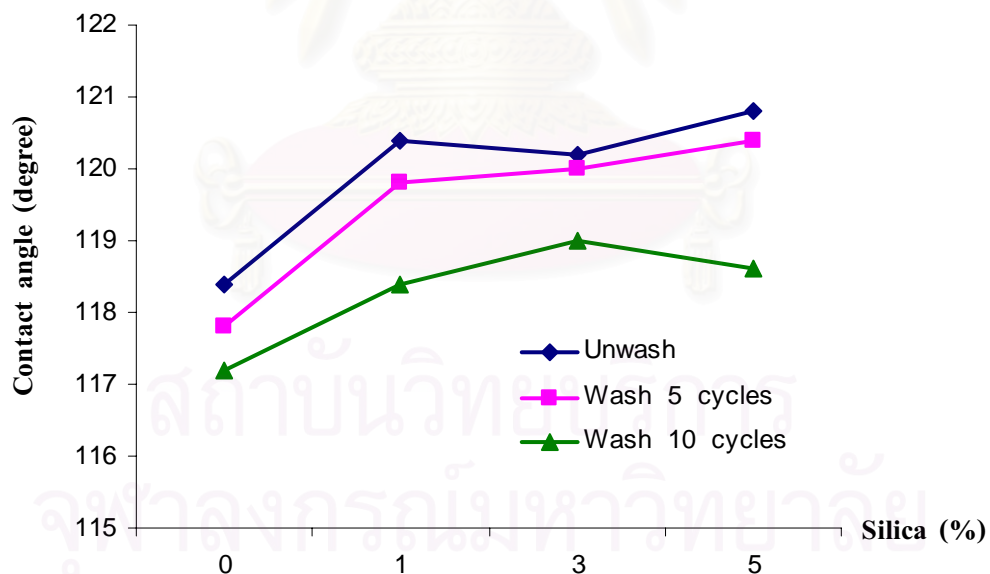
รูปที่ 4.15 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



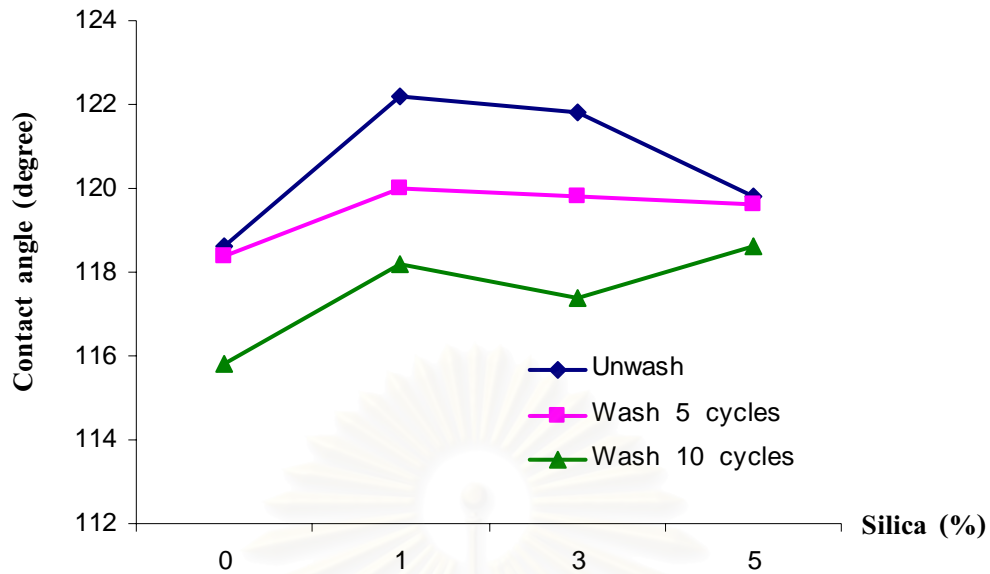
รูปที่ 4.16 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



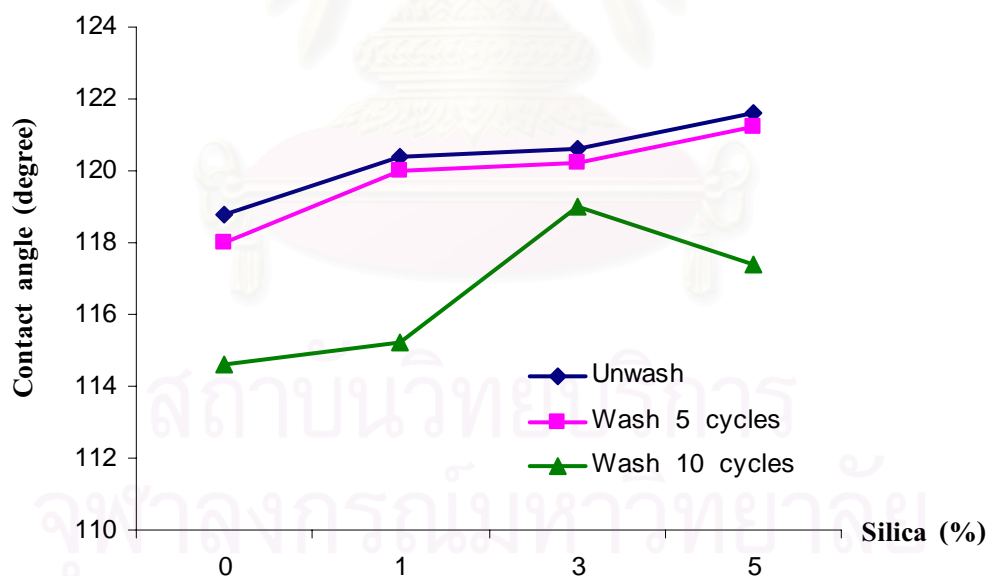
รูปที่ 4.17 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



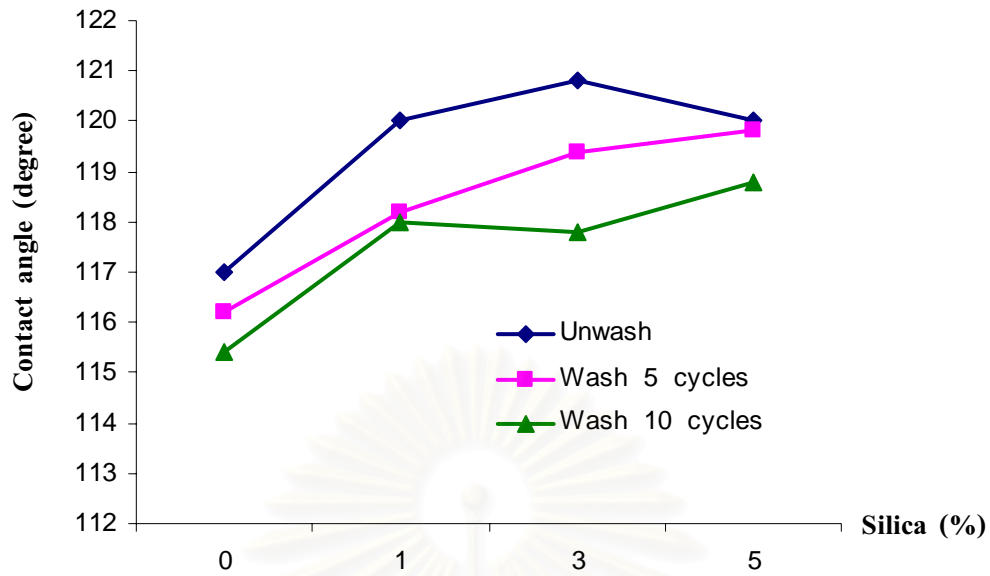
รูปที่ 4.18 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



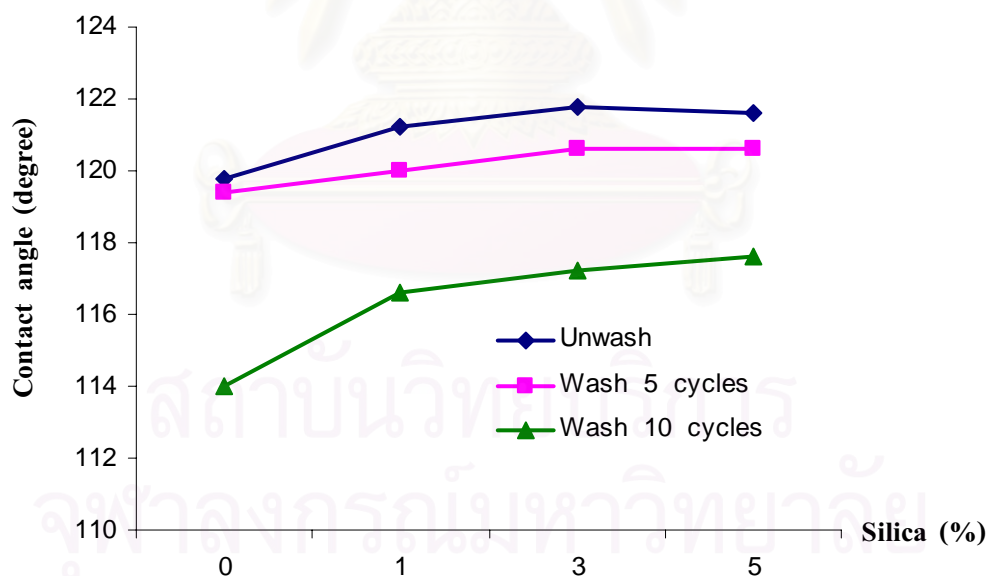
รูปที่ 4.19 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



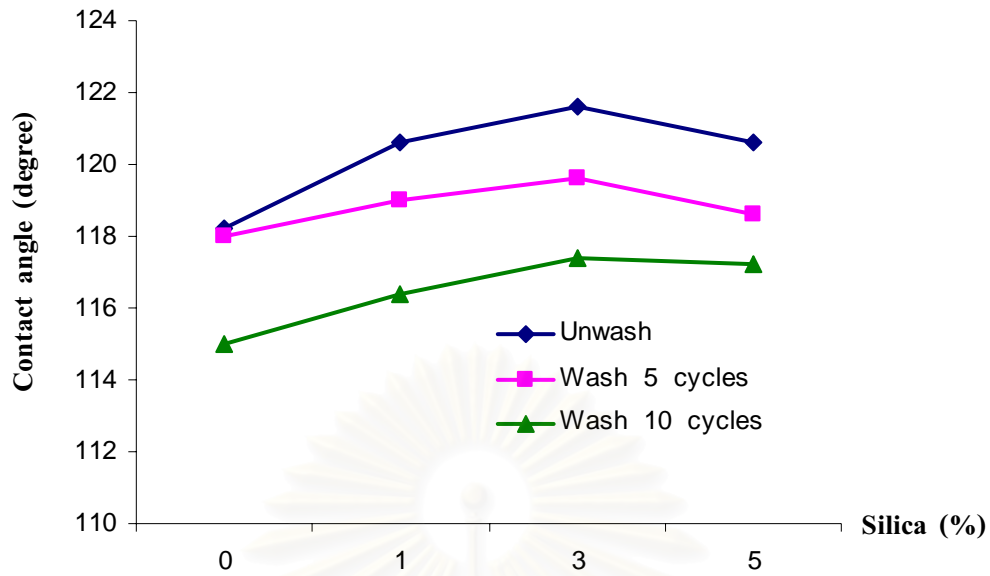
รูปที่ 4.20 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



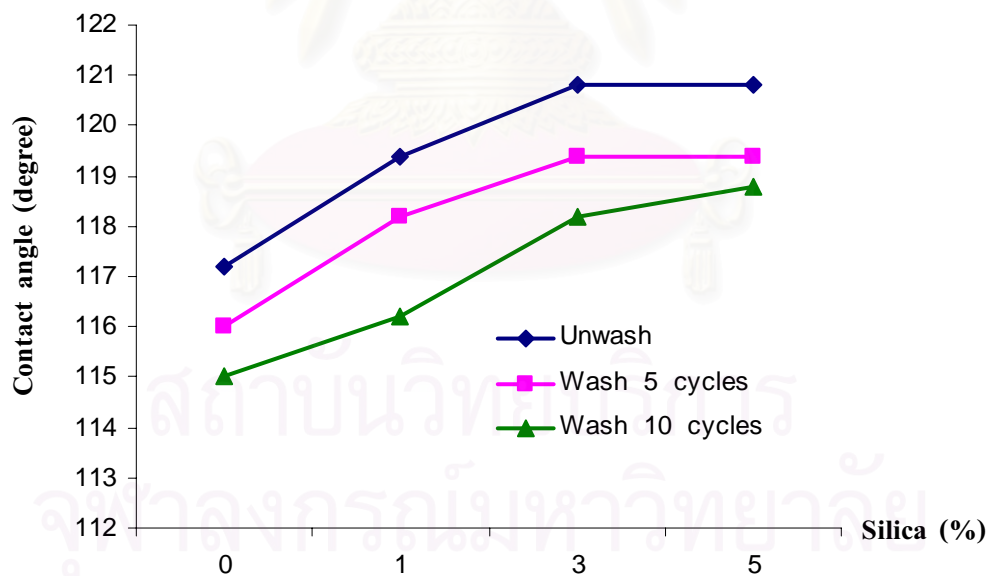
รูปที่ 4.21 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



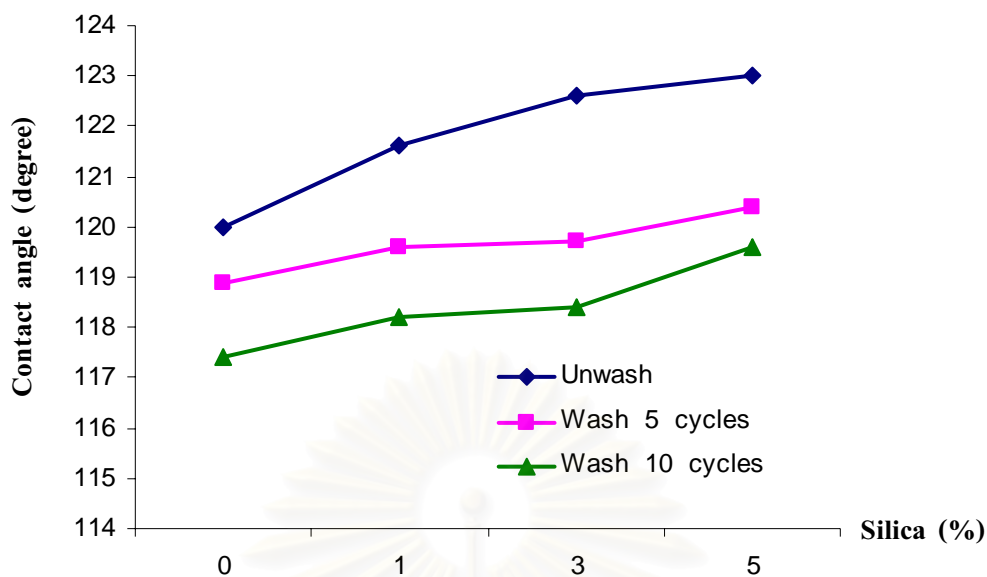
รูปที่ 4.22 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก



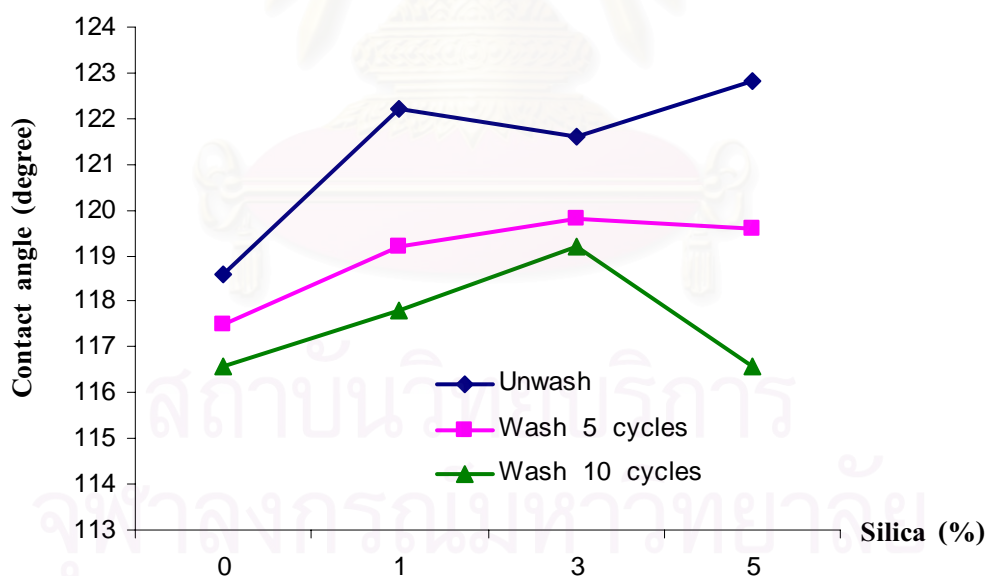
รูปที่ 4.23 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก



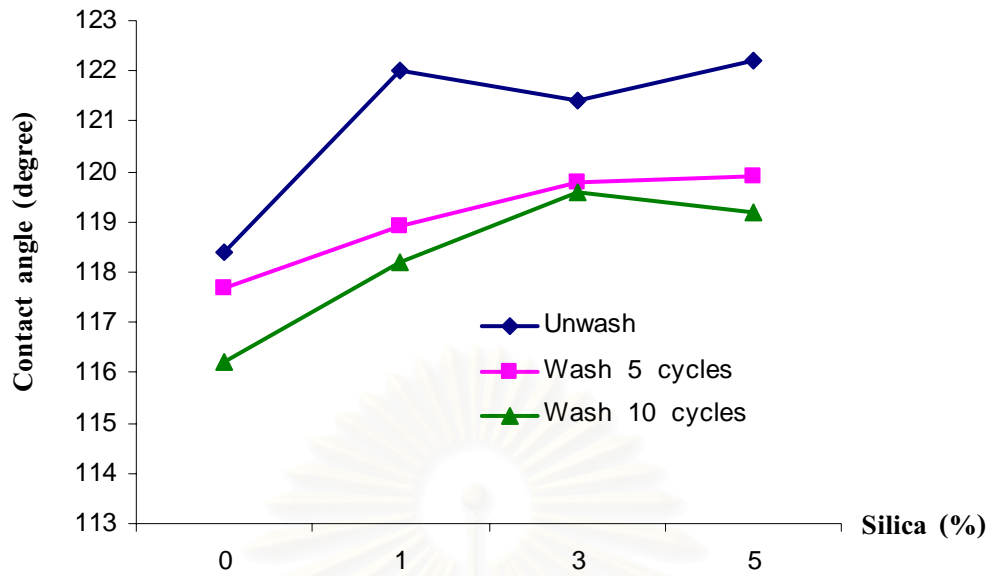
รูปที่ 4.24 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก



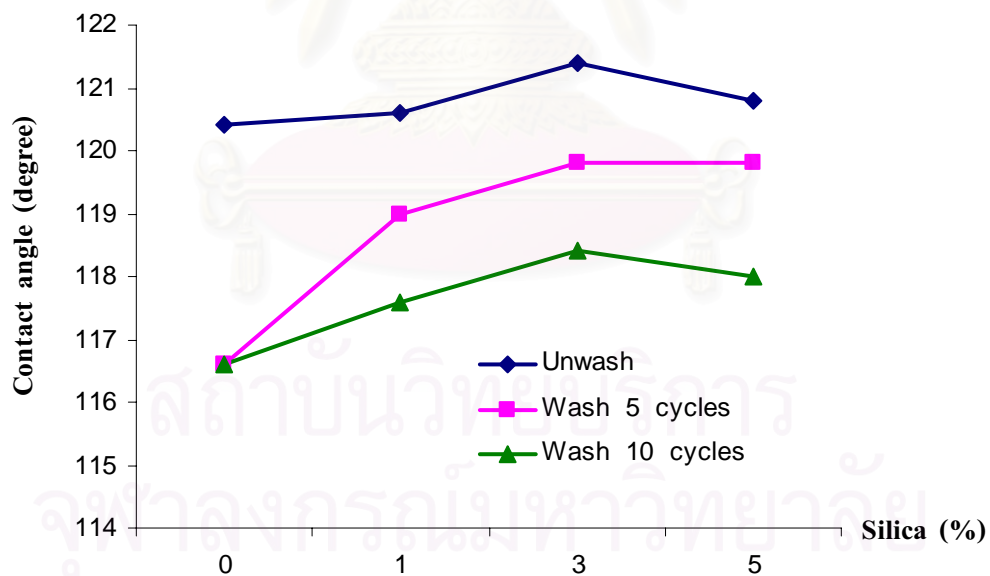
รูปที่ 4.25 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก



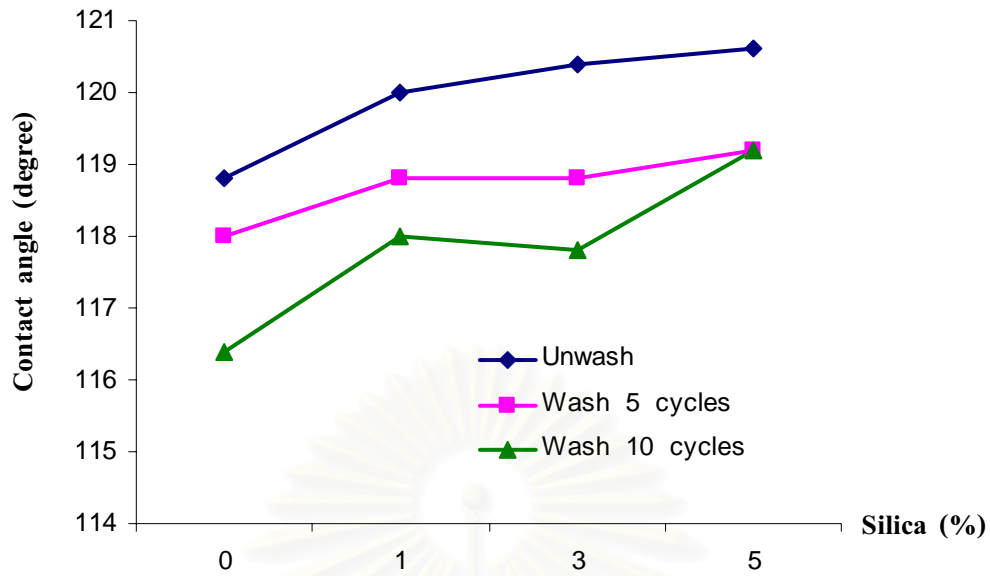
รูปที่ 4.26 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก



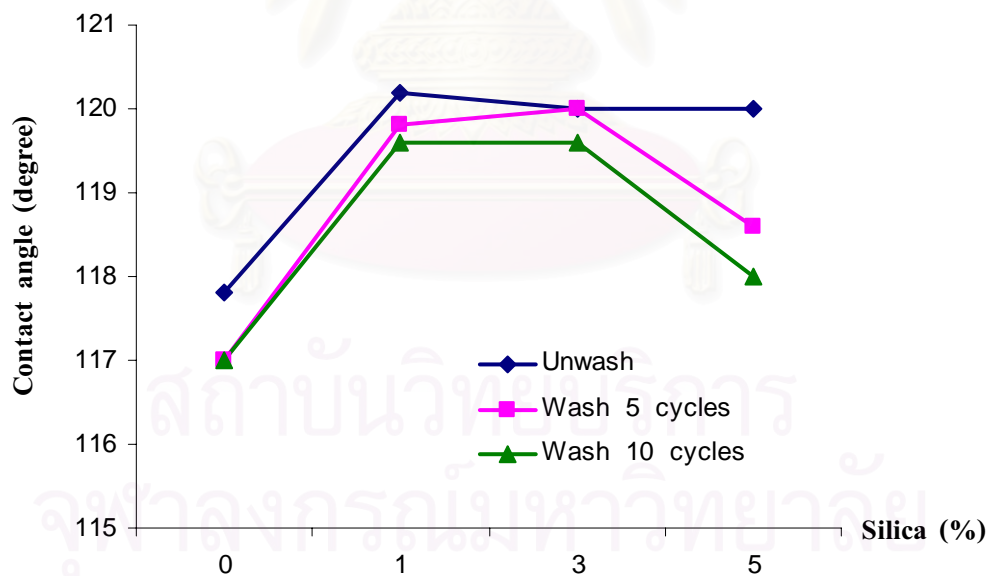
รูปที่ 4.27 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก



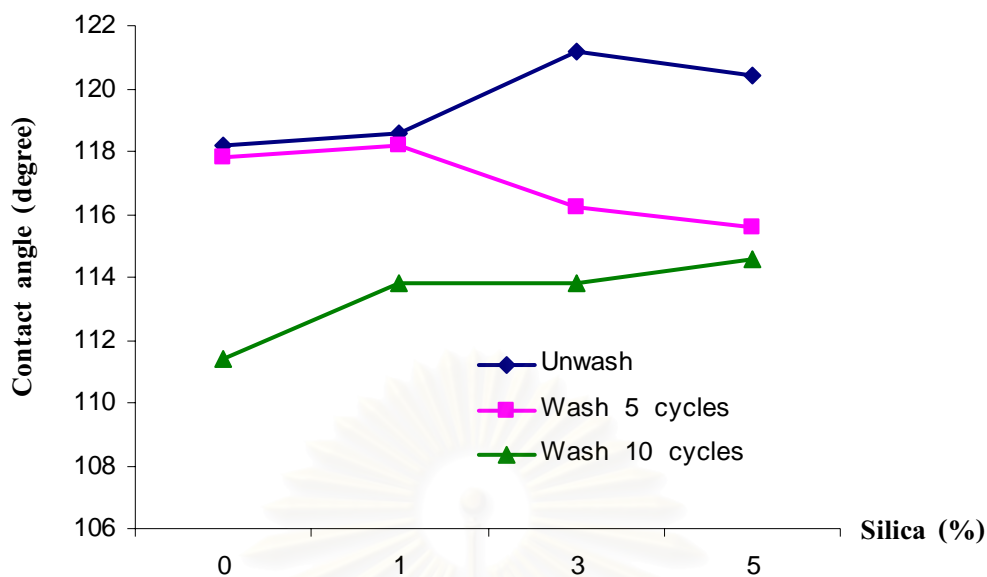
รูปที่ 4.28 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก



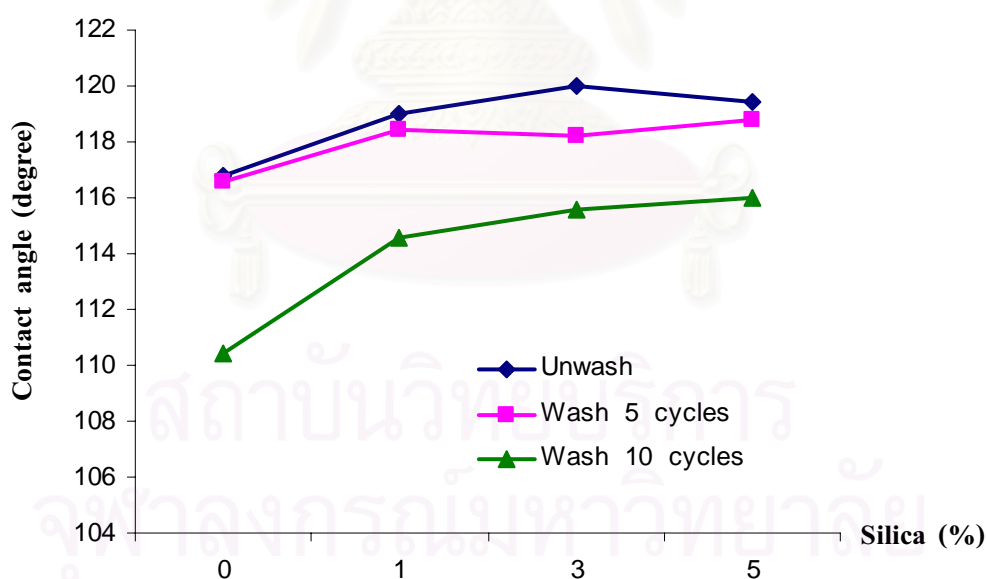
รูปที่ 4.29 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก



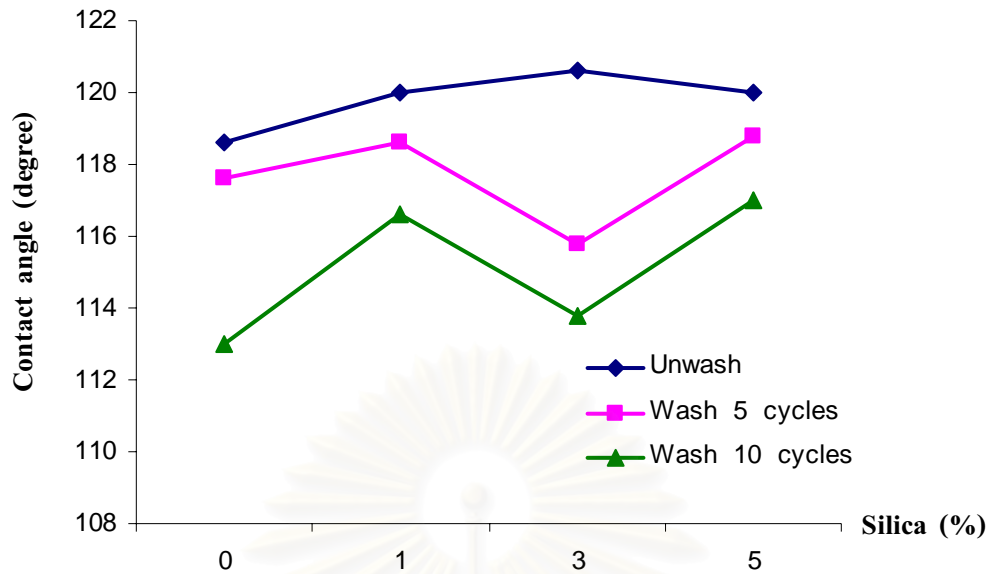
รูปที่ 4.30 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก



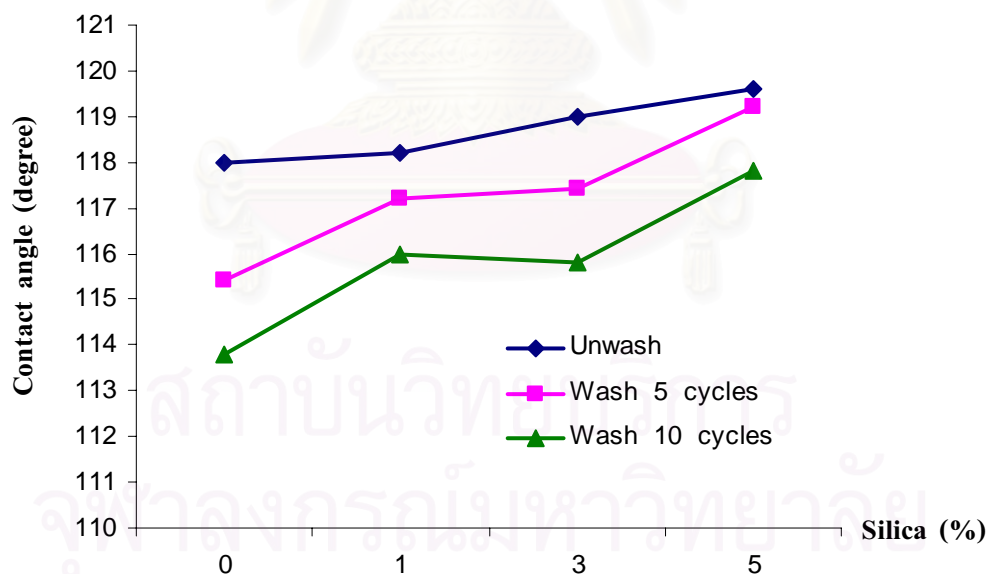
รูปที่ 4.31 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



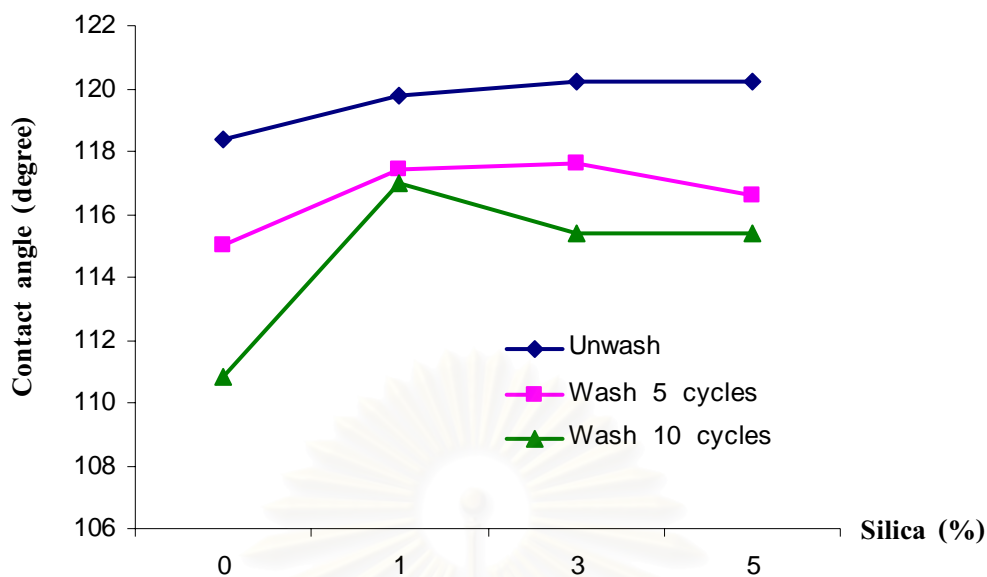
รูปที่ 4.32 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



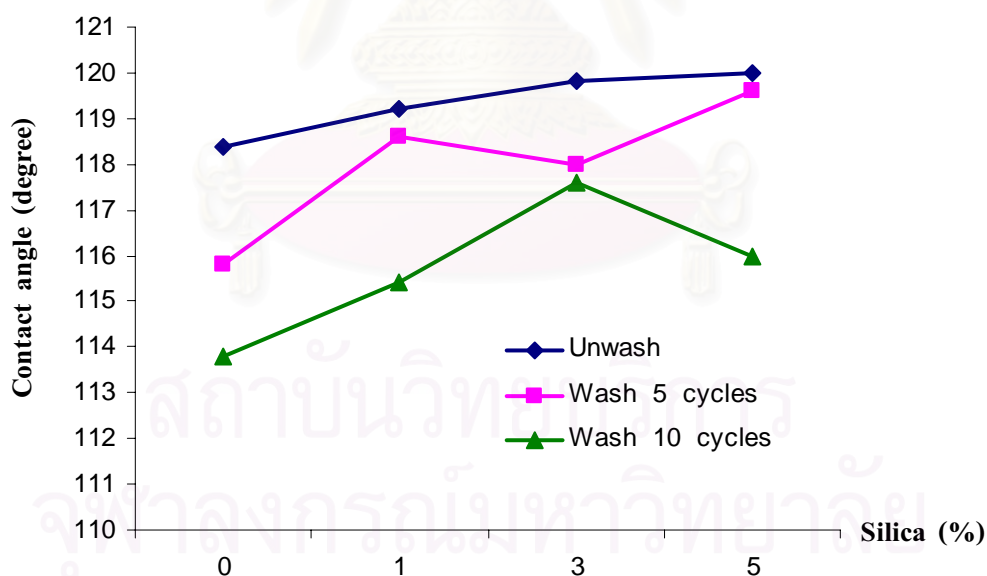
รูปที่ 4.33 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



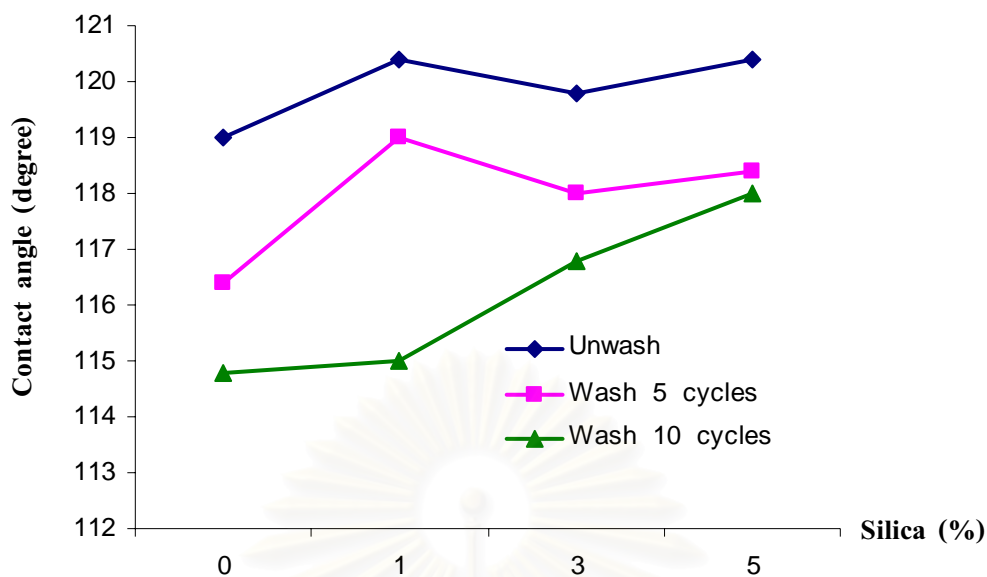
รูปที่ 4.34 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



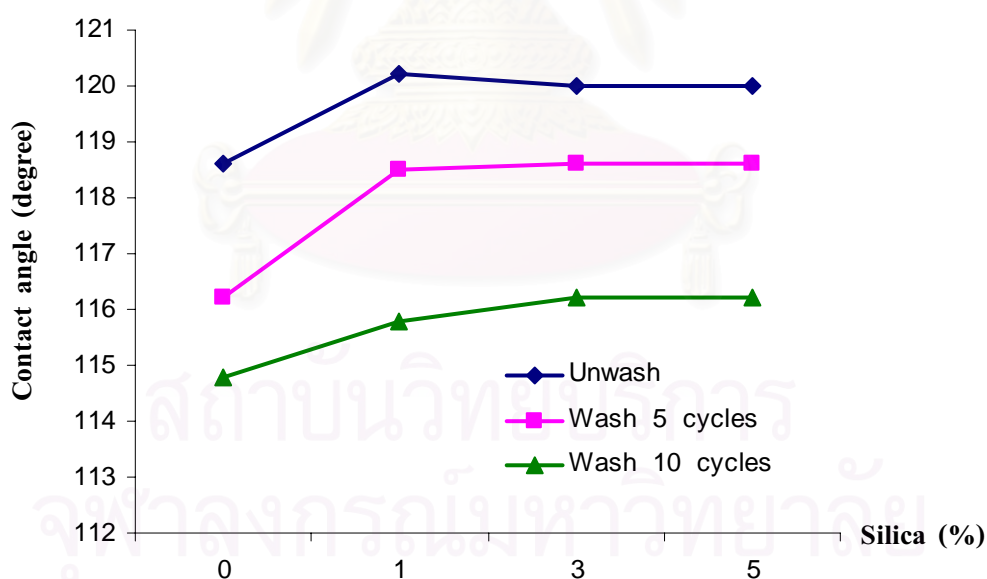
รูปที่ 4.35 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมใหม่ภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



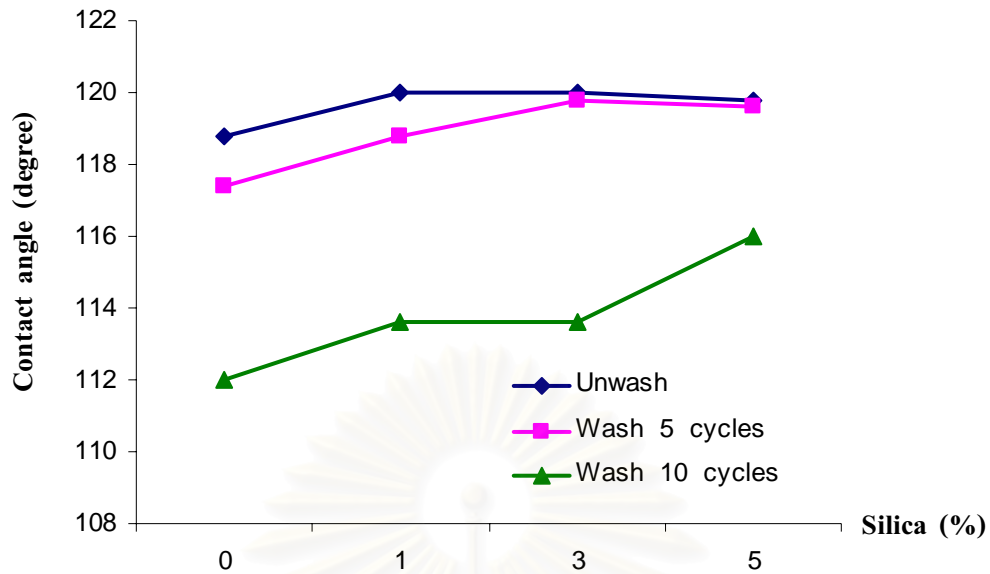
รูปที่ 4.36 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมใหม่ภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



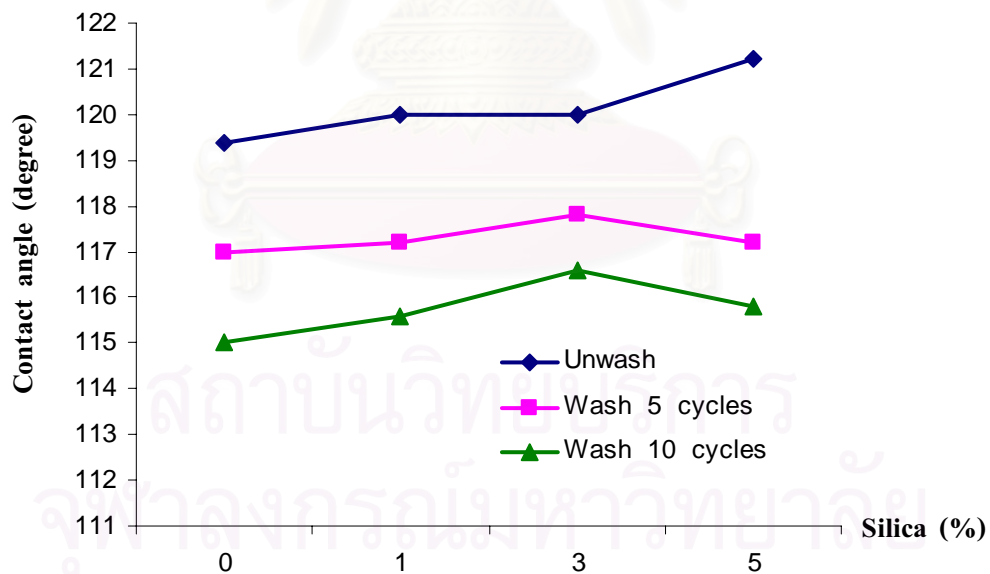
รูปที่ 4.37 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



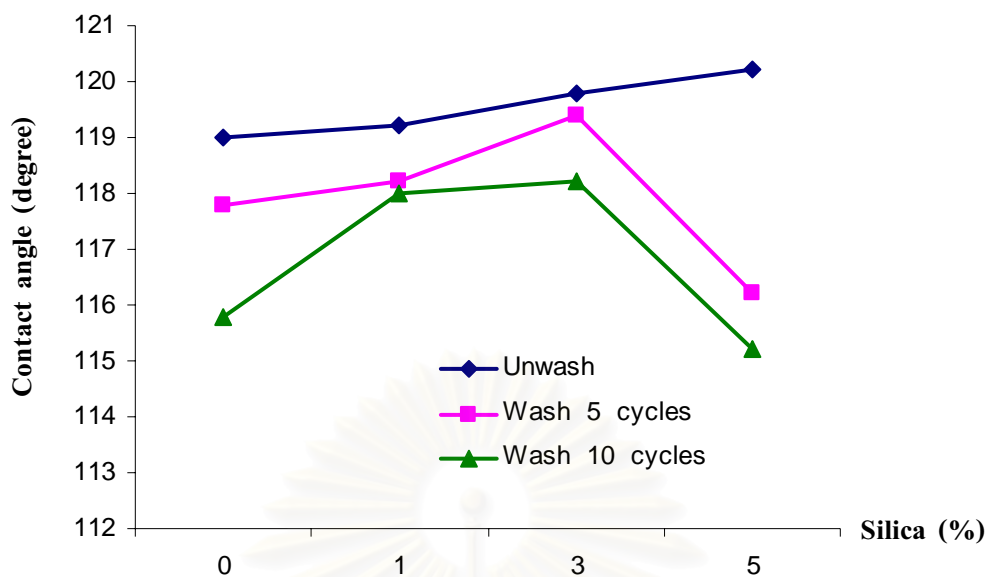
รูปที่ 4.38 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



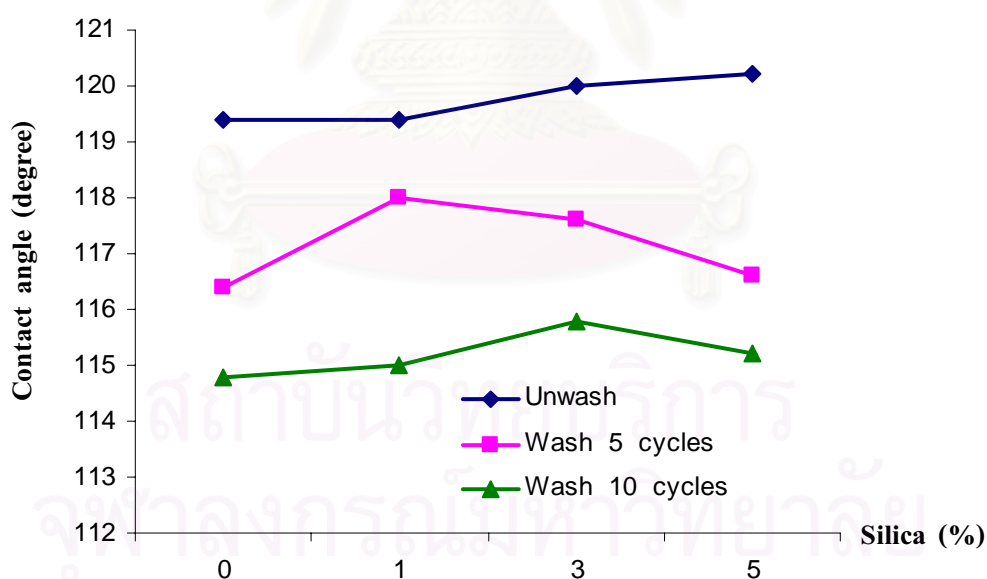
รูปที่ 4.39 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก



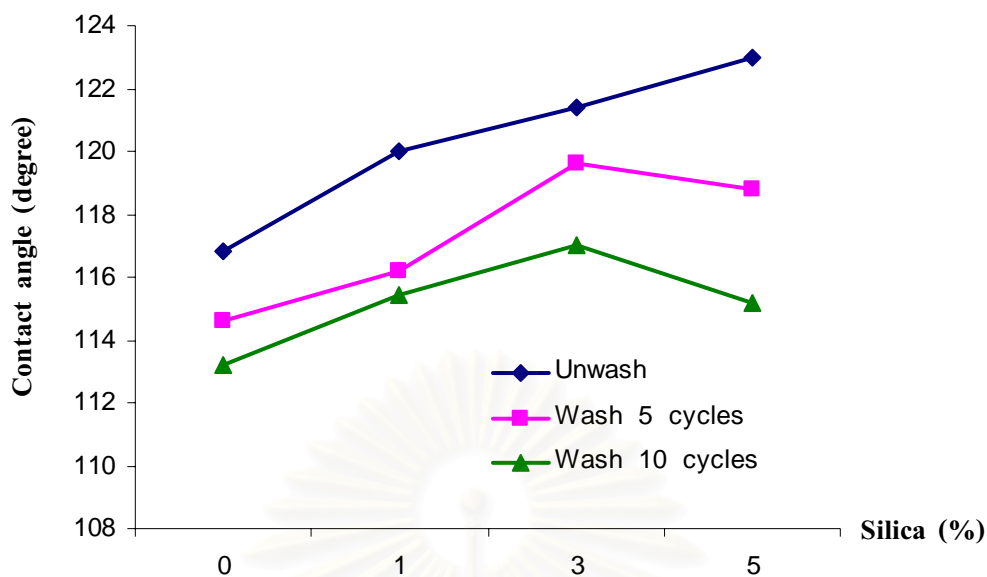
รูปที่ 4.40 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก



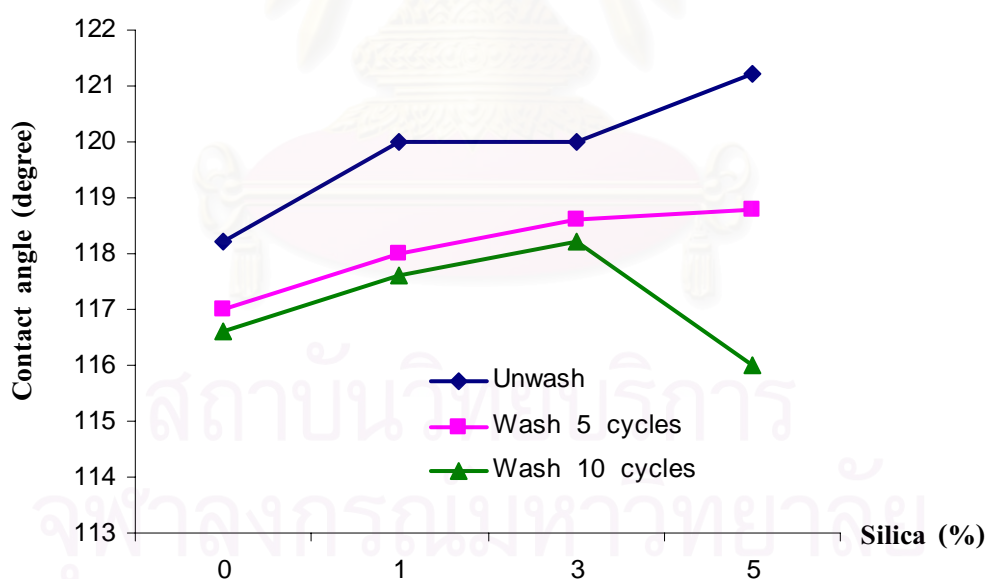
รูปที่ 4.41 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก



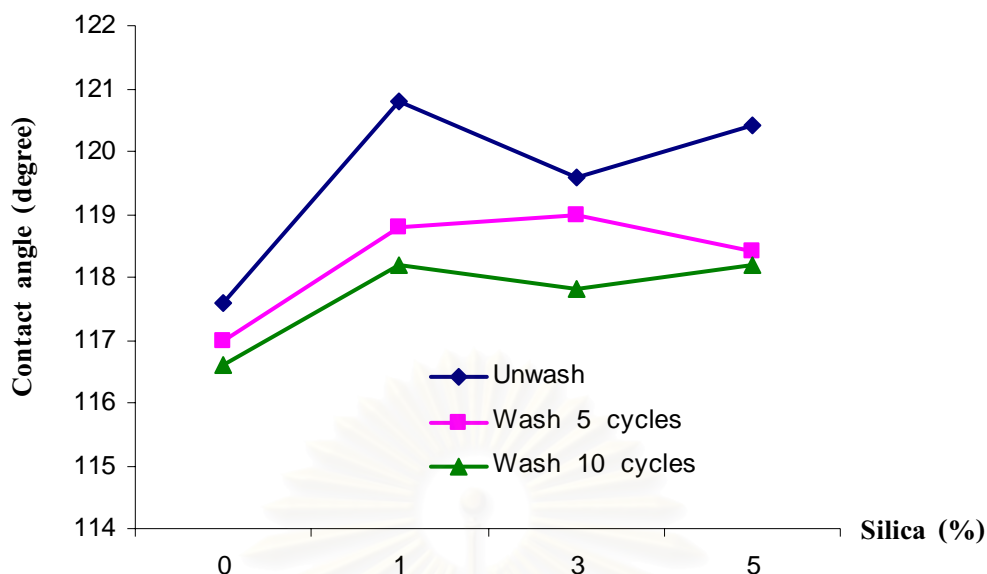
รูปที่ 4.42 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 1 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก



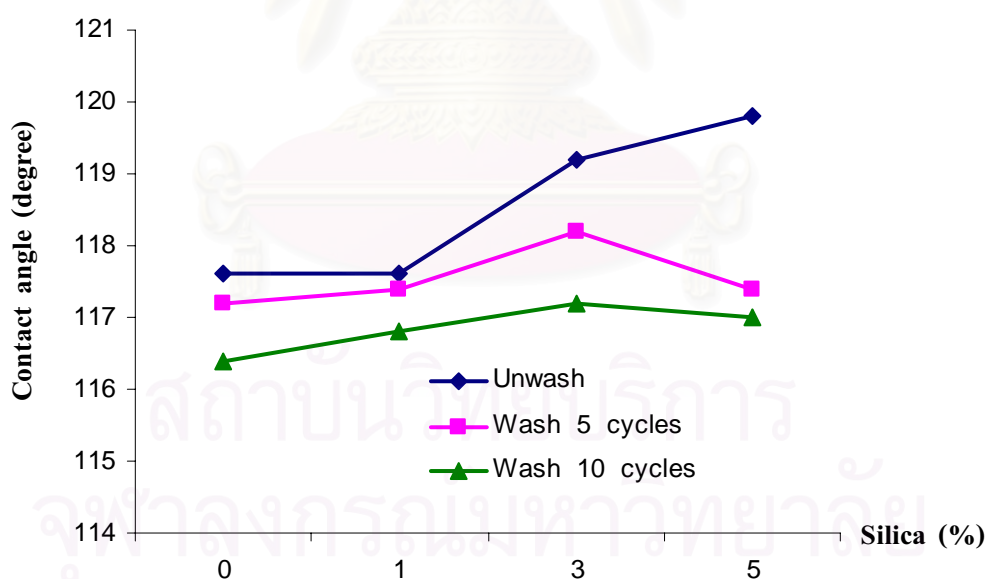
รูปที่ 4.43 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก



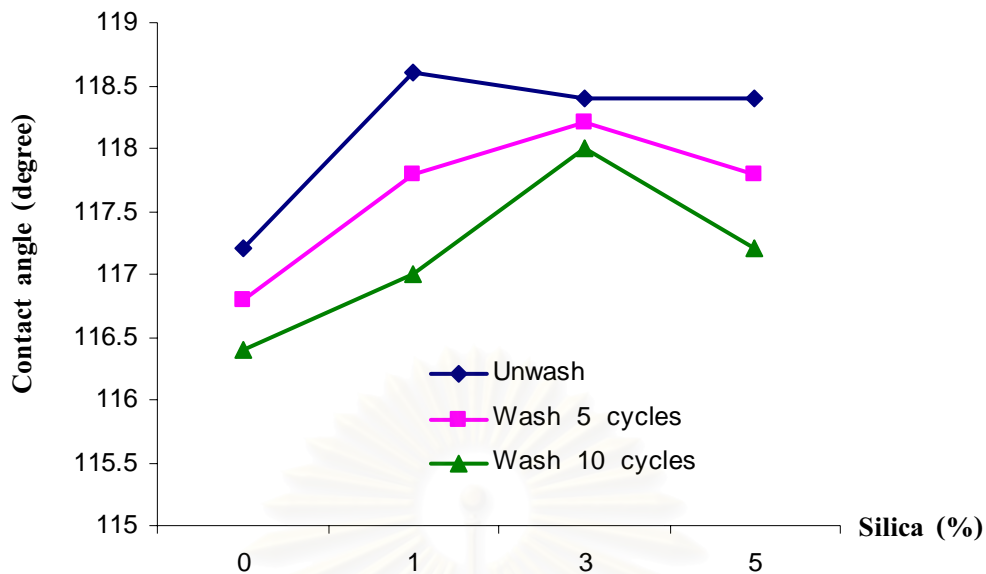
รูปที่ 4.44 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก



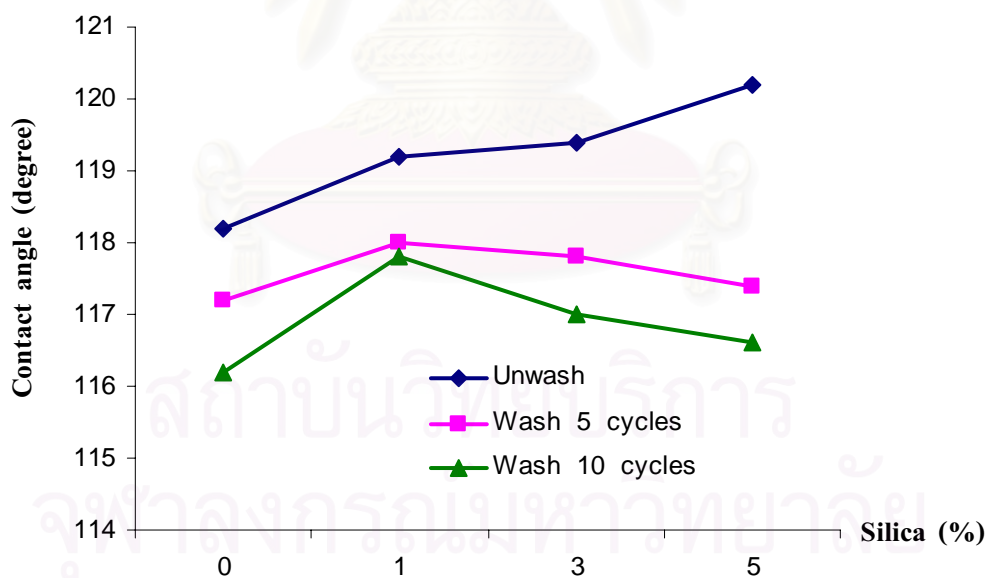
รูปที่ 4.45 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก



รูปที่ 4.46 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 5 ด้วยกรดอะซิติก



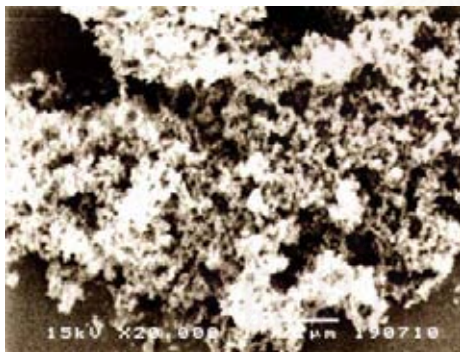
รูปที่ 4.47 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 4 ด้วยกรดอะซิติก



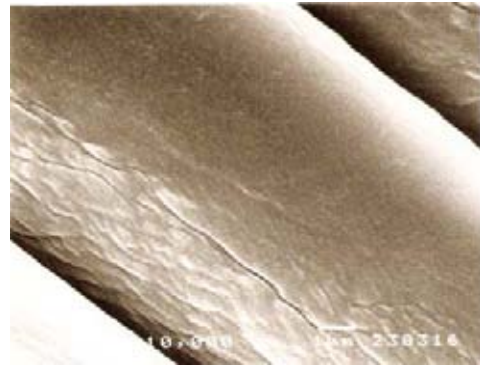
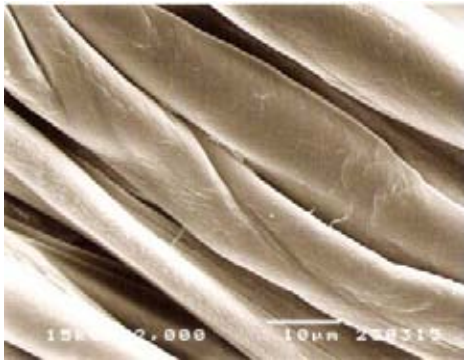
รูปที่ 4.48 มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมภายหลังการซักล้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ โดยการเคลือบอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลน ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช 3 ด้วยกรดอะซิติก

4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวของผ้า

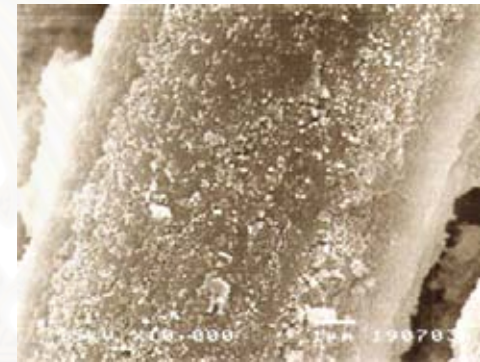
จากผลการทดลองทำการจุ่มอัดอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ลงบนผิวผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) หลังจากนั้นทำการเคลือบด้วยสารเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนโดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรเจล ทำให้ผิวผ้ามีความขรุขระมากขึ้นและเนื่องจากอนุภาคเหล่านี้ถูกเคลือบด้วยสารไม่ชอบน้ำจึงทำให้ผิวผ้าถูกดัดแปรให้มีพลังงานพื้นผิwt่ำลงกว่าเดิมมาก การตกแต่งด้วยอนุภาคนาโนจึงทำให้ผิวผ้ามีสมบัติและลักษณะพื้นผิวคล้ายกับผิวใบบัว ข้อดีของการดัดแปรด้วยเทคนิคนี้อย่างหนึ่งคือจะไม่เกิดฟิล์มเคลือบเหมือนการตกแต่งด้วยวิธีการเคลือบผิว (coating) ซึ่งจะเกิดฟิล์มเคลือบผิวปกคลุมช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้ลดการถ่ายเทของอากาศ (breathable) อันเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของเทคนิคนี้ ในขณะที่การตกแต่งด้วยอนุภาคนาโนจะไม่ปรากฏเป็นฟิล์มเคลือบให้เห็นดังแสดงในภาพถ่าย SEM นอกจากนี้สังเกตเห็นได้ว่า ผ้าที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และหุ้มด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีน ผ้าฝ้ายจะมีพื้นผิวขรุขระมากกว่าผ้าไหมสาเหตุจากผ้าไหมมีพื้นผิวมันและลื่นเป็นการยากที่อนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์จะยึดติดได้ ซึ่งในระหว่างกระบวนการตกแต่งผ้าสะท้อนน้ำอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ได้หลุดออกไป ทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งมีพื้นผิวไม่ขรุขระมากเท่าที่ควร ต่างจากฝ้ายก่อนการตกแต่งสะท้อนน้ำจะมีพื้นผิวขรุขระเป็นหลุมทำให้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์สามารถเกาะแนบติดบนพื้นผิวเส้นใยได้ดีกว่า ดังแสดงรูปที่ 4.49-4.57



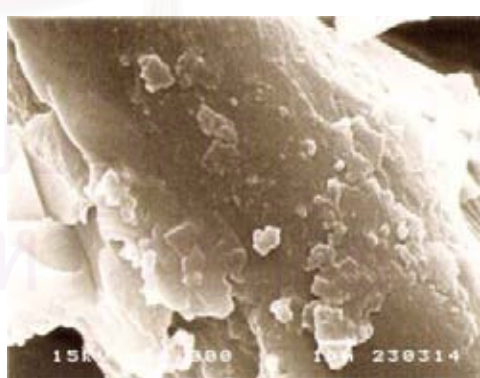
รูปที่ 4.49 แสดงพื้นผิวของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์และอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปแบบแขวนลอยร้อยละ 5 ของน้ำหนัก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า



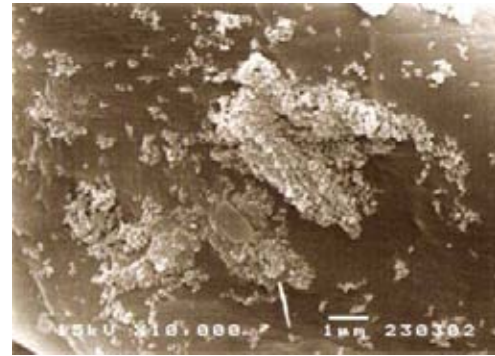
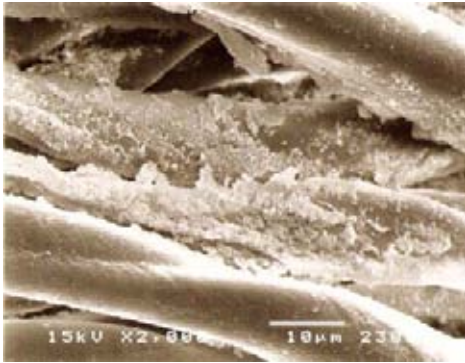
รูปที่ 4.50 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า



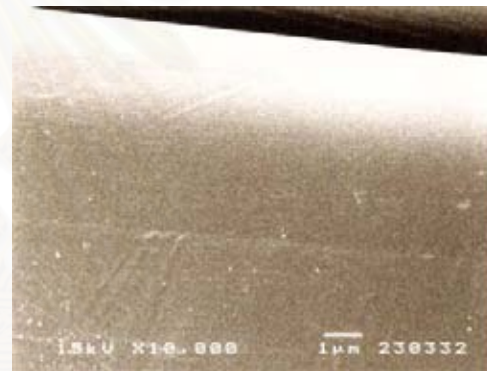
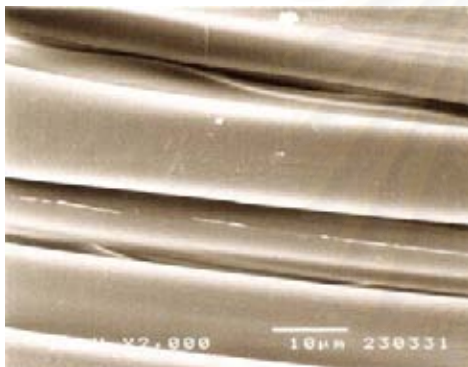
รูปที่ 4.51 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านเคลือบด้วยชิตินคอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า



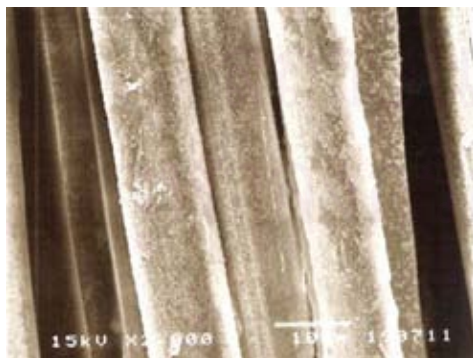
รูปที่ 4.52 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปริมาณฟีนอลเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า



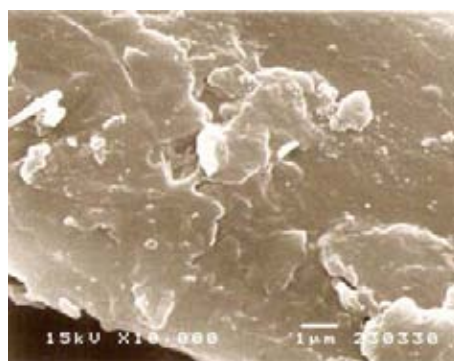
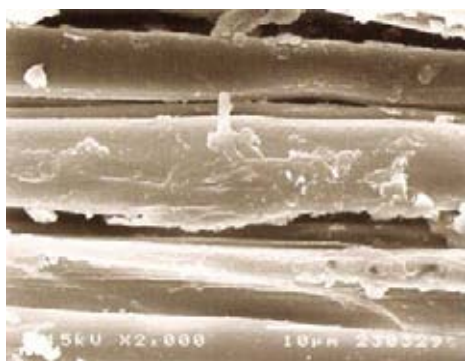
รูปที่ 4.53 แสดงพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า



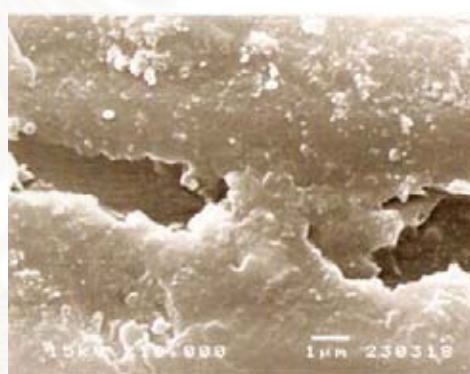
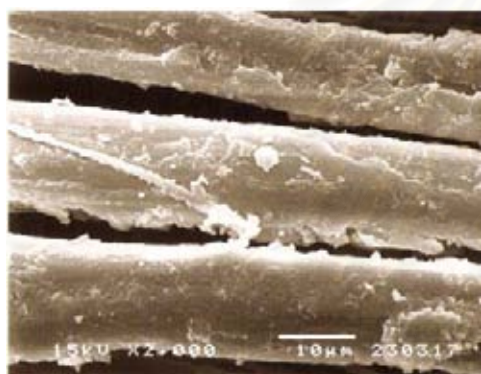
รูปที่ 4.54 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า



รูปที่ 4.55 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า



รูปที่ 4.56 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่เคลือบด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า

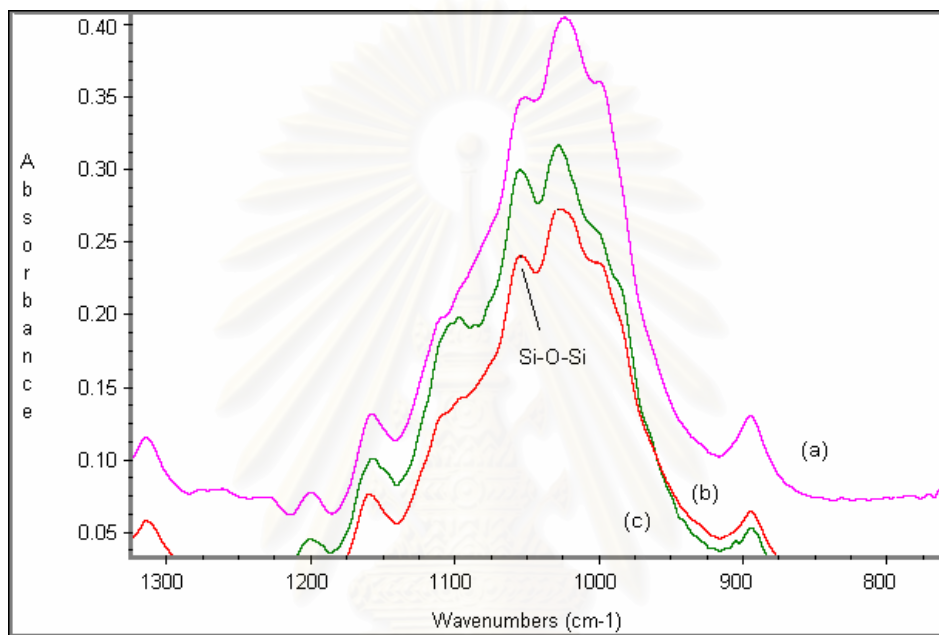


รูปที่ 4.57 แสดงพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 และ 10,000 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

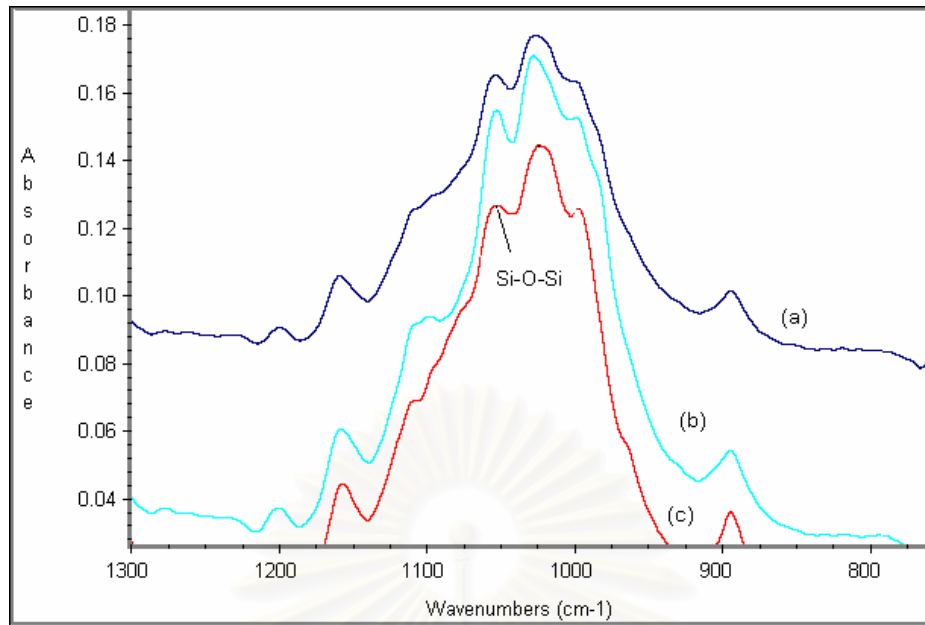
4.6 การตรวจหาลักษณะเฉพาะของสารเคลือบบนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิค ATR-FTIR

ได้อาศัยเทคนิค ATR-FTIR เพื่อทำการวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันของสารที่ใช้คือ ซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนที่ตกแต่งลงบนผ้า สเปกตรัมที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.58-4.61

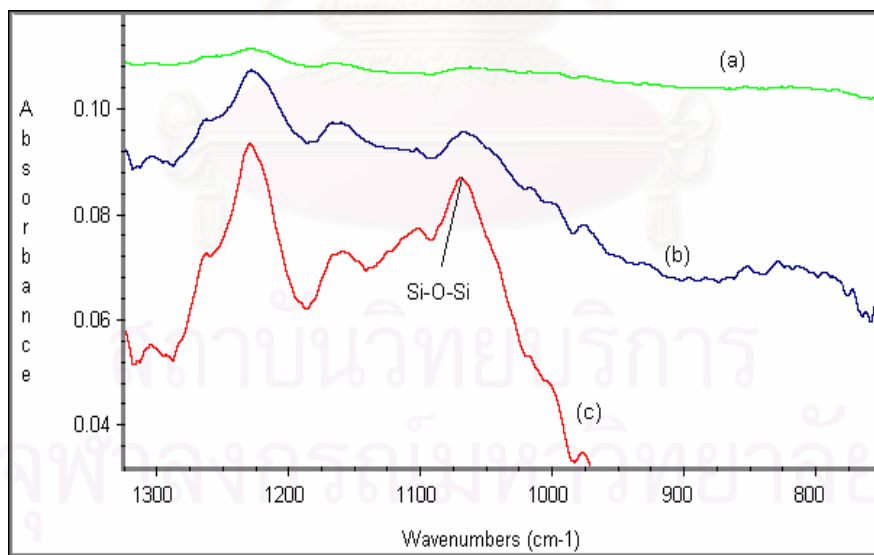


รูปที่ 4.58 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้าย (a) ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ (b) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และ (c) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก

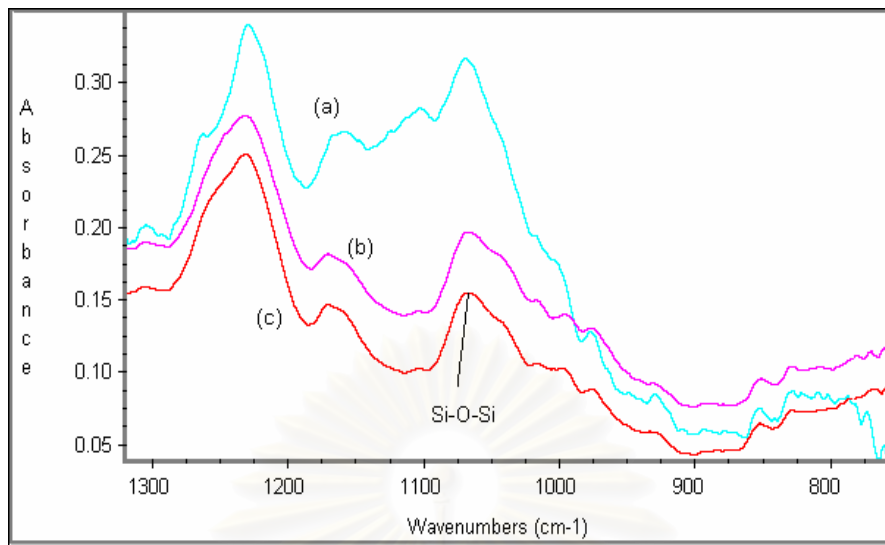
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.59 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช เท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก (a) ก่อนซัก (b) หลังซัก 5 ครั้ง และ (c) หลังซัก 10 ครั้ง



รูปที่ 4.60 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าไหม (a) ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ (b) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และ (c) เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช เท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก



รูปที่ 4.61 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช เท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก (a) ก่อนซัก (b) หลังซัก 5 ครั้ง และ (c) หลังซัก 10 ครั้ง

แสดงดังรูปที่ 4.58-4.61 สังเกตเห็นว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ จะปรากฏสเปกตรัมของพันธะ Si-O-Si ที่ตำแหน่งความถี่ประมาณ $1050-1070\text{ cm}^{-1}$ แสดงว่ามีอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์อยู่บนพื้นผิวผ้าซึ่งไม่พบสเปกตรัมดังกล่าวในผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง สะท้อนน้ำ ส่วนผ้าที่ผ่านการเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก จะปรากฏสเปกตรัมของพันธะ Si-O-Si ที่ตำแหน่งความถี่ประมาณ $1050-1070\text{ cm}^{-1}$ เช่นกัน อันเนื่องจากพื้นผิวของผ้าปกคลุมไปด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีน ยืนยันการเกิดปฏิกิริยาไฮลเจลที่เริ่มจากไฮโดรลิซิสของหมู่อัลคอกซีถูกไฮโดรไลซ์เป็นหมู่อซิลานอล (Si-OH) ต่อจากนั้นหมู่อซิลานอลเข้าทำปฏิกิริยาควบนั่นเองและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแล้วหลังจากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกไป จะเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์คือ พันธะซิลอกเซน (Si-O-Si) และเมื่อนำผ้าสะท้อนน้ำที่เตรียมได้ไปผ่านการซักล้าง 5 และ 10 ครั้ง ก็ยังปรากฏสเปกตรัมการยึดของพันธะ Si-O-Si ที่ตำแหน่งความถี่ประมาณ $1050-1070\text{ cm}^{-1}$ เป็นการยืนยันว่าภายหลังจากการซักล้าง 10 ครั้ง ยังคงมีอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนอยู่บนพื้นผิวผ้า ซึ่งสรุปได้ว่าทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหมยังมีสมบัติสะท้อนน้ำอยู่

4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าที่ผ่านการตากแห้งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส (TGA)

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการตากแห้งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาลิซิส ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน เพื่อหาร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ของผ้าฝ้ายและผ้าไหมด้วยเทคนิค TGA

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนเผา (มิลลิกรัม)	น้ำหนักหลังเผา (มิลลิกรัม)	ร้อยละที่เหลือ จากการเผาไหม้
ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตากแห้ง สะท้อนน้ำ	3.2279	0	0
ผ้าฝ้ายที่เคลือบซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก	3.2689	0.0987	3.02
ผ้าฝ้ายที่ตากแห้งสะท้อนน้ำ	3.1067	0.0844	2.72
ผ้าฝ้ายที่ตากแห้งสะท้อนน้ำ โดย ผ่านการซัก 5 ครั้ง	3.2485	0.0415	1.28
ผ้าฝ้ายที่ตากแห้งสะท้อนน้ำ โดย ผ่านการซัก 10 ครั้ง	3.2010	0.0100	0.31
ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตากแห้ง สะท้อนน้ำ	3.2073	0	0
ผ้าไหมที่เคลือบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์	3.1140	0.0917	2.94
ผ้าไหมที่ตากแห้งสะท้อนน้ำ	3.1642	0.0858	2.71
ผ้าไหมที่ตากแห้งสะท้อนน้ำ โดยผ่านการซัก 5 ครั้ง	3.2293	0.0322	1.00
ผ้าไหมที่ตากแห้งสะท้อนน้ำ โดยผ่านการซัก 10 ครั้ง	3.2582	0	0

จากตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ของผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) ที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิล ไตรเมทอกซีซิลิโคนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก และไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ พบว่าผ้าฝ้ายและผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ เมื่อเผาจนถึงอุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าผ้าทั้งสองชนิดสลายตัวหมด ร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เป็น 0 ส่วนผ้าที่ผ่านการเคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ผลที่ได้ผ้าฝ้ายมีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 3.02 และผ้าไหมมีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 2.94 สำหรับผ้าที่ตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิล ไตรเมทอกซีซิลิโคนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผ้าฝ้ายมีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 2.72 และผ้าไหมมีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 2.71 โดยส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ลักษณะเป็นผงสีขาว ซึ่งนั่นคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการตกแต่งสะท้อนน้ำบนผิวผ้า ทั้งนี้ซิลิกอนไดออกไซด์ทนความร้อนได้ดีในภาวะเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส อนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์จะไม่สลายตัว

หลังจากเตรียมผ้าสะท้อนน้ำได้แล้ว ไปทดสอบการซักล้าง 5 และ 10 ครั้ง พบว่า ภายหลังจากการซักล้างอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์หลุดออกไป โดยส่วนที่เหลืออยู่นั้นหาได้จากร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ภายใต้บรรยากาศก๊าซออกซิเจน พบว่าผ้าฝ้ายก่อนซักล้างร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 2.72 ภายหลังจากการซักล้างผ้าฝ้าย 5 และ 10 ครั้ง มีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ 1.28 และ 0.31 ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมก่อนซักร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 2.71 ภายหลังจากการซักล้าง 5 และ 10 ครั้ง ร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้เท่ากับ 1.00 และ 0 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าภายหลังจากการซักล้างมีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนซักล้าง สาเหตุจากการซักล้างทำให้อนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวผ้าไม่ทนต่อการขัดถู ทำให้หลุดลอกออกไป แต่อย่างไรก็ตามการที่อนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ที่ดัดแปรให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำหลุดออกไป ส่งผลให้ผ้ามีพื้นผิวขรุขระลดลงและสมบัติสะท้อนน้ำลดลง นอกจากนี้พบว่าการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยวิธีนี้ผ้าฝ้ายมีร้อยละที่เหลือจากการเผาไหม้สูงกว่าผ้าไหม ก็เพราะผ้าไหมมีผิวเรียบมัน เป็นการยากที่อนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์จะสามารถยึดติดทนทานบนผิวผ้า ต่างจากผ้าฝ้ายที่มีพื้นผิวเป็นหลุมเป็นบ่อทำให้อนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์สามารถแทรกเข้าไปอยู่บนพื้นผิวผ้าได้ดีกว่า แสดงว่าผ้าฝ้ายสะท้อนน้ำที่เตรียมได้มีความคงทนต่อการซักล้างดีกว่าผ้าไหม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมผ้าฝ้ายและผ้าไหม สะท้อนน้ำด้วยออร์แกนิกซิลิโคนร่วมกับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ พร้อมทั้งศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการพ่นกอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ลงบนพื้นผิวสิ่งทอโดยอาศัยเทคนิคโซล-เจล และศึกษาสมบัติการสะท้อนน้ำบนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่หุ้มด้วยเฮกซะเดคซิลไตริเมทอกซีซิลิโคน และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเตรียมผ้าสะท้อนน้ำโดยการตกแต่งด้วยอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตริเมทอกซีซิลิโคน พบว่าผ้าฝ้ายมีความขาวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ แต่สำหรับผ้าไหมนั้นความขาวของผ้าค่อนข้างแปรปรวนถึงแม้จะเพิ่มปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์มากขึ้น
2. ผ้าสะท้อนน้ำที่เตรียมได้มีมุมสัมผัสของน้ำประมาณ 120 องศา ถึงแม้จะใช้ปริมาณเฮกซะเดคซิลไตริเมทอกซีซิลิโคนเพียงร้อยละ 1 ของน้ำหนัก นอกจากนี้การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงขึ้นไปทำให้มุมสัมผัสของน้ำบนผ้าฝ้ายและไหมสูงขึ้น ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผ้า (ผ้าฝ้ายและไหม) สะท้อนน้ำด้วยอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ในการทดลองนี้คือซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตริเมทอกซีซิลิโคนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้มุมสัมผัสของน้ำบนผิวผ้าทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหมเท่ากับ 123 องศา เป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำที่มีมุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 0 องศา
3. ทั้งผ้าฝ้ายและผ้าไหมที่ภาวะการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำเดียวกัน จะให้มุมสัมผัสของน้ำใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการซัก 10 ครั้ง พบว่ามุมสัมผัสของน้ำบนผ้าไหมต่ำกว่าผ้าฝ้ายพอสมควร อันเนื่องมาจากไหมมีลักษณะพื้นผิวเรียบมันทำให้อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ยึดเกาะบนเส้นใยนั้นหลุดออกได้ง่ายกว่า

4. การทดสอบความคงทนของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์บนผ้าภายหลังการซักล้าง 10 ครั้ง ผลที่ได้นั้นนุ่มสัมผัสของน้ำลดลง อันเนื่องมาจากการหลุดลอกของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ การตกแต่งสะท้อนน้ำวิธีนี้จึงเหมาะสมกับการตกแต่งสิ่งทอที่ไม่จำเป็นต้องผ่านการซักบ่อย

5. อนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ทำให้พื้นผิวผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม) มีความขรุขระมากขึ้น และเมื่อมีการเคลือบอนุภาคนาโนนี้ด้วยเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนส่งผลให้พื้นผิวผ้ามีพลังงานพื้นผิวดำลงกว่าเดิมมากคล้ายกับผิวใบบัว จึงทำให้ผ้ามีสมบัติสะท้อนน้ำและสามารถทำความสะอาดตนเองได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำ โดยใช้สารที่ไม่ชอบน้ำชนิดอื่นแทนเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนมาเคลือบอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์สำหรับตกแต่งบนวัสดุสิ่งทอ เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้มีราคาแพง ไม่เหมาะนำมาใช้ในอุตสาหกรรม
2. ในการทดลองนี้ควรปรับปรุงความคงทนต่อการซัก โดยใช้สาร 3-ไกลซิโดอกซีโพรพิลไตรเอทอกซีซิเลน (3-glycidoxypropyl triethoxysilane) เป็นตัวประสานระหว่างเส้นใยที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) กับอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะโคเวเลนต์ยึดเกาะดีขึ้นซึ่งช่วยเพิ่มความคงทนต่อการซักล้าง
3. เทคนิคโซล-เจล ที่ใช้ในการเตรียมผ้าสะท้อนน้ำในขั้นตอนภายหลังการหมัก ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการให้ความร้อนในการระเหยตัวทำละลายแทนการผึ่งแห้งที่อุณหภูมิห้อง
4. ควรทดสอบผิวสัมผัส ความกระด้างของผ้า และผลต่อสีบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ หลังการย้อมหรือพิมพ์ผ้า

รายการอ้างอิง

1. สิริรัตน์ จารุจินดา. สารช่วยสิ่งทอ. คัลเลอร์เวย์ 47 (2003): 46-50.
2. มณฑา จันทร์เกิดเลียด. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชินูปถัมภ์, 2541.
3. Schindler, W.D., and Hauser, P.J. Chemical Finishing of Textiles. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004.
4. Luzinov, I. Ultrahydrophobic Fiber: Lotus Approach. Project No.C04-CL06. Chemistry. Surface Modification of Materials. Clemson University, 2004.
5. Heywood, D. Textile Finishing. Hampshire: Society of Dyers and Colourists, 2003.
6. กาวี ศรีภูถิกิจ. นาโนเทคโนโลยี. คัลเลอร์เวย์ 55 (2004): 18-20.
7. วีระศักดิ์ อุตมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
8. Karmaker, S.R. Chemical Technology in the Pre-Treatment Processes of Textile. Netherland: Elsevier, 1999.
9. Route, H.K. Encyclopedia Textile Finishing. New York: Spriger, 2001
10. Sonthisombat, A., and Speakman, P.T. Silk: Queen of Fibres-The Cocise Story. Doctoral dissertation, Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, RIT University, 2004.
11. Hau, Y. Water Repellent Textile Finishes and Method of Making. US Patent, 6756077, June 29, 2004.
12. Holme, I. New Development in the Chemical Finishing of Textiles. Journal of the Textile Institute. 84,4 (1993): 520-533.
13. Sodono, C.S. Water and Soil Repellent for Fabric. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1979.
14. Baumann, M., Sakoske, H., Poth, L., and Tunker, G. Learning from the Lotus Flower-Selfcleaning Coating on Glass. Glass Processing Days 15 (2003): 330-333.
15. Herminghaus, S., Gau, H., and Monch, W. Element with Extremely Strong Water-Repellent Dry Zones on the Surface Thereof. Worldpatent 01/23437, 1999.

16. Blossey, R. Self-Cleaning Surface-Virtual Realities. Natural Materials. 2 (2003): 301-306.
17. Wright, R., Park, H., and Blitshteyn, M. Method and Apparatus for Measuring Contact Angles of Liquid Droplets on Substrate Surfaces. US Patent, 5268733, December 7, 1993.
18. Gould, P. Smart Clean Surfaces. Material Today (November 2003): 44-48.
19. Pierre, A.C., and Pajonk, G.M. Chemistry of Aerogel and Their Application. American Chemical Society. 102 (2002): 4243-4265.
20. Brinker, C.J., and Scherer, G.W. Sol-Gel Science/The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. Boston: Academic Press, 1990.
21. Katz, H.S., and Milewski, J.V. Handbook of Fillers for Plastics. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
22. Rao, A.V. and Haranath, D. Effect of Methyltrimethoxysilane as a Synthesis Component on the Hydrophobicity and some Physical Properties of Silica Aerogel, Microporous and Mesoporous Materials. 20 (1999): 267-273.
23. Seach, U. Improve Nano-Layer Silicate Thermal Stability via Silylation. Bachelor's Thesis, Department of Engineering, Queensland University, 2003.
24. Mahlting, B., and Bttcher, H. Modified Silica Sol Coatings for Water-Repellent Textiles. Journal of Sol-Gel Science and Technology 27 (2003): 43- 52.
25. Wituck, G.L. The Silane Primer: Chemistry and Applications of Alkoxy Silanes. Journal of Coatings Technology. 65, 822 (1993): 57-60.
26. Tshabalala, M.A., and Gangstand, J.E. Accelerated Weathering of Wood Surfaces Coated with Multifunctional Alkoxysilane by Sol-Gel Deposition. Journal of Coatings Technology 75, 943 (2003): 37-43.
27. Cerne, L., and Siminic, B. Influence of Finishing on the Surface Free Energy of Cellulosic Textile Substrates. Textile Research Journal 74, 5 (2004): 426-432.
28. Daoud, W.A., Xin, J.H., and Tao, X. Superhydrophobic Silica Nanocomposite Coating by a Low-Temperature Process. Journal of American Ceramic Society 89, 9 (2004) : 1782-1784.

29. Han, J.T., Xu, X., and Cho, K. Diverse Access to Artificial Superhydrophobic Surfaces Using Block Copolymers. Langmuir 21 (2005): 6662-6665.
30. Hikita, M., Tanaka, K., Nakamura, T., Kajiyama, T., and Takahara, A. Super-Liquid-Repellent Surfaces Prepared by Colloidal Silica Nanoparticles Covered with Fluoroalkyl Groups. Langmuir 21 (2005): 7299-7302.
31. Tshabalala, M.A., Kingshott, P., Vanlandingham, M.R., and Plackett, D. Surface Chemistry and Moisture Sorption Properties of Wood Coated with Multifunctional Alkoxysilanes by Sol-Gel Process. Journal of Applied Polymer Science 88 (2002): 2828-2841.
32. AATCC Technical Manual 110: 2000.
33. AATCC Technical Manual 61: 2001.
34. Meth, S., and Sukenik, C.N. Siloxane-Anchored Thin Films on Silicon Dioxide-Modified Stainless Steel. Thin Solid Films. 425 (2003): 49-58.
35. Nakagawa, T., and Soga, M. A New Method for Fabrication Water Repellent Silica Films Having High Heat-Resistance Using the Sol-Gel Method. Journal of Non-Crystalline Solids. 260 (1999): 167-174.
36. Jantas, R., and Gorna, K. Antibacterial Finishing of Cotton Fabrics. Fibres and Textiles in Eastern Europe. 14, 1 (2006): 88-91.
37. Lee, S.M., Cho, D., Park, W.H., Lee, S.A., Han, S.K., and Drzal, L.T. Novel Silk/Poly(Butylene Succinate) Biocomposites: the Effect of Short Fibre Content on Their Mechanical and Thermal Properties. Composites Science and Technology. 65 (2005): 647-657.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. ดัชนีความขาวของผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม)

ตารางที่ ก1 ดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนที่ภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง (ผ้าฝ้าย)	ดัชนีความขาว		
	pH 5 (HCl)	pH 4 (HCl)	pH 3 (HCl)
ไม่ตกแต่งสะท้อนน้ำ	64.75		
ตกแต่งสะท้อนน้ำ			
HDTMS 1%	69.87	69.74	70.22
Silica 1% และ HDTMS 1%	70.81	71.33	70.86
Silica 3% และ HDTMS 1%	71.39	71.71	71.14
Silica 5% และ HDTMS 1%	71.83	71.85	71.89
HDTMS 3%	68.64	68.97	69.10
Silica 1% และ HDTMS 3%	69.48	69.52	70.54
Silica 3% และ HDTMS 3%	71.15	71.17	70.96
Silica 5% และ HDTMS 3%	73.07	72.89	73.11
HDTMS 5%	67.50	66.75	68.36
Silica 1% และ HDTMS 5%	67.57	67.53	68.72
Silica 3% และ HDTMS 5%	69.72	68.84	68.75
Silica 5% และ HDTMS 5%	69.75	69.16	69.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง (ผ้าฝ้าย)	ดัชนีความขาว		
ไม่ตกแต่งสะท้อนน้ำ	64.75		
ตกแต่งสะท้อนน้ำ	pH 5 (CH ₃ COOH)	pH 4 (CH ₃ COOH)	pH 3 (CH ₃ COOH)
HDTMS 1%	69.61	69.43	70.38
Silica 1% และ HDTMS 1%	69.96	70.42	70.83
Silica 3% และ HDTMS 1%	70.27	70.61	70.94
Silica 5% และ HDTMS 1%	71.36	70.78	71.45
HDTMS 3%	68.66	68.76	69.01
Silica 1% และ HDTMS 3%	70.78	69.28	70.67
Silica 3% และ HDTMS 3%	72.25	71.16	71.13
Silica 5% และ HDTMS 3%	73.27	72.69	73.22
HDTMS 5%	68.73	67.19	68.19
Silica 1% และ HDTMS 5%	69.19	67.57	69.10
Silica 3% และ HDTMS 5%	70.83	68.92	70.84
Silica 5% และ HDTMS 5%	72.59	71.06	71.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก2 ดัชนีความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนที่ภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง (ผ้าไหม)	ดัชนีความขาว		
	pH 5 (HCl)	pH 4 (HCl)	pH 3 (HCl)
ไม่ตกแต่งสะท้อนน้ำ	59.86		
ตกแต่งสะท้อนน้ำ			
HDTMS 1%	61.55	62.28	60.66
Silica 1% และ HDTMS 1%	63.56	63.55	64.71
Silica 3% และ HDTMS 1%	64.66	62.76	63.18
Silica 5% และ HDTMS 1%	63.29	61.02	62.38
HDTMS 3%	61.11	59.57	61.42
Silica 1% และ HDTMS 3%	61.65	60.44	60.97
Silica 3% และ HDTMS 3%	62.93	61.63	63.09
Silica 5% และ HDTMS 3%	63.66	60.11	67.16
HDTMS 5%	55.50	57.65	57.63
Silica 1% และ HDTMS 5%	56.34	57.65	56.80
Silica 3% และ HDTMS 5%	54.47	56.99	55.83
Silica 5% และ HDTMS 5%	54.13	57.85	54.335

ตัวอย่าง (ผ้าไหม)	ดัชนีความขาว		
ไม่ตกแต่งสะท้อนน้ำ	59.86		
ตกแต่งสะท้อนน้ำ	pH 5 (CH ₃ COOH)	pH 4 (CH ₃ COOH)	pH 3 (CH ₃ COOH)
HDTMS 1%	60.39	61.57	60.51
Silica 1% และ HDTMS 1%	60.66	60.80	58.70
Silica 3% และ HDTMS 1%	59.32	63.16	59.79
Silica 5% และ HDTMS 1%	62.70	59.78	60.82
HDTMS 3%	59.88	56.70	57.75
Silica 1% และ HDTMS 3%	57.84	58.62	58.25
Silica 3% และ HDTMS 3%	61.04	59.91	56.70
Silica 5% และ HDTMS 3%	60.95	60.67	59.94
HDTMS 5%	57.63	58.66	55.46
Silica 1% และ HDTMS 5%	55.07	57.40	57.12
Silica 3% และ HDTMS 5%	59.24	53.91	51.45
Silica 5% และ HDTMS 5%	56.77	54.39	52.90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. มุมสัมผัสน้ำของผ้า (ผ้าฝ้ายและผ้าไหม)

ตารางที่ ข1 มุมสัมผัสน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิเลนที่ภาวะต่างๆ

ผ้าฝ้าย	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (HCl)	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
A1	0	1	5	117.0	116.6	116.4
A2	1	1	5	118.8	118.4	117.6
A3	3	1	5	119.8	119.0	117.8
A4	5	1	5	119.4	117.2	117.0
A5	0	1	4	117.8	117.0	116.6
A6	1	1	4	120.2	118.6	118.0
A7	3	1	4	120.4	119.6	119.4
A8	5	1	4	119.8	119.4	118.0
A9	0	1	3	118.6	118.2	117.0
A10	1	1	3	119.8	119.2	117.4
A11	3	1	3	120.2	118.6	117.4
A12	5	1	3	121.0	119.6	118.8
B1	0	3	5	118.2	116.6	115.6
B2	1	3	5	121.2	118.8	118.0
B3	3	3	5	120.0	118.6	118.2
B4	5	3	5	121.6	120.2	119.0
B5	0	3	4	118.4	117.4	117.0
B6	1	3	4	121.8	120.0	118.0
B7	3	3	4	121.6	120.8	118.8
B8	5	3	4	122.0	119.6	119.0
B9	0	3	3	118.4	117.8	117.2
B10	1	3	3	120.4	119.8	118.4
B11	3	3	3	120.2	120.0	119.0
B12	5	3	3	120.8	120.4	118.6

ผ้าฝ้าย	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (HCl)	มูมสัมพัทธ์ ของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
C1	0	5	5	118.6	118.4	115.8
C2	1	5	5	122.2	120.0	118.2
C3	3	5	5	121.8	119.8	117.4.
C4	5	5	5	119.8	119.6	118.6
C5	0	5	4	118.8	118.0	114.6
C6	1	5	4	120.4	120.0	115.2
C7	3	5	4	120.6	120.2	119.0
C8	5	5	4	121.6	121.2	117.4
C9	0	5	3	117.0	116.2	115.4
C10	1	5	3	120.0	118.2	118.0
C11	3	5	3	120.8	119.4	117.8
C12	5	5	3	120.0	119.8	118.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผ้าฝ้าย	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (CH ₃ COOH)	มุมสัมผัสน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
D1	0	1	5	119.8	119.4	114.0
D2	1	1	5	121.2	120.0	116.6
D3	3	1	5	121.8	120.6	117.2
D4	5	1	5	121.6	120.6	117.6
D5	0	1	4	118.2	118.0	115.0
D6	1	1	4	120.6	119.0	116.4
D7	3	1	4	121.6	119.6	117.4
D8	5	1	4	120.6	118.6	117.2
D9	0	1	3	117.2	116.0	115.0
D10	1	1	3	119.4	118.2	116.2
D11	3	1	3	120.8	119.4	118.2
D12	5	1	3	120.8	119.4	118.8
E1	0	3	5	120.0	118.9	117.4
E2	1	3	5	121.6	119.6	118.2
E3	3	3	5	122.6	119.7	118.4
E4	5	3	5	123.0	120.4	119.6
E5	0	3	4	118.6	117.5	116.6
E6	1	3	4	122.2	119.2	117.8
E7	3	3	4	121.6	119.8	119.2
E8	5	3	4	122.8	119.6	116.6
E9	0	3	3	118.4	117.7	116.2
E10	1	3	3	122.0	118.9	118.2
E11	3	3	3	121.4	119.8	119.6
E12	5	3	3	122.2	119.9	119.2

ผ้าฝ้าย	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (CH ₃ COOH)	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
F1	0	5	5	120.4	116.6	116.6
F2	1	5	5	120.6	119.0	117.6
F3	3	5	5	121.4	119.8	118.4
F4	5	5	5	120.8	119.8	118.0
F5	0	5	4	118.8	118.0	116.4
F6	1	5	4	120.0	118.8	118.0
F7	3	5	4	120.4	118.8	117.8
F8	5	5	4	120.6	119.2	119.2
F9	0	5	3	117.8	117.0	117.0
F10	1	5	3	120.2	119.8	119.6
F11	3	5	3	120.0	120.0	119.6
F12	5	5	3	120.0	118.6	118.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข2 มุมสัมผัสน้ำของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยอนุภาคนาโนของ ซิลิกอนไดออกไซด์และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนที่ภาวะต่างๆ

ผ้าไหม	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (HCl)	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
AA1	0	1	5	118.2	117.8	111.4
AA2	1	1	5	118.6	118.2	113.8
AA3	3	1	5	121.2	116.2	113.8
AA4	5	1	5	120.4	115.6	114.6
AA5	0	1	4	116.8	116.6	110.4
AA6	1	1	4	119.0	118.4	114.6
AA7	3	1	4	120.0	118.2	115.6
AA8	5	1	4	119.4	118.8	116.0
AA9	0	1	3	118.6	117.6	113.0
AA10	1	1	3	120.0	118.6	116.6
AA11	3	1	3	120.6	115.8	113.8
AA12	5	1	3	120.0	118.8	117.0
BB1	0	3	5	118.0	115.4	113.8
BB2	1	3	5	118.2	117.2	116.0
BB3	3	3	5	119.0	117.4	115.8
BB4	5	3	5	119.6	119.2	117.8
BB5	0	3	4	118.4	115.0	110.8
BB6	1	3	4	119.8	117.4	117.0
BB7	3	3	4	120.2	117.6	115.4
BB8	5	3	4	120.2	116.6	115.4
BB9	0	3	3	118.4	115.8	113.8
BB10	1	3	3	119.2	118.6	115.4
BB11	3	3	3	119.8	118.0	117.6
BB12	5	3	3	120.0	119.6	116.0

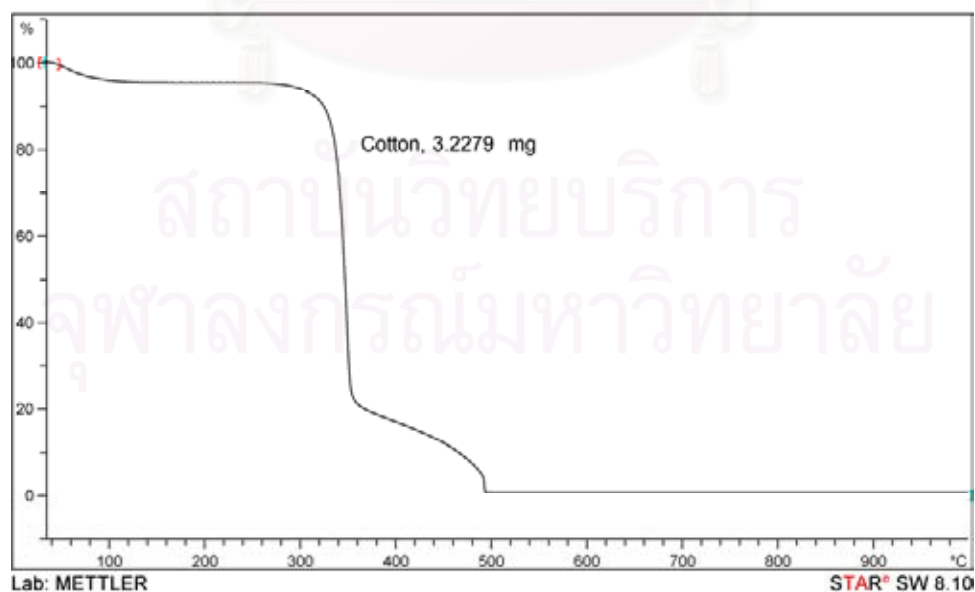
ผ้า ไหม	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (HCl)	มูมสัมผัส ของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
CC1	0	5	5	119.0	116.4	114.8
CC2	1	5	5	120.4	119.0	115.0
CC3	3	5	5	119.8	118.0	116.8
CC4	5	5	5	120.4	118.4	118.0
CC5	0	5	4	118.6	116.2	114.8
CC6	1	5	4	120.2	118.5	115.8
CC7	3	5	4	120.0	118.6	116.2
CC8	5	5	4	120.0	118.6	116.2
CC9	0	5	3	118.8	117.4	112.0
CC10	1	5	3	120.0	118.8	113.6
CC11	3	5	3	120.0	119.8	113.6
CC12	5	5	3	119.8	119.6	116.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

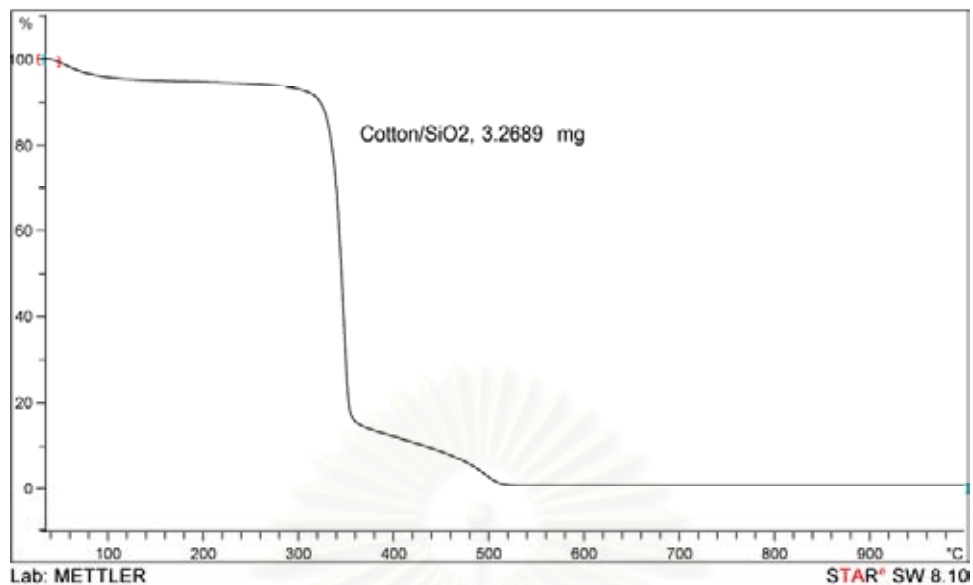
ผ้าไหม	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (CH ₃ COOH)	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
DD1	0	1	5	119.4	117.0	115.0
DD2	1	1	5	120.0	117.2	115.6
DD3	3	1	5	120.0	117.8	116.6
DD4	5	1	5	121.2	117.2	115.8
DD5	0	1	4	119.0	117.8	115.8
DD6	1	1	4	119.2	118.2	118.0
DD7	3	1	4	119.8	119.4	118.2
DD8	5	1	4	120.2	116.2	115.2
DD9	0	1	3	119.4	116.4	114.8
DD10	1	1	3	119.4	118.0	115.0
DD11	3	1	3	120.0	117.6	115.8
DD12	5	1	3	120.2	116.6	115.2
EE1	0	3	5	116.8	114.6	113.2
EE2	1	3	5	120.0	116.2	115.4
EE3	3	3	5	121.4	119.6	117.0
EE4	5	3	5	123.0	118.8	115.2
EE5	0	3	4	118.2	117.0	116.6
EE6	1	3	4	120.0	118.0	117.6
EE7	3	3	4	120.0	118.6	118.2
EE8	5	3	4	121.2	118.8	116.0
EE9	0	3	3	117.6	117.0	116.6
EE10	1	3	3	120.8	118.8	118.2
EE11	3	3	3	119.6	119.0	117.8
EE12	5	3	3	120.4	118.4	118.2

ผ้าไหม	Silica (%)	HDTMS (%)	pH (CH ₃ COOH)	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)		
				ก่อนซัก	ซัก 5 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
FF1	0	5	5	117.6	117.2	116.4
FF2	1	5	5	117.6	117.4	116.8
FF3	3	5	5	119.2	118.2	117.2
FF4	5	5	5	119.8	117.4	117.0
FF5	0	5	4	117.2	116.8	116.4
FF6	1	5	4	118.6	117.8	117.0
FF7	3	5	4	118.4	118.2	118.0
FF8	5	5	4	118.4	117.8	117.2
FF9	0	5	3	118.2	117.2	116.2
FF10	1	5	3	119.2	118.0	117.8
FF11	3	5	3	119.4	117.8	117.0
FF12	5	5	3	120.2	117.4	116.6

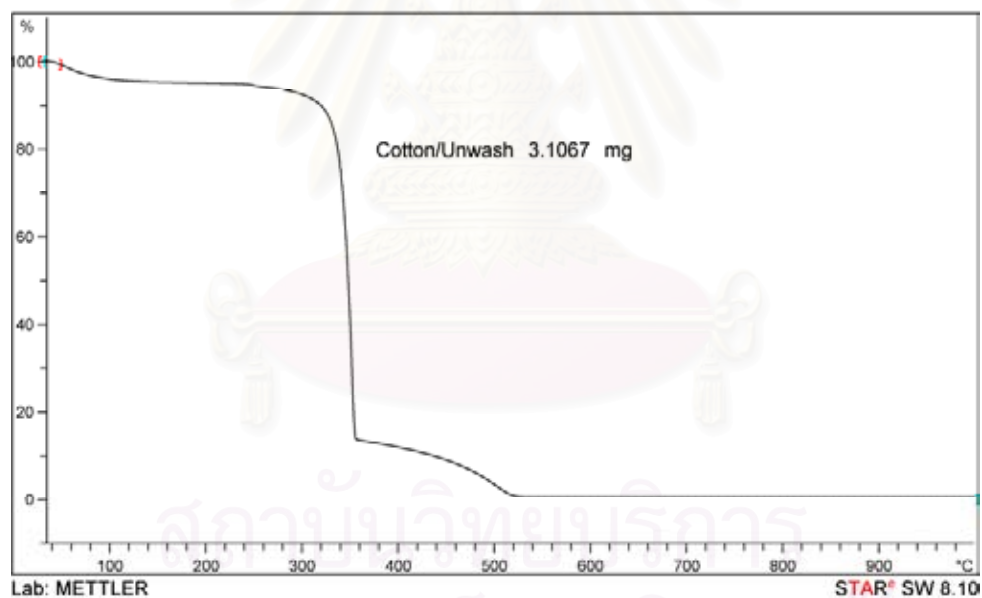
ค. สมบัติทางความร้อนของผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคเทอร์โมกราฟิมेटริกอะนาลิซิส ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน



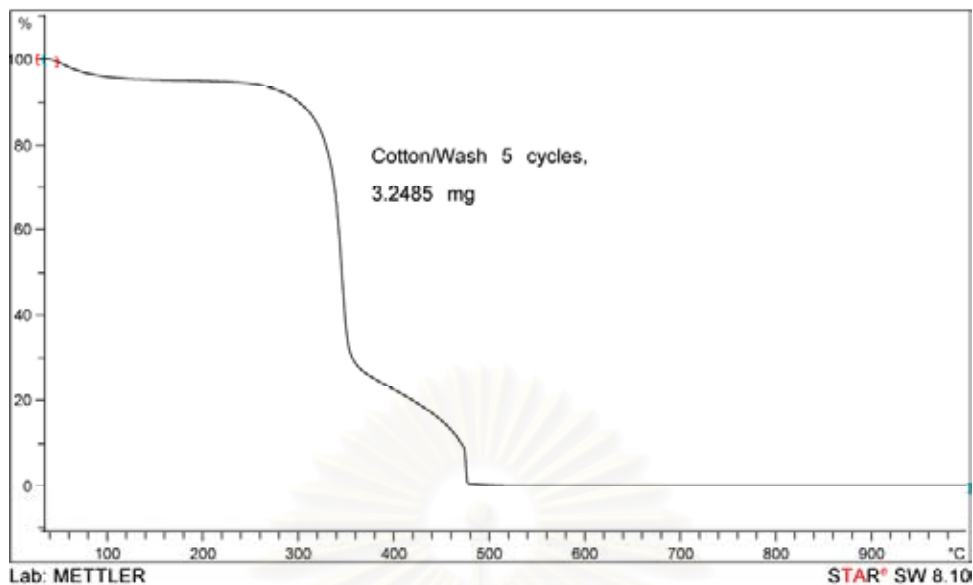
รูปที่ ค1 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ



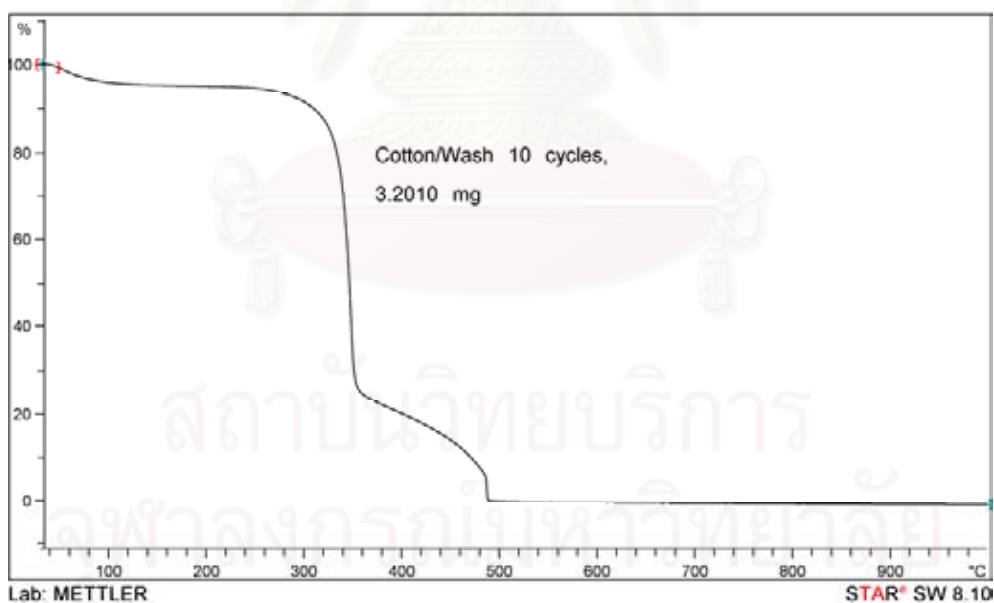
รูปที่ ค2 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก



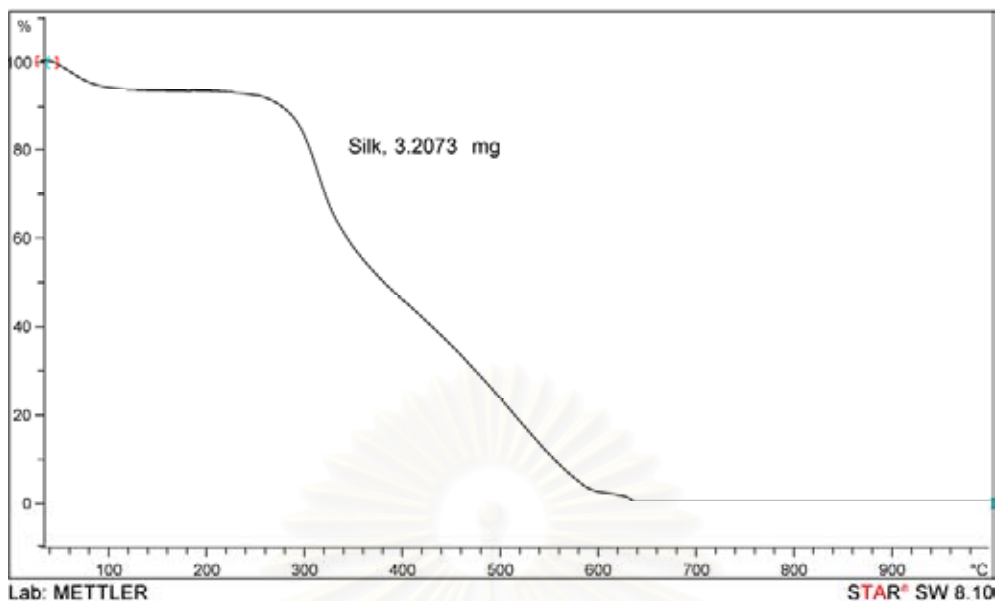
รูปที่ ค3 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก



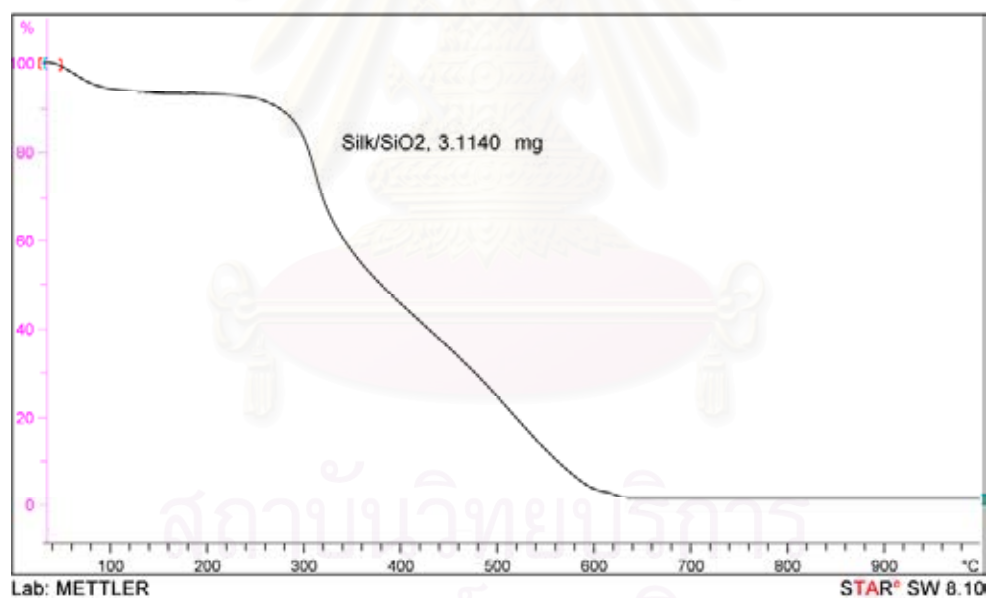
รูปที่ ค4 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมททอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก ภายหลังจากการซักล้าง 5 ครั้ง



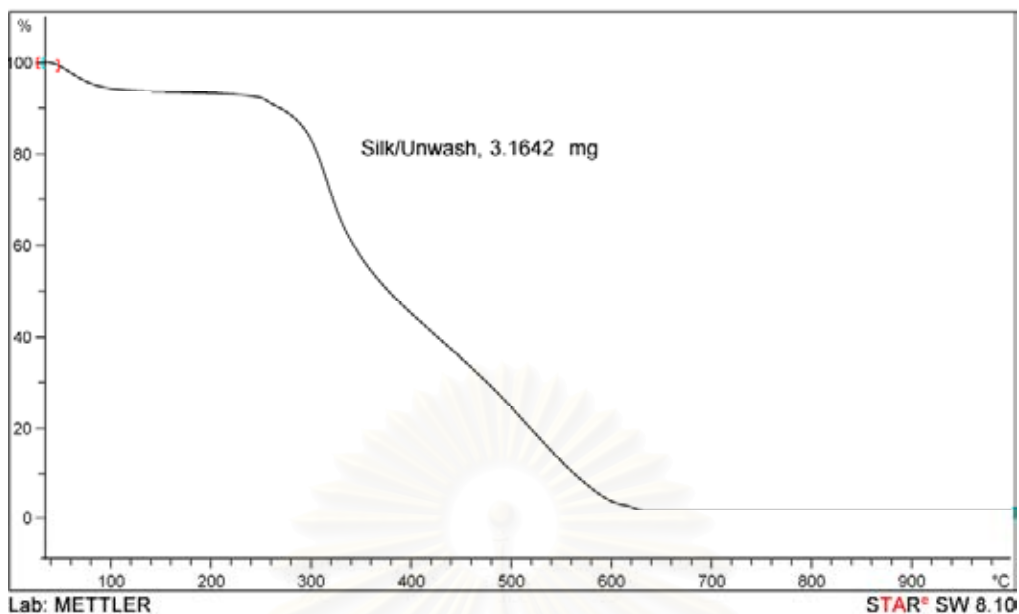
รูปที่ ค5 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมททอกซีซิเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก ภายหลังจากการซักล้าง 10 ครั้ง



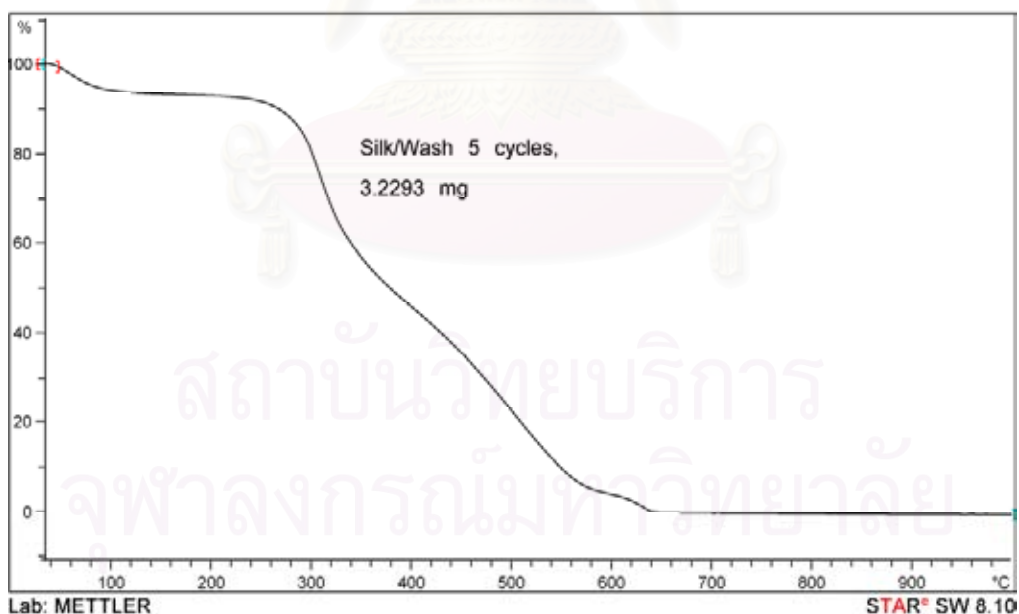
รูปที่ ค6 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสะท้อนน้ำ



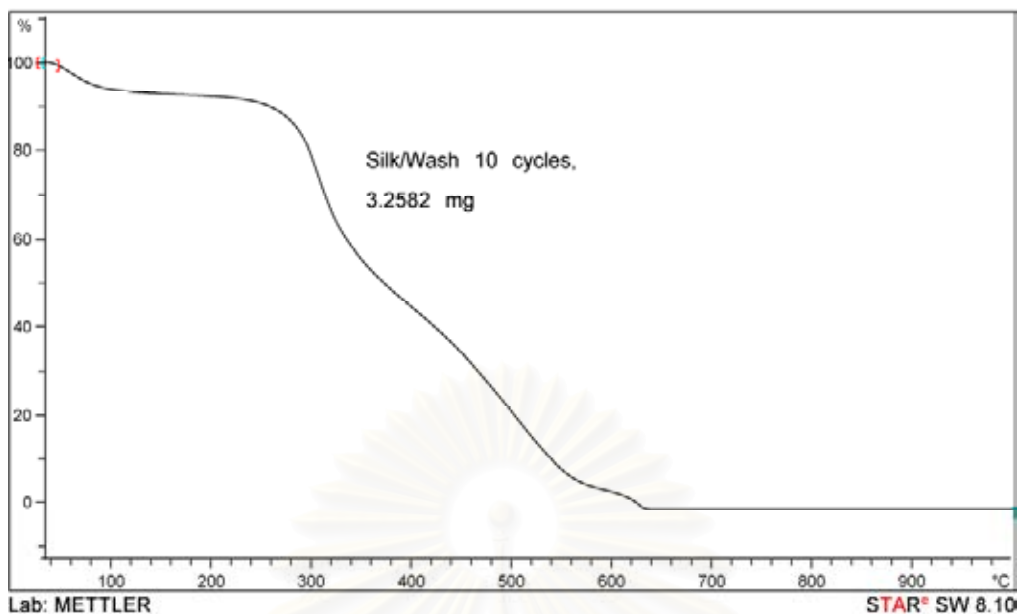
รูปที่ ค7 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าไหมที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก



รูปที่ ค8 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าไหมที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก



รูปที่ ค9 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าไหมที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซีเลนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก ภายหลังจากการซักล้าง 5 ครั้ง



รูปที่ ค10 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าไหมที่เคลือบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีซิลีนร้อยละ 3 ของน้ำหนัก ปรับค่าพีเอช เท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก ภายหลังจากซักล้าง 10 ครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธัญวรัตน์ พิพัฒน์ชาญชัย เกิดวันที่ 13 เมษายน พ.ศ.2524 ภูมิลำเนา อยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ในปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย