การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสียูวี

นางสาววัชรินทร์พร พรหมสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Flame retardant and water repellent polyester finishing by UV curable coatings

Miss Watcharinporn Phomsook

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสียูวี
โดย	นางสาววัชรินทร์พร พรหมสุข
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธิชา นุ่มหอม)

วัชรินทร์พร พรหมสุข : การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสียูวี. (FLAME RETARDANT AND WATER REPELLENT POLYESTER FINISHING BY UV CURABLE COATINGS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล, 125 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมสารเคลือบผิวให้มีสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำเพื่อนำไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี โดยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีเตรียมได้จากมอนอเมอร์ไทรเมทิลอลโพรเพนไทรอะคริเลตกับมอนอเมอร์ไวนิลฟอสฟอนิกแอซิดร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงปริมาณ 3%โดยน้ำหนักและตัวเจือจางเอทานอล โดยศึกษาชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต่อสมบัติหน่วงไฟของสารเคลือบผิวและศึกษาสมบัติทางความร้อนของสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค TGA โดยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้เป็นสารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัสซึ่งมีกลไกหน่วงไฟแบบ condensed phase และศึกษาการเตรียมสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีจากยูรีเทนอะคริเลตกับมอนอเมอร์ฟลูออริเนตเตดร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงปริมาณ 5%โดยน้ำหนัก และตัวเจือจางเอทานอล จากนั้นนำสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ทั้งหน่วงไฟและสะท้อนน้ำไปใช้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี ทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยการสังเกตพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา, ทดสอบหาค่า LOI, วัดมุมสัมผัสน้ำและตรวจสอบระยะเวลาของหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า รวมทั้งศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) พบว่าสารเคลือบที่ใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์จะเกิดเป็นชั้นฟิล์มปกคลุมทั่วพื้นผิวของเส้นใย ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีให้สมบัติหน่วงไฟที่ดี สามารถต้านการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาและดับไฟได้ด้วยตัวเอง และสามารถชะลอการซึมน้ำบนผ้าได้ เนื่องจากชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นจะปกคลุมช่องว่างของพื้นผิวของเส้นใยทำให้น้ำซึมผ่านได้ช้าลง และทำการศึกษาประยุกต์การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีร่วมกับการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำทางการค้าประเภทสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนด้วยเทคนิคจุ่มอัด (pad-dry-cure) พบว่าที่ผ้าพอลิเอสเทอร์หลังผ่านการตกแต่งสำเร็จยังคงให้สมบัติหน่วงไฟที่ดี และสามารถสะท้อนน้ำได้โดยมีค่ามุมสัมผัสน้ำสูงถึง 120 องศา

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2555

5372526323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : POLYESTER / UV CURING / FINISHING / FLAME RETARDANT

WATCHARINPORN PHOMSOOK : FLAME RETARDANT AND WATER REPELLENT POLYESTER FINISHING BY UV CURABLE COATINGS. ADVISOR : ASST. PROF. NANTANA JIRATUMNUKUL, Ph.D., 125 pp.

The objective of this research is to prepare a ultraviolet curable coating formulation providing flame retardant and water repellent function for polyester finishing. Flame retardant curable coating formulations were prepared from trimethylolpropanetriacrylate and vinyl phosphonic acid with the photo-initiator 3% by weight and ethanol. The effects of photoinitiator used in the formulations toward heat-stability of dry film were studied using TGA. Flame retardant curable coating was a phosphorous type of flame retardant agent and its mechanism is condensed phase. Water repellent curable coating formulations were prepared from urethane acrylate resin and fluorinated monomer with photoinitiator 5% by weight and ethanol. UV-curable coating formulations were used to finished onto polyester fabric to obtain flame retardant and water repellent property. Their properties such as burning characteristic, value of LOI, contact angle and retention time of water were observed relative to unfinished fabric. Surface of finished polyester was observed by SEM. It was found that a layer of coating film covered surface of fibers. Finished polyester fabric provided better flame retardancy and longer retention time of water on the fabric surface than unfinished fabric due to coating film covered the holes on the fabric surface. The application of flame retardant UV coating incoperated with comercial water repellent agent was used for polyester finishing. It was found that polyester fabric provided good flame retardant and water repellent properties. Moreover, the contact angle of finished fabric was 120 degree.

Department : Materials Science Student's Signature .....

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

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ การเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบสำหรับวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้กำลังใจ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำด้านวิชาการ การแก้ไขรูปเล่ม และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำด้านวิชาการ การตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ชลธิชา นุ่มหอม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอกมหาวิทยาลัยที่ให้กำลังใจ คำแนะนำด้านวิชาการ การตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงบุคลากรทุกท่านในภาควิชา ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มอบทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา ซึ่งประกอบด้วยค่าเล่าเรียนและค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาที่ศึกษาเป็นเวลา 2 ปี

ขอขอบคุณโครงการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมโปรแกรมวัสดุเฉพาะทาง สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่เอื้อเฟื้อทุนค่าสารเคมี ค่าใช้จ่ายและวัสดุอุปกรณ์ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติ พี่น้องและเพื่อนๆที่สนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งครูและอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงตามที่มุ่งหวัง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2 วารสารปริทรรศน์ 4

2.1 พอลิเอสเทอร์ 4

2.1.1 กระบวนการผลิตพอลิเอสเทอร์ 4

2.1.2 สมบัติทางกายภาพ 6

2.1.3 สมบัติทางเคมี 7

2.2 การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ 9

2.3 การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ 10

2.3.1 วงจรการเผาไหม้ของสิ่งทอ 11

2.3.2 พฤติกรรมการติดไฟและการหลอมหยดของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ 12

2.3.3 กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟ 13

2.3.4 ประเภทของสารหน่วงไฟ 14

2.4 การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ 17

2.4.1 กลไกการสะท้อนน้ำ 17

2.4.2 มุมสัมผัส 18

2.4.3 การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้สะท้อนน้ำ 20

2.4.4 ประเภทสารตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ 21

บทที่ หน้า

2.5 เทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี 25
2.5.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง 27
2.5.2 ตัวอย่างของประเภทเรซินที่นิยมนำมาใช้ระบบการบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวี 30
2.5.3 การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ 31
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 35
3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 35
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 36
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 37
3.4 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 41
3.4.1 ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 42
3.5 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ 43
3.5.1 ตัวแปรที่ศึกษาในสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ 44
3.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของและปริมาณเถ้าของฟิลม์สารเคลือบผิวที่ได้จากการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี 45
3.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่คาร์บอนของฟิลม์สารเคลือบผิวด้วยเครื่อง Attenuated total reflectance infrared spectrometer (ATR-IR) 46
3.8 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวี 47
3.8.1 การเตรียมผ้าพอลิเอสเทอร์ก่อนนำไปตกแต่งสำเร็จ 47
3.8.2 การจุ่ม-อัดผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยสารเคลือบผิวหรือสารตกแต่งสำเร็จ 47
3.8.3 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี 48
3.9 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่ม-อัด-ผนึก 48
3.10 วิธีการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำ 49
3.10.1 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี 49

บทที่ หน้า

3.10.2 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสาเคลือบผิวด้วยรังสียูวีร่วมกับเทคนิคจุ่ม-อัด-ผนึก 50
3.11 ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ 51
3.11.1 ศึกษาพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM 51
3.11.2 ศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา และพฤติกรรมการหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์ 51
3.11.3 การทดสอบหาค่า LOI 52
3.11.4 การวัดความขาวและความเหลืองของผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องวัดสีแมคเบทรีแฟลกแตนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 54
3.11.5 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวผ้า 55
3.11.6 ตรวจสอบระยะเวลาของหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า 55
3.11.7 ทดสอบความคงทนต่อการซักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้า 56
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 57
4.1 การศึกษาหาภาวะที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีและการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่คาร์บอนของสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี 57
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟด้วยเทคนิค TGA 60
4.2.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อปริมาณเถ้าคาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิว 65
4.3 การตกแต่งสำเร็จสารหน่วงไฟบนผ้าพอลิเอสเทอร์ 68
4.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีด้วยเทคนิค TGA 68
4.3.2 การทดสอบหาค่า LOI (Limiting Oxygen Index) 72

บทที่ หน้า

4.3.3 ศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา และการหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์ 75
4.4 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำ 82
4.4.1 การหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ 84
4.4.2 การตรวจสอบระยะเวลาของหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า 87
4.5 การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยสารสะท้อนน้ำทางการค้าโดยใช้เทคนิคจุ่มอัด 92
4.6 การศึกษาอิทธิพลของการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำต่อสีของผ้า 94
4.7 การศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนส่องกราด (SEM) 96
4.8 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำและหน่วงไฟ 100
4.8.1 การทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จก่อนซัก 100
4.8.2 ทดสอบความคงทนหลังการซัก 1 ครั้งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้า 105
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 108
5.1 สรุปผลการทดลอง 108
5.2 ข้อเสนอแนะ 109
รายการอ้างอิง 110
ภาคผนวก 114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 125

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อุณหภูมิการติดไฟของเส้นใยต่างๆ 11

2.2 ดัชนีบอกระดับความเปียกของซลาฟเฟอร์ 20

2.3 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี 27

3.1 สูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 43

3.2 สูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ 45

4.1 ค่า %LOI ก่อนซักและหลังซักของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสารเคลือบผิวหน่วงไฟทั้งก่อนซักและหลังซัก 73

4.2 พฤติกรรมลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173 ทั้งก่อนและหลังซัก 77

4.3 พฤติกรรมลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO ทั้งก่อนและหลังซัก 79

4.4 ระยะเวลาที่หยดน้ำซึมบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำก่อนและหลังซัก 89

4.5 ผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดก่อนซักและหลังซัก 93

4.6 ความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จทั้งหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ 95

4.7 ผลการทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ 100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตพอลิเอสเทอร์ชนิด PET	5
2.2	โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ชนิด PET	5
2.3	รูปถ่ายเส้นใยพอลิเอสเทอร์จากกล้องจุลทรรศน์	6
2.4	วงจรการเผาไหม้ของสิ่งทอ	12
2.5	กระบวนการสะท้อนน้ำ	18
2.6	มุมสัมผัส	18
2.7	ขั้นตอนการวัดมุมสัมผัสด้วยวิธีเซสไซดรอป (sessile drop)	19
2.8	ปรากฏการณ์การโค้งของของเหลว	19
2.9	ฉากโปรเทคเตอร์สำหรับวัดค่ามุมสัมผัส	20
2.10	เกลือโลหะของกรดไขมัน	21
2.11	อนุพันธ์ของกรดไขมันสเตียริก-เมลามีน	22
2.12	พอลิไดเมทิลไซลอกเซนยึดเกาะพื้นผิวของเส้นใย	23
2.13	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์อะคริเลตที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นสารเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน	24
2.14	สารฟลูโอโรคาร์บอนบนพื้นผิวเส้นใย	24
2.15	สเปกตรัมของแสงยูวี	25
2.16	ขั้นตอนการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี	26
2.17	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี	26
2.18	การดูดกลืนพลังงานและการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดอนุมูลอิสระ Norrish Type I และ II	28
2.19	การแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยา Benzoin alkyl ethers	28
2.20	การแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type II โดยมี tertiary amine เป็น synergist	29
2.21	กลไกการแตกตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดประจุบวก	29
2.22	ปฏิกิริยาการบ่มสารเคลือบผิวพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว	30
2.23	ปฏิกิริยาการบ่มสารเคลือบผิวยูรีเทน-อะคริเลต	31

รูปที่ หน้า

2.24 ขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี 31
2.25 แผนภูมิแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบผิวขณะถูกบ่มด้วยรังสียูวี 32
3.1 แผนภูมิลำดับขั้นตอนการทดลอง 40
3.2 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี 41
3.3 จานวัดความเข้มรังสียูวี UV-Integrator 41
3.4 เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA) รุ่น TG/SDTA851^{e} 46
3.5 เครื่อง Attenuated total reflectance infrared spectrometer (ATR-IR) 47
3.6 เครื่องบีบอัดแบบลูกกลิ้ง 48
3.7 เครื่องอบแห้ง 49
3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 51
3.9 เครื่องทดสอบความสามารถในการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา 52
3.10 เครื่องทดสอบหาค่า LOI 53
3.11 เครื่องวัดสีแมคเบทรีแฟลกแตนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 55
3.12 เครื่องวัดมุมสัมผัส 55
3.13 เครื่องซักอัตโนมัติ 56
4.1 ATR-FTIR สเปกตรัมของฟิล์มสารเคลือบผิว (0%P-containing acrylate) 58
4.2 TGA เทอร์โมแกรมของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จาก
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173 62
4.3 TGA เทอร์โมแกรมของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จาก
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO 62
4.4 โครงสร้างของมอนอเมอร์ VPA 64
4.5 โครงสร้างของมอนอเมอร์ TMPTA 64
4.6 ปริมาณเถ้าคาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เกิดขึ้น
ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 67
4.7 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO
(2,4,6-Trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphineoxide) 67
4.8 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173
(2-Hydroxy-2-methyl-1-phenyl-propan-1-one) 68

รูปที่ หน้า

4.9 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ ด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173 71
4.10 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ ด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO 71
4.11 โครงสร้างของฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA 83
4.12 โครงสร้างของฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEMA 84
4.13 ค่ามุมสัมผัสน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วย เทคนิคบ่มสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากมอนอเมอร์ชนิด TFEMA 85
4.14 ค่ามุมสัมผัสน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วย เทคนิคบ่มสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากมอนอเมอร์ชนิด TFEA 86
4.15 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของผ้าพอลิเอสเทอร์ 97
4.16 ภาพ SEM ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ (กำลังขยาย 1,200 เท่า) 99
4.17 ผืนผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ 103
4.18 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ที่ผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 1 104
4.19 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ที่ผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 2 104
4.20 การสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำและหน่วงไฟ วิธีที่ 1 107
4.21 การสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำและหน่วงไฟ วิธีที่ 2 107

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆที่ทันสมัยเกิดขึ้นอยู่เสมอ เพื่อผลิตสินค้าที่มีนวัตกรรมใหม่ๆ หรือเพื่อปรับปรุงข้อเสียในการผลิตสินค้าแบบเดิมและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้ดีขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมามีคุณภาพและสามารถแข่งขันในท้องตลาดได้ รวมไปถึงสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคให้ตรงตามความพึงพอใจ วัตถุประสงค์ของการใช้งานนั้นๆและสอดคล้องกับรูปแบบการดำเนินชีวิตในสังคมปัจจุบันซึ่งมีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยีหรือกระบวนการที่ใช้ในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆในปัจจุบันต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ในด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอจัดเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษเฉพาะนอกเหนือจากสมบัติของเส้นใยโดยตรง เช่น การตกแต่งสำเร็จกันยับ การแต่งสำเร็จหน่วงไฟ และการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ เป็นต้น การตกแต่งสำเร็จนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติยังสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้อีกด้วย

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้มีสมบัติหน่วงไฟให้กับสิ่งทอมีความสำคัญ โดยเฉพาะสิ่งทอประเภทเคหะสิ่งทอ ได้แก่ ผ้าม่าน ผ้าปูเตียง และผ้าบุเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เนื่องจากหลายครั้งที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ตามอาคารบ้านเรือนและชุมชน วัสดุที่อยู่ภายในบ้านมักเป็นแหล่งเชื้อเพลิงซึ่งไม่สามารถต้านการติดไฟหรือหน่วงไฟได้ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ผลิตภัณฑ์สิ่งทอบางประเภทเมื่อติดไฟแล้วจะเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว ปลดปล่อยความร้อน และมีเขม่าควันพิษออกมาในปริมาณมาก ทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวไม่สามารถอพยพหนีได้ทัน โดยเฉพาะสิ่งทอที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ พอลิเอสเทอร์และไนลอน เมื่อมีการติดไฟจะมีการหลอมหยด ซึ่งจะก่อให้เกิดการลุกไหม้ของวัสดุที่อยู่ด้านล่างและเป็นอุปสรรคต่อการอพยพหนีไฟ จากการรวบรวมข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พบว่าในระหว่างปี พ.ศ. 2532 - 2553 มีสถิติการเกิดอัคคีภัยของประเทศไทยจำนวน 48,889 ครั้ง คิดเป็นมูลค่าความเสียหาย

มากกว่า 27,000 ล้านบาท [1] ซึ่งอัคคีภัยจัดเป็นสาธารณภัยประเภทหนึ่งที่เกิดจากไฟ โดยไฟจะให้พลังงานความร้อนและความร้อนของไฟที่ขาดการควบคุมจะก่อให้เกิดการลุกลามไปตามบริเวณที่มีเชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสิ่งทอที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟจะมีความสามารถในการต้านการติดไฟหรือติดไฟได้ช้าลง โดยประเภทสารหน่วงไฟที่นำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟมีหลายประเภท [2] สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัสเป็นสารหน่วงไฟที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสารหน่วงไฟประเภทนี้เมื่อเกิดการเผาไหม้จะปลดปล่อยแก๊สที่มีความเป็นพิษน้อยและสามารถหน่วงไฟได้ดี แต่สารหน่วงไฟประเภทนี้จะมีความคงทนต่อการซักต่ำ [3]

นอกจากสมบัติหน่วงไฟที่มีความจำเป็นแก่เคหะสิ่งทอแล้ว การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำเป็นอีกสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญกับเคหะสิ่งทอและผลิตภัณฑ์สิ่งทอต่างๆที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเปียกน้ำ โดยการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้สะท้อนน้ำจะช่วยทำให้การดูแลรักษาความสะอาดนั้นสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น ประหยัดเวลาและพลังงานในการนำไปซักหรือทำความสะอาด โดยน้ำสามารถชะเอาสิ่งสกปรกหรือฝุ่นละอองออกจากพื้นผิวของสิ่งทอได้โดยไม่มีการซึมผ่านน้ำลงบนเส้นใย การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำสามารถทำได้ทั้งทางกายภาพและทางเคมี [4] เช่น การดัดแปรพื้นผิวของเส้นใย เคลือบผิวเส้นใยด้วยสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และการเคลือบผิวของเส้นใยด้วยสารประกอบฟลูออโรคาร์บอน ในปัจจุบันนิยมนำสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนที่ประกอบด้วยสายโซ่ของ C-F จำนวนคาร์บอนประมาณ 7 - 8 อะตอม ซึ่งจะให้ค่ามุมสัมผัสน้ำสูงถึง 120 - 140 องศา ทำให้สิ่งทอมีประสิทธิภาพในการสะท้อนน้ำสูง แต่เนื่องจากทางสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้มีประกาศให้สารประกอบฟลูออโรคาร์บอนที่ประกอบด้วยสายโซ่ของ C-F จำนวนคาร์บอนมากกว่า 7 อะตอม ได้แก่ เปอร์ฟลูออโรออกเทนซัลโฟเนต (perfluorooctane sulfonate; PFOS) และ เปอร์ฟลูออโรออกทาโนอิกแอซิด (perfluorooctanoic acid; PFOA) เป็นสารไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อมและจะเกิดการสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยการยึดกับหน่วยโปรตีนในร่างกาย ซึ่งอาจก่อให้เกิดเนื้องอกมะเร็งที่ตับ และมีผลต่อระบบการสืบพันธุ์ [5-8] ทำให้มีงานวิจัยที่ศึกษาสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนชนิดสายโซ่ของ C-F สั้นกว่า 7 อะตอมคาร์บอนและการเตรียมสารสะท้อนน้ำจากสารอื่นๆ เพื่อใช้ทดแทนสารสะท้อนน้ำดังกล่าว

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอมักใช้วิธีการแบบดั่งเดิม คือ เทคนิคจุ่มอัด ซึ่งสารส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคจุ่มอัดจะเป็นสารที่มีตัวทำละลายผสมอยู่หรือสารจำพวกอิมัลชัน ที่ต้องใช้เวลาและพลังงานความร้อนในการทำให้แห้งและผนึกสารลงบนผ้าที่อุณหภูมิสูง ทำให้สูญเสียพลังงานและเวลามากในการตกแต่งสำเร็จ นอกจากนี้ไอระเหยของสารที่ใช้ตกแต่งของเหลวที่ระเหยออกมายังก่อให้เกิด VOC (volatile organic content) ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศและทำลายสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน จึงมีการศึกษาเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีมาประยุกต์ใช้ในการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ซึ่งเทคนิคนี้จะช่วยให้ประหยัดพลังงาน เนื่องจากการแห้งตัวเกิดจากการบ่มสารด้วยรังสียูวีอย่างรวดเร็วในช่วงวินาทีโดยไม่ต้องใช้ความร้อนมาเกี่ยวข้อง ทำให้อัตราการตกแต่งต่อหน่วยสูงและประสิทธิภาพกำลังการผลิตสูงขึ้น การตกแต่งสำเร็จด้วยการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีจะช่วยลดการใช้ตัวทำละลายและลดการปล่อยสาร VOC สู่บรรยากาศและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น นอกจากนี้สารเคลือบผิวหรือสารตกแต่งสำเร็จของเหลวที่ยังไม่ผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีจะสามารถเก็บและนำมาใช้สำหรับการตกแต่งสำเร็จใหม่ได้ในภายหลังอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเตรียมสารที่มีสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำที่บ่มได้ด้วยรังสียูวีเพื่อใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ และทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 **พอลิเอสเทอร์** (Polyester) [4,9]

ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2473 กลุ่มนักวิจัยของ Dr. William H. Carothers ได้ศึกษาการสังเคราะห์เส้นใยพอลิเอสเทอร์และเส้นใยไนลอน จนกระทั่งในช่วงปี พ.ศ. 2482 - 2489 ได้มีการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ทางการค้าตัวแรกขึ้นมีชื่อว่า Terylene และในเวลาต่อมาได้มีการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ทางการค้าออกสู่ตลาดเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ Dacron, Tetoron, Fortel และ Trevira ซึ่งชนิดเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ผลิตขึ้นส่วนใหญ่ คือ พอลิเอทิลีน เทเรปทาเลต(Polyethylene terephthalate: PET) และ พอลิ1,4ไซโคลเฮ็กไซลีน ไดเมทิวลีน เทเรปทาเลต(poly1,4cyclohexylene-dimethylene terephthalate: PCDT)

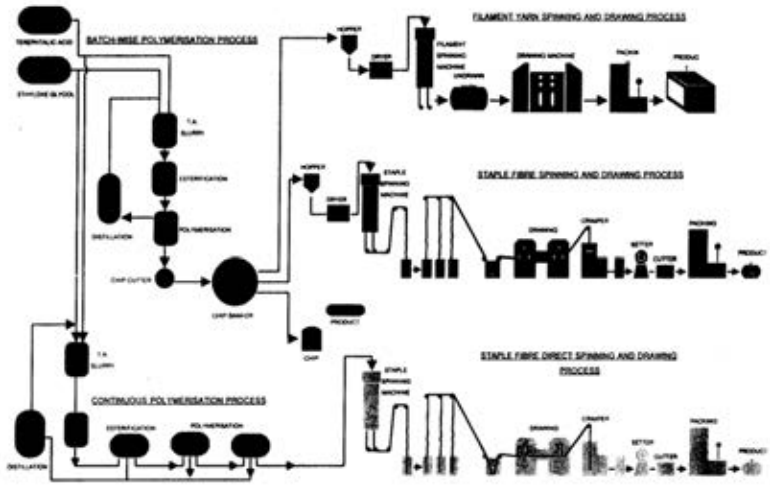
2.1.1 กระบวนการผลิตพอลิเอสเทอร์

วัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตพอลิเอสเทอร์ชนิด PET แต่เดิมใช้สารไดเมทิลเทเรฟทาเลต (DMT) เป็นสารตั้งต้น แต่เนื่องจากสาร DMT ทำปฏิกิริยากับวัตถุดิบตั้งต้นเอทิลีนไกลคอล (EG) จะได้ผลิตภัณฑ์พอลิเอสเทอร์ร่วมเป็นสารเมทานอลซึ่งเป็นสารมีความเป็นพิษและไวไฟ จึงทำให้มีการเปลี่ยนมาใช้กรดเทเรฟทาลิก (TPA) แทนสาร DMT เพื่อลดความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แต่จะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

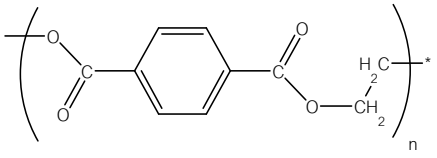
วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ คือ เอทิลีนไกลคอลและกรดเทเรฟทาลิกจะทำปฏิกิริยากันโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาในหม้ออบความดันสูงภายใต้สุญญากาศซึ่งจะได้พอลิเมอร์หลอมตัวลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ซึ่งจะนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นเม็ดและอบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นสำหรับเตรียมการผสมเพื่อผลิตเป็นเส้นใยพอลิเอสเทอร์ต่อไป

กระบวนการผลิตเป็นเส้นใยจะเริ่มจากการนำเม็ดพอลิเมอร์ที่ผ่านการสังเคราะห์ทำการผสมให้เข้ากันเพื่อให้มีความสม่ำเสมอในการผลิตเป็นเส้นใย จากนั้นจะนำเม็ดพอลิเมอร์

ไปผ่านการหลอมเหลว โดยในขั้นตอนนี้อาจจะมีการเติมสารเติมแต่งลงไปด้วย ได้แก่ สารลดความมัน สารทนไฟ และสารลดไฟฟ้าสถิต เพื่ออัดผ่านรูของหัวรีดซึ่งมีลักษณะต่างๆ ได้แก่ ทรงกลม สามเหลี่ยมมุมมน ห้ากลีบ หกกลีบหรือแปดกลีบ เป็นต้น พอลิเมอร์หลอมเหลวที่ผ่านหัวรีดจะเข้าสู่กระบวนการปั่นเส้นใย จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการดึงยืดขณะร้อน (hot drawing) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเส้นใยพอลิเอสเทอร์ และการทำ draw-texturing สุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเส้นใยพอลิเอสเทอร์สำหรับการทำผืนผ้าต่อไป ดังรูปที่ 2.1 และโครงสร้างทางเคมีของเส้นใย พอลิเอสเทอร์ชนิด PET ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เส้นใยพอลิเอสเทอร์ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างผลึกประมาณ 65 – 85% และระดับการพอลิเมอไรเซชั่นตั้งแต่ 115 – 140 โดยพันธะในเส้นใยพอลิเอสเทอร์ประกอบด้วยแรงแวนเดอวาลส์และมีพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆ ระหว่างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลกับหมู่เมทิลีนในสายโซ่ข้างเคียง



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตพอลิเอสเทอร์ชนิด PET [9]

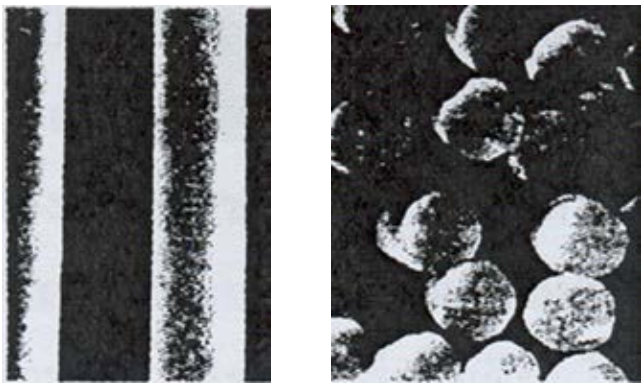


รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ชนิด PET

2.1.2 สมบัติทางกายภาพ

2.1.2.1 ลักษณะภายนอก

เส้นใยพอลิเอสเทอร์เป็นเส้นใยผิวเรียบ โปร่งแสงมีความมันตั้งแต่ระดับสว่างกึ่งทึบ และทึบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 – 25 ไมครอน เมื่อนำเส้นใยพอลิเอสเทอร์ไปส่องกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าเส้นใยพอลิเอสเทอร์ส่วนใหญ่มีภาคตัดขวางเป็นวงกลมและมีลักษณะเป็นแท่งยาว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปถ่ายเส้นใยพอลิเอสเทอร์จากกล้องจุลทรรศน์ [4]

2.1.2.2 ความแข็งแรง (strength)

เส้นใยพอลิเอสเทอร์มีความทนทานต่อการขัดถูสูงทั้งในสภาพแห้งและสภาพเปียก การยืดดึงร้อนจะส่งผลให้เส้นใยพอลิเอสเทอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากผลของการจัดเรียงตัวของผลึกมีความเป็นระเบียบเพิ่มขึ้น เส้นใยพอลิเอสเทอร์เหมาะแก่การนำไปทำด้ายเย็บผ้า

2.1.2.3 สภาพยืดหยุ่น (elasticity)

ความยืดหยุ่นของเส้นใยพอลิเอสเทอร์อยู่ในระดับปานกลางถึงดี เส้นใยพอลิเอสเทอร์จะมีการคืนตัวได้ดีในระดับแรงยืดดึงที่ต่ำ แต่จะไม่สามารถคืนตัวได้ดี เมื่อใช้

แรงยืดดึงสูง ทำให้เส้นใยพอลิเอสเทอร์สามารถรักษารูปทรงได้ดี ทำให้ผ้าไม่เสียรูปง่าย เหมาะกับการนำไปทำผ้าถัก

2.1.2.4 ความสามารถในการคงรูป (drapability)

การคืนตัวจากแรงอัดของเส้นใยพอลิเอสเทอร์อยู่ในระดับดีถึงดีมาก ทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์มีความทนทานต่อการยับทั้งในสภาพแห้งและเปียก

2.1.2.5 ความสามารถในการดูดซึมความชื้น (absorbency)

เส้นใยพอลิเอสเทอร์มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นต่ำ ค่าการดูดซึมความชื้นอยู่ในช่วง 0.4 – 0.8% ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดี คือ เหมาะแก่การนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแห้งเร็วและต้องการน้ำเกาะซึมได้น้อย แต่ข้อเสีย คือ กรณีนำไปใช้งานเป็นเสื้อผ้าจะทำให้ผู้ส่วมใส่รู้สึกไม่สบายตัว อึดอัด และยังมีปัญหาเรื่องการสะสมประจุไฟฟ้าและการจับเกาะของคราบน้ำมัน

2.1.2.6 ผลต่อความร้อน (reaction to heat)

เส้นใยพอลิเอสเทอร์จะอ่อนตัวหรือเริ่มเหนียวในช่วงอุณหภูมิประมาณ 227 – 242 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 250 – 290 องศาเซลเซียส เส้นใยพอลิเอสเทอร์จะเริ่มหลอมจับตัวเป็นหยดและติดไฟได้ และเมื่อนำออกจากเปลวไฟจะสามารถดับเองได้ แต่ถ้าผ้ามีสารเคมีอื่นๆที่ช่วยในการลามไฟจะทำให้ไฟไม่ดับหรือดับได้ช้าลง

2.1.3 สมบัติทางเคมี

2.1.3.1 ผลของกรดและเบส (Effect of acids and alkalis)

เส้นใยพอลิเอสเทอร์สามารถทนกรดและเบสได้ค่อนข้างดีที่อุณหภูมิห้อง แต่เส้นใยพอลิเอสเทอร์สามารถถูกทำลายด้วยกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิสูงและสามารถละลายได้ด้วยเบสแก่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

2.1.3.2 ผลของสารฟอกขาว (Effect of bleaching)

ผ้าพอลิเอสเทอร์ทนทานต่อสารฟอกขาวได้ดี และสามารถใช้สารซักฟอกตามท้องตลาดทั่วไปได้

2.1.3.3 ราและแมลง

พอลิเอสเทอร์ทนทานต่อเชื้อราและแมลงได้ดี

2.1.3.4 แสงแดด

พอลิเอสเทอร์ทนต่อแสงแดดได้ดี แต่ถ้าถูกแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานานๆ จะส่งผลให้สมบัติของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ต่ำลงได้ นิยมนำผ้าพอลิเอสเทอร์มาใช้เป็นผ้าม่านตกแต่งภายในบ้าน

2.1.3.5 การย้อมสี

ที่อุณหภูมิสูงพอลิเอสเทอร์สามารถย้อมติดได้ดีด้วยสีย้อมดิสเพิรส (dispersed dye) และสีย้อมอะโซอิก (azo dye)

จากสมบัติที่โดดเด่นของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ข้างต้น จึงได้มีการนำเส้นใยพอลิเอสเทอร์มาผลิตเป็นเส้นด้ายเพื่อนำไปทำเป็นผืนผ้าต่อไป คุณลักษณะของผ้าพอลิเอสเทอร์สามารถกำหนดได้จากกระบวนการผลิตเส้นด้าย ซึ่งจะขึ้นกับปริมาณและทิศทางการตีเกลียวของเส้นด้าย พอลิเอสเทอร์สามารถทำเป็นทั้งผ้าถักและผ้าทอได้เหมาะสำหรับใช้ทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม และเคหะสิ่งทอ ได้แก่ เสื้อเชิ๊ต กระโปรง ผ้าม่าน ผ้าหุ้มเบาะ และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้พอลิเอสเทอร์ยังสามารถนำไปใช้เชิงอุตสาหกรรมได้ เช่น การนำไปทำสายพานและเชือกที่มีความแข็งแรงสูง เป็นต้น การนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปใช้ในงานต่างๆ อาจจะต้องมีการปรับปรุงสมบัติของผ้าพอลิเอสเทอร์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานตามวัตถุประสงค์นั้นๆ เช่น การนำไปใช้เป็นเครื่องนุ่งห่มต้องมีการปรับปรุงสมบัติการดูดซึมความชื้นเพื่อให้เกิดความสบายแก่ผู้ส่วมใส่ ในด้านเคหะสิ่งทออาจจะต้องมี

การปรับปรุงการหน่วงไฟ กันยับ และการตกแต่งผิวผ้าให้มีสมบัติสะท้อนน้ำเพื่อให้การดูแลรักษาความสะอาดนั้นง่ายยิ่งขึ้น โดยการปรับปรุงสมบัติผ้าพอลิเอสเทอร์บางประการสามารถกระทำได้โดยการเติมสารเติมแต่งลงในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ขณะพอลิเมอร์หลอมเหลว และสามารถปรับปรุงได้หลังจากเป็นผ้าผืนแล้วด้วยการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงหรือเพิ่มสมบัติให้กับผ้าผืนเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอมีความหลากหลายและความน่าสนใจเพิ่มขึ้น

2.2 **การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ** [26]

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ หมายถึง การกระทำใดที่ทำต่อเส้นใย เส้นด้าย และผ้า เพื่อเปลี่ยนผิวสัมผัสและประโยชน์การใช้งานของผ้าให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ แบ่งเป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่

1) วิธีการเชิงกล (mechanical finishing)

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอวิธีการเชิงกลจะอาศัยเครื่องจักร โดยผ่านผ้าเข้าไปในเครื่องมือเชิงกล ได้แก่ ลูกกลิ้ง เครื่องยกผิวผ้า และการตัดเฉือนผิวผ้า เป็นต้น เพื่อเพิ่มความเงามันบนผ้า (Calendering) การทำให้ผ้าหดตัว (Sanforized) และเพิ่มขนบนผิวผ้า (Raising) เป็นต้น

1) วิธีการเชิงเคมี (chemical finishing)

การตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคมี คือ การใช้สารเคมีเพื่อให้ผ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีลักษณะที่ดีขึ้น ได้แก่ การทำให้ผ้าแข็งหรือนุ่ม การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ การตกแต่งสำเร็จให้ผ้านุ่ม-ลื่น และการตกแต่งสำเร็จต้านทานไฟฟ้าสถิต เป็นต้น

2.3 การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ (Flame retardant finishing)

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่นิยมนำมาผ่านการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้ทนไฟหรือหน่วงไฟ ได้แก่ ชุดนอนเด็กและเคหะสิ่งทอ เช่น ผ้าม่าน พรม และที่นอน เป็นต้น การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟให้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อลดการสูญเสียทรัพย์สินและชีวิตเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น [10,11] ในปัจจุบันหลายประเทศได้ออกกฎข้อบังคับให้สิ่งทอเหล่านี้มีสารหน่วงไฟเพื่อช่วยลดอันตรายเมื่อเกิดการลุกไหม้ ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในแถบยุโรป

เส้นใยส่วนใหญ่ที่นำมาผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่มและผลิตภัณฑ์สิ่งทอมักจะผลิตมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นใยฝ้าย เส้นใยพอลิเอสเทอร์และไนลอน เป็นต้น ซึ่งเส้นใยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะลุกติดไฟหรือหลอมตัวให้ความร้อนสูง โดยเฉพาะเส้นใยสังเคราะห์มักจะเกิดการลุกติดไฟและหลอมหยดซึ่งจะเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น โดยเส้นใยแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิการติดไฟแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ผ้าทนไฟแบ่งเป็น 3 ประเภทแบ่งตามความสามารถทนไฟ ได้แก่

1) ผ้าที่ทนไฟหรือกันไฟ (fire proof) ได้แก่ ผ้าใยหิน (asbestos) ผ้าประเภทนี้จะไม่ติดไฟและลุกไหม้ แต่เส้นใยหินไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำเสื้อผ้าหรือชิ้นส่วนตกแต่งภายใน
2) ผ้าที่มีสมบัติทนไฟแบบ flame resistant ผ้าประเภทนี้จะยังคงสามารถทนไฟหรือไม่ลุกไหม้ได้ถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งจะยังคงรูปร่างอยู่ ได้แก่ ผ้าที่ทำมาจากเส้นใย Nomex และ Kynol
3) ผ้าที่มีสมบัติต้านการลุกไหม้แบบ flame retardant ผ้าอาจจะมีการลุกติดไฟได้แต่เกิดการลุกติดไฟในระยะสั้นๆหรือการไหม้โดยไม่มีเปลวไฟในระยะสั้น ๆ ซึ่งจะส่งผลให้ไม่เกิดความร้อนที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้หรือสลายตัวต่อไปได้

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิการติดไฟของเส้นใยต่างๆ

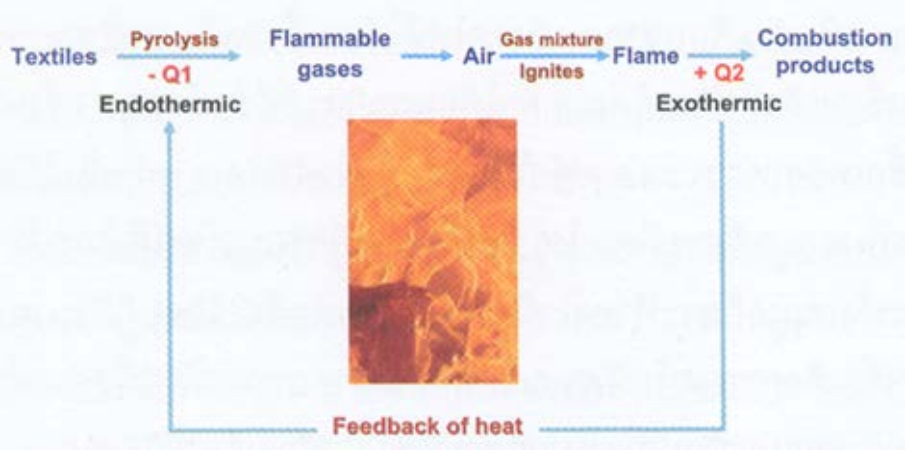
ชนิดเส้นใย	T_P (°C)	T_C (°C)	%LOI
ขนสัตว์	245	600	25
ฝ้าย	230	350	18.4
วิสโคส เรยอน	350	420	18.9
ไตรอะซีเตต	305	540	18.4
ไนลอน 6	431	450	20 - 21.5
ไนลอน 6,6	403	530	20 - 21.5
พอลิเอสเทอร์	420 - 447	480	20 - 21
อะคริลิก	290	560	18.2
นอเม็กซ์	410	500	28.5 - 30
เคฟลาร์	590	550	29

***หมายเหตุ T_P = อุณหภูมิที่เส้นใยเริ่มสลายตัวด้วยความร้อน

T_C = อุณหภูมิที่เส้นใยลุกไหม้ได้ถ้ามีออกซิเจนเพียงพอ

2.3.1 วงจรการเผาไหม้ของสิ่งทอ

การเผาไหม้สิ่งทอจะเริ่มจากสิ่งทอได้รับความร้อนมากพอที่จะเกิดกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) สิ่งทอจะเริ่มสลายตัวกลายเป็นไอระเหยหรือแก๊สที่ติดไฟง่าย ในกระบวนการนี้จัดเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction, -Q1) ไอระเหยหรือแก๊สที่ติดไฟง่ายจะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศต่อไป ขณะที่การเผาไหม้ดำเนินไปปริมาณอนุมูลอิสระจะเพิ่มมากขึ้น อนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction, $+Q_2$) และมีการเปล่งเปลวไฟออกมา ความร้อนที่ออกมาจากปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้นี้จะทำให้สิ่งทอเกิดการสลายตัวได้เป็นไอระเหยหรือแก๊สที่ติดไฟง่ายต่อไป [2] ซึ่งจะเกิดเป็นวงจรการเผาไหม้เช่นเดิม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรการเผาไหม้ของสิ่งทอ [2]

2.3.2 พฤติกรรมการติดไฟและการหลอมหยดของเส้นใยพอลิเอสเทอร์

เส้นใยพอลิเอสเทอร์จะเริ่มเปลี่ยนสภาพเมื่อโดนความร้อนโดยจะหดตัวหนีไฟและดับไฟได้ด้วยตัวเองเมื่อนำออกจากเปลวไฟ โดยจะเริ่มเหนียวที่อุณหภูมิประมาณ 227 – 242 องศาเซลเซียสและจะเริ่มหลอมและติดไฟที่อุณหภูมิประมาณ 250 – 290 องศาเซลเซียส [12]

ผ้าพอลิเอสเทอร์นิยมนำมาทำเป็นเสื้อผ้าและเคหะสิ่งทอต่างๆ เช่น ฟูก เบาะ พรมและผ้าม่าน จากสมบัติทางความร้อนของเส้นใยพอลิเอสเทอร์จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากผ้าพอลิเอสเทอร์เมื่อมีการติดไฟจะเกิดหลอมหยดและลุกไหม้เกิดเขม่าควันดำ นอกจากนี้การหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะสนับสนุนก่อให้เกิดการลุกไหม้ของวัสดุที่อยู่ด้านล่างโดยเฉพาะวัสดุที่ง่ายต่อการติดไฟ ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากเส้นใยพอลิเอสเทอร์ควรได้รับการตกแต่งสำเร็จให้หน่วงไฟเพื่อป้องกันและลดการสูญเสียเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้

2.3.3 กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟ (Flame retardant mechanisms)

กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟ คือ การขัดขวางหรือการรบกวนวงจรการลุกไหม้ของวัสดุสิ่งทอไม่ให้สามารถดำเนินไปได้ตามปกติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีดังต่อไปนี้

2.3.3.1 Endothermic theory

ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟจะดูดความร้อนของระบบออกไปบางส่วน สารหน่วงไฟจะสลายตัวในรูปของการหลอมเหลวหรือการระเหิด ส่งผลให้เส้นใยได้รับความร้อนน้อยลงไม่เพียงพอที่จะสามารถเกิดการเผาไหม้ได้

2.3.3.2 Gas theory

ทฤษฎีนี้เมื่อมีการติดไฟ สารหน่วงไฟจะสลายให้แก๊สที่ติดไฟยากหรือแก๊สที่ไม่ติดไฟ เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2), แก๊สแอมโมเนีย (NH_3), แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไอน้ำ ส่งผลให้เส้นใยไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้

2.3.3.3 Melt theory

ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟเมื่อโดนความร้อนจะหลอมละลายและปกคลุมพื้นผิวเส้นใย ทำให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สามารถถูกปล่อยออกมา และอากาศหรือออกซิเจนไม่สามารถแทรกเข้าไปในเส้นใยได้อีก ส่งผลให้เส้นใยไม่เกิดการเผาไหม้ต่อ

2.3.3.4 Radical capture theory

ทฤษฎีนี้สารหน่วงไฟที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดอนุมูลอิสระขึ้น โดยอนุมูลอิสระที่เกิดจะไปจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ H• และ HO• กลายเป็นแก๊สเกิดขึ้นและทำให้ปฏิกิริยาการเติบโตของสายโซ่อนุมูลอิสระ (free-radical chain propagation) สิ้นสุดลงส่งผลให้การลุกไหม้สิ้นสุดลงด้วย

2.3.3.5 Dehydration theory

ทฤษฎีนี้ใช้อธิบายการหน่วงไฟสำหรับเส้นใยเซลลูโลส โดยสารหน่วงไฟจะทำให้เส้นทางการสลายตัว (decomposition path) ของเส้นใยเซลลูโลสเปลี่ยนแปลงไป จากการสลายตัวเป็นไอและแก๊สที่ติดไฟได้ง่ายเปลี่ยนเป็นการสลายตัวที่เกิดแต่ถ่านคาร์บอน และน้ำ

2.3.4 ประเภทของสารหน่วงไฟ (Classification of flame retardants)

2.3.4.1 สารหน่วงไฟที่จำแนกตามความคงทน

2.3.4.1.1 สารหน่วงไฟประเภทไม่คงทน (Nondurable flame retardants)

สารหน่วงไฟจำพวกนี้ ได้แก่ กรดอนินทรีย์ เช่น กรดบอริก กรดฟอสฟอริก และซิงค์คลอไรด์หรือเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมคาร์บอเนต แต่เนื่องจากกรดและเบสจะทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน ดังนั้นจึงนิยมใช้สารหน่วงไฟในรูปของเกลือ ได้แก่ แอมโมเนียมฟอสเฟต (ammonium phosphate) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammonium phosphate) ยูเรียฟอสเฟต (urea phosphate) และแอมโมเนียมซัลฟาเมต (ammonium sulfamate) เมื่อเกิดการเผาไหม้สารหน่วงไฟจะดูดความร้อน โดยเกลือจะสลายตัวได้แอมโมเนีย กรดฟอสฟอริกหรือกรดพอลิฟอสฟอริก ซึ่งกรดฟอสฟอริกจะกำจัดน้ำออกได้กรดเมตะไพโรฟอสฟอริก (metapyrophosphoric acid) ที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด โดยของเหลวหนืดที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้อากาศหรือออกซิเจนสัมผัสกับเส้นใย ทำให้ไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ต่อไป สารหน่วงไฟสำหรับประเภทนี้จะมีความคงทนต่อการซักต่ำซึ่งสามารถถูกชะล้างออกไปได้ด้วยน้ำ น้ำฝนและเหงื่อ สารหน่วงไฟประเภทนี้เหมาะกับการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟให้แก่ผลิตภัณฑ์สิ่งทอประเภทใช้แล้วทิ้ง (disposable fabrics)

2.3.4.1.2 สารหน่วงไฟประเภทกึ่งคงทน (Semidurable flame retardants)

สารหน่วงไฟจำพวกนี้ ได้แก่ เกลือของกรดอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เกลือฟอสเฟต เกลือบอเรตของโลหะดีบุก สังกะสี อะลูมินัม และเกลือที่มีไอออนของพอลิฟอสเฟตน้ำหนักโมเลกุลสูง สารหน่วงไฟประเภทนี้เหมาะกับการตกแต่งสำเร็จผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ไม่จำเป็นต้องผ่านการทำความสะอาดหรือการซักล้างบ่อย ได้แก่ เคหะสิ่งทอ

2.3.4.1.3 สารหน่วงไฟประเภทมีความคงทนสูง (Durable flame retardant)

สารหน่วงไฟจำพวกนี้ ได้แก่ สารหน่วงไฟที่มีฟอสฟอรัสหรือฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบและสารประกอบประเภทออแกโนฟอสฟอรัส (Organophosphorus) สารหน่วงไฟประเภทนี้จะมีความคงทนต่อการซักสูงถึง 50 ครั้ง

2.3.4.2 สารหน่วงไฟที่จำแนกตามองค์ประกอบ

2.3.4.2.1 สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน (Halogen-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทนี้จะมีกลไกการหน่วงไฟตามทฤษฎีการจับอนุมูลอิสระ(Radical capture) ได้แก่ สารหน่วงไฟโบรมีนและสารหน่วงไฟคลอรีน นิยมใช้ร่วมกับสารช่วยเสริมการหน่วงไฟ ได้แก่ แอนติโมนีออกไซด์ (Antimony, Sb_2O_3) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารหน่วงไฟที่ประกอบด้วยฮาโลเจนได้สารแอนทิโมนีไตรเฮไลด์ (antimony trihalide) และน้ำ ซึ่งสารแอนทิโมนีไตรเฮไลด์จะไปจับกับอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์น้ำที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เจือจางแก๊สหรือไอที่ติดไฟได้ง่าย ทำให้การเผาไหม้ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ แต่ควันพิษจากสารหน่วงไฟประเภทนี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดยเฉพาะสารหน่วงไฟที่ประกอบด้วยธาตุโบรมีน ในปัจจุบันประเทศในแถบยุโรปได้มีประกาศห้ามผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบ

ของสารหน่วงไฟประเภทนี้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เครื่องพิมพ์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในสำนักงาน เป็นต้น

2.3.4.2.2 สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส (Phosphorus-based flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทนี้ ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) แต่เนื่องจากกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความกัดกร่อน ดังนั้นจึงนิยมใช้ในรูปที่เป็นเกลือ ได้แก่ แอมโมเนียมฟอสเฟต (ammonium phosphate) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammonium phosphate) แต่เนื่องจากเกลือสามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ไม่คงทนต่อการซักล้าง โดยสารหน่วงไฟที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบจะมีกลไกการหน่วงไฟ 2 แบบ ได้แก่ vapor phase และ condensed phase

Vapor phase: สารหน่วงไฟจะระเหยเป็นไอและเกิดในรูปอนุมูลอิสระ PO· จากนั้น PO· จะเข้าทำปฏิกิริยาจับอนุมูลอิสระที่ว่องไว H· และ OH· เพื่อขัดขวางการลุกไหม้

$H\cdot + HPO\cdot \rightarrow H_2 + PO\cdot$

$HO\cdot + PO\cdot \rightarrow HPO\cdot + O\cdot$

Condensed phase: สารประกอบฟอสฟอรัสจะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน สารที่สลายตัวออกมา คือ กรดฟอสฟอริก ในอุณหภูมิสูงขึ้นจะได้พอลิฟอสฟอริก ซึ่งสามารถไปเอสเทอร์ริฟายหรือกระตุ้นให้หมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลเกิดการแตกตัวได้ของเหลวหนืดและเถ้าคาร์บอนปกคลุมพื้นผิวของวัสดุได้

2.3.4.2.3 สารหน่วงไฟประเภทอนินทรีย์ (Inorganic salt flame retardants)

สารหน่วงไฟประเภทนี้ ได้แก่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydroxide), แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (magnesium hydroxide) และสารประกอบโบรอน เป็นต้น สารหน่วงไฟประเภทนี้มีราคาถูก ไม่เป็นพิษ และมีสมบัติช่วยลดควันที่เกิดจากการเผาไหม้ ข้อเสียของสารประเภทนี้ คือ มีความคงทนต่ำ

2.3.4.2.4 สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจน (Nitrogen – based flame retardants)

สารหน่วงไฟในจำพวกนี้ ได้แก่ เมลามีน (melamine) เมลามีนไซยานูเรต (melamine cyanurate) เมทิลอลเมลามีน (methylol melamine) สารประกอบกัวนิดีน (guanidine compounds) ยูเรีย (urea) ไซยานาไดเอไมด์ (cyanadiamide) เป็นต้น กลไกของสารหน่วงไฟประเภทนี้จะเกิดลักษณะการพองตัวเป็นชั้นของถ่านคาร์บอนที่มีลักษณะคล้ายโฟม ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนและการสัมผัสกับออกซิเจน ทำให้วัสดุไม่สามารถเกิดการลุกไหม้ต่อไปได้

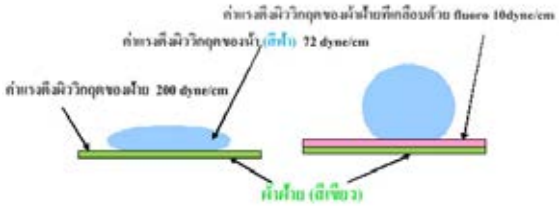
2.4 การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้สะท้อนน้ำด้วยสารสะท้อนน้ำ (water repellent agent) คือ การจำกัดความเปียกของผ้า นิยมนำมาใช้ตกแต่งผ้าที่ใช้ในงานที่มีโอกาสเปียกสูง เช่น เสื้อผ้ากีฬา เสื้อกันฝน ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ ผ้าปูโต๊ะ พรม ผ้าม่าน และวัสดุสิ่งทอต่างๆที่ใช้ในงานตกแต่งในบ้าน เพื่อให้การดูแลรักษาความสะอาดนั้นทำได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.4.1 กลไกการสะท้อนน้ำ

กลไกการสะท้อนน้ำของสิ่งทอจะอาศัยความสัมพันธ์ของค่าแรงตึงผิววิกฤต (critical surface tension) และหลักการมุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับพื้นผิวของสิ่งทอ โดยค่ามุม

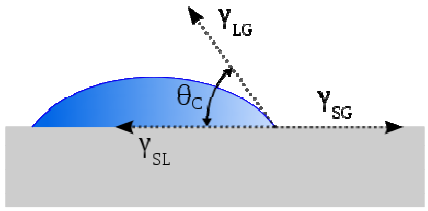
สัมผัสจะขึ้นกับ พลังงานของพื้นผิว (surface energy) และแรงตึงผิวของของเหลว น้ำจะสามารถกระจายหรือเปียกพื้นผิวของวัสดุได้ก็ต่อเมื่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ กับโมเลกุลของวัสดุจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำเอง ดังนั้นสมบัติการสะท้อนน้ำจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่าแรงตึงผิววิกฤติของผ้ามีค่าน้อยกว่าแรงตึงผิววิกฤตของน้ำ และทำให้ค่ามุมสัมผัสระหว่างน้ำกับพื้นผิวผ้าสูงกว่า 90 องศา [4,13] ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการสะท้อนน้ำ

2.4.2 มุมสัมผัส

ค่ามุมสัมผัส คือ มุมระหว่างเส้นสัมผัสของหยดของเหลวที่ไม่เคลื่อนที่บนพื้นผิว ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดสัมผัสของอากาศ ของแข็งและของเหลว ซึ่งความสัมพันธ์ของหยดของของเหลวบนพื้นของแข็ง สามารถแสดงในรูปสมการของยัง (young equation) ดังสมการที่ 2.1 โดยการทำสมดุลของแรงที่กระทำตามแนวระนาบในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 มุมสัมผัส (contact angle; θ_c)

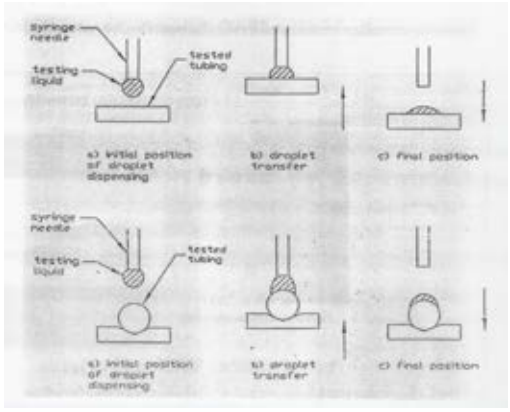
สมการของยัง: $0 = \gamma_{SG} - \gamma_{SL} - \gamma_{LG} \cos \theta$ (2.1)

γ_{SG} = ค่าพลังงานพื้นผิวอิสระหรือแรงตึงผิวระหว่างเฟสของแข็ง-แก๊ส

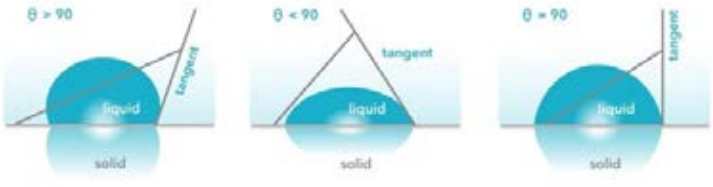
γ_{SL} = ค่าพลังงานพื้นผิวอิสระหรือแรงตึงผิวระหว่างเฟสของแข็ง-ของเหลว

γ_{LG} = ค่าพลังงานพื้นผิวอิสระหรือแรงตึงผิวระหว่างเฟสของเหลว-แก๊ส

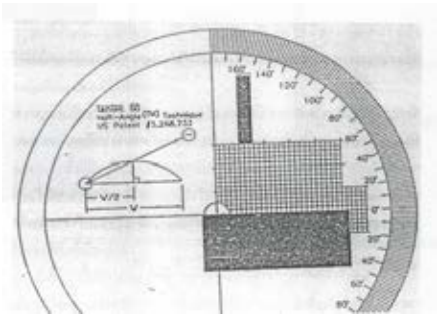
ในห้องทดลองสามารถวัดมุมสัมผัสได้โดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส (contact angle meter) ซึ่งจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและฉากรับภาพ วิธีที่วัดมุมสัมผัสที่นิยม คือ วิธีเซสไซดรอป (sessile drop) ซึ่งมีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยใช้หลอดฉีดยาขนาดเล็กหยดของเหลวให้สัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง หยดของเหลวจะเกิดปรากฏการณ์การโค้งของของเหลวดังรูปที่ 2.8 แสงจะส่องผ่านจากหยดของเหลวไปเกิดภาพบนฉากรับภาพที่มีโปรเทคเตอร์ ดังรูปที่ 2.9 จากนั้นทำการอ่านค่ามุมสัมผัสน้ำด้วยฉากโปรเทกเตอร์ โดยค่ามุมสัมผัสที่อ่านได้สามารถใช้เป็นดัชนีบอกระดับความเปียกของชลาฟเฟอร์ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการวัดมุมสัมผัสด้วยวิธีเซสไซดรอป (sessile drop)



รูปที่ 2.8 ปรากฏการณ์การโค้งของของเหลว



รูปที่ 2.9 ฉากโปรเทคเตอร์สำหรับวัดค่ามุมสัมผัส

ตารางที่ 2.2 ดัชนีบอกระดับความเปียกของชลาฟเฟอร์

ค่ามุมสัมผัส (องศา)	**ระดับความเปียก**
$\theta = 0$	เปียกทั่วถึงหรือเปียกสมบูรณ์ เกิดการแผ่กระจายของของเหลวบนพื้นผิวอย่างทั่วถึง ในลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ
$90 > \theta > 0$	เปียกบางส่วน
$180 > \theta > 90$	ไม่เปียก
$\theta = 180$	ไม่เปียกและไม่แผ่กระจาย

2.4.3 การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้สะท้อนน้ำ

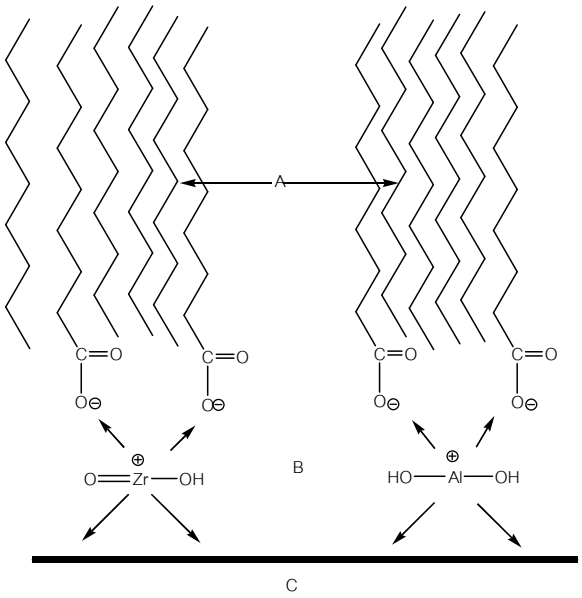
วิธีการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้สะท้อนน้ำสามารถทำได้โดยทั้งวิธีทางกายภาพและเคมี [4,11,12] ทางด้านกายภาพ ได้แก่ การดัดแปรพื้นผิวเส้นใย และการเลือกใช้เส้นใยที่มีความสามารถการดูดซึมน้ำได้น้อยนำมาทอให้เป็นผืนผ้าที่แน่น ทางด้านเคมีในอดีตได้มีการนำยางมาเคลือบที่ผิวผ้าให้เกิดเป็นลักษณะฟิล์มยางเพื่อเป็นเกราะป้องกันน้ำ (water proof) ซึ่งวิธีนี้ไม่เหมาะกับการใช้งานผ้าที่ต้องการถ่ายเทความชื้นสู่ภายนอก ปัจจุบันการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การลดแรงตึงผิว การนำสารเคมีที่มีสมบัติไม่

ชอบน้ำมาตกแต่งสำเร็จ การเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารสะท้อนน้ำกับผิวของเส้นใย และการเคลือบฟิล์มบางๆบนผิวเส้นใย เป็นต้น

2.4.4 ประเภทสารตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ [14]

2.4.4.1 สารพาราฟิน (parafin)

ในอดีตนิยมนำสารพาราฟินมาใช้เป็นสารสะท้อนน้ำส่วนใหญ่เป็นสารอิมัลชันประกอบด้วยเกลือของกรดไขมันสเตียริก พวกอะลูมิเนียมและเซอร์โคเนียม สารพาราฟินจะไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยที่มีความเป็นขั้วและปรับให้พื้นผิวด้านบนของเส้นใยเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ดังโครงสร้างที่แสดงในรูปที่ 2.10 ข้อเสียของการใช้สารพาราฟิน คือ การเพิ่มการติดไฟของผ้า และการซึมผ่านของอากาศได้ต่ำ



รูปที่ 2.10 เกลือโลหะของกรดไขมัน

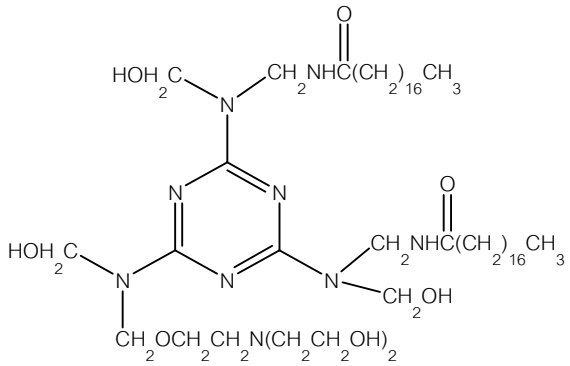
A คือ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนที่ไม่มีขั้ว

B คือ ส่วนที่มีขั้ว

C คือ เส้นใยบริเวณพื้นผิว

2.4.4.2 สารประกอบของกรดไขมันสเตียริก-เมลามีน (stearic acid-melamine)

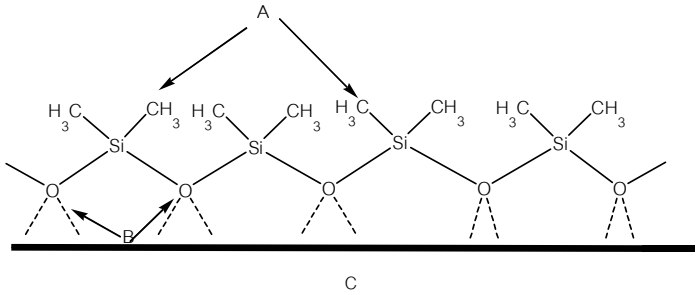
สารประกอบนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันสเตียริก ฟอร์มาดีไฮด์และเมลามีน โครงสร้างของสารประกอบของกรดไขมันสเตียริก-เมลามีน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สารประกอบนี้จะให้สมบัติการสะท้อนน้ำคล้ายกับพวกพาราฟิน โดยการอาศัยความไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำของกรดไขมัน ข้อดีของสารประเภทนี้ คือ มีประสิทธิภาพความคงทนต่อการซัก ส่วนข้อเสีย คือ ความแข็งแรงของผ้าจะลดลง เนื่องจากเส้นใยถูกสารเคมีทำลายและสีของผ้าอาจจะเปลี่ยนหลังผ่านการตกแต่งสำเร็จ



รูปที่ 2.11 อนุพันธ์ของกรดไขมันสเตียริก-เมลามีน

2.4.4.3 สารซิลิโคน (silicone)

พอลิไดเมทิลไซลอกเซน (polydimethylsiloxane) เป็นสารที่นิยมอย่างกว้างขวางในการนำไปเคลือบเส้นใยเพื่อให้พื้นผิวของเส้นใยไม่ชอบน้ำ และเกิดการสะท้อนน้ำ โครงสร้างของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนดังรูปที่ 2.12 จะยึดติดกับเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจน และหันส่วนไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ออกด้านนอกของผิวเส้นใย



รูปที่ 2.12 พอลิไดเมทิลไซลอกเซนยึดเกาะพื้นผิวของเส้นใย

A คือ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนที่ไม่มีขั้ว

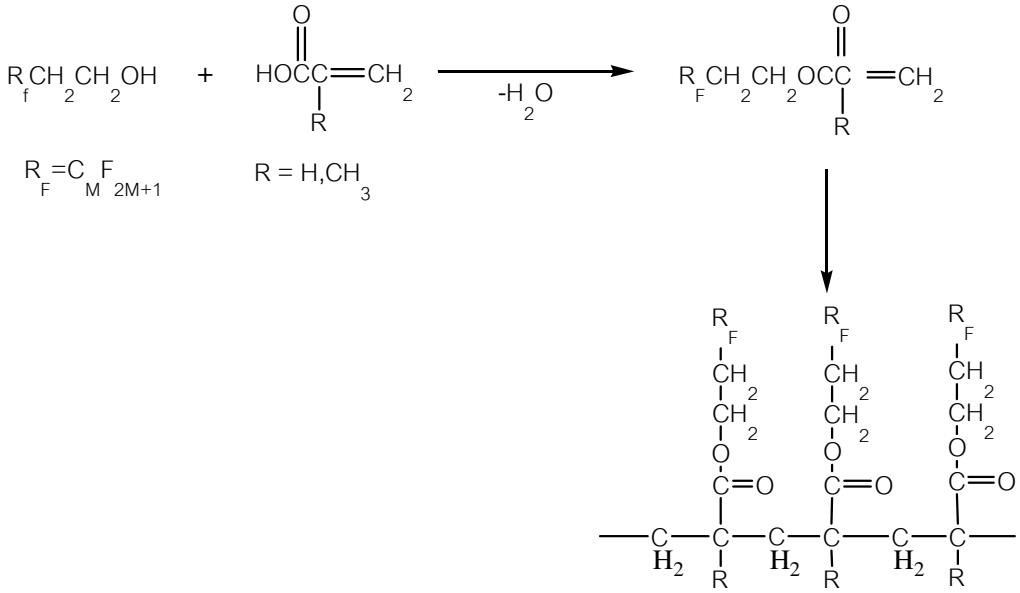
B คือ ส่วนที่มีขั้ว

C คือ พื้นผิวของเส้นใย

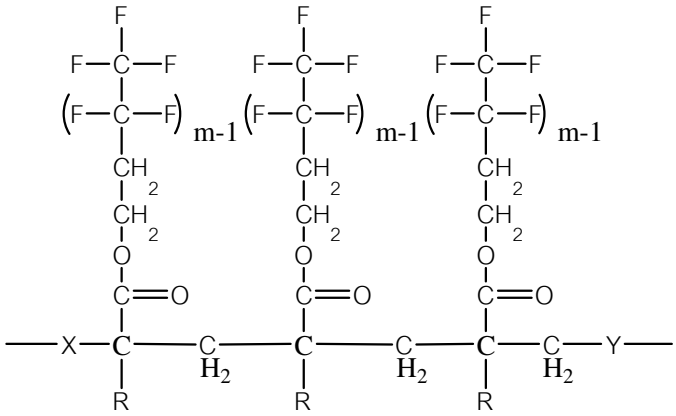
2.4.4.4 สารฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbon)

การดัดแปรเส้นใยด้วยสารฟลูออโรคาร์บอนจะทำให้เส้นใยมีค่าพลังงานพื้นผิวต่ำลง ซึ่งสามารถสะท้อนได้ทั้งน้ำและน้ำมัน สารฟลูออโรคาร์บอนนิยมนำมาสังเคราะห์ร่วมกับมอนอเมอร์อะคริลิก และยูรีเทน เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นสารเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน ดังตัวอย่างปฏิกิริยาในรูปที่ 2.13 สมบัติการสะท้อนน้ำจะขึ้นกับความหนาแน่นของกลุ่ม CF_3 ที่จัดเรียงตัวบนพื้นผิวด้านนอกของเส้นใย ดังรูปที่ 2.14 ฟลูออโรคาร์บอนที่ให้สมบัติสะท้อนน้ำที่ดีควรจะมีความยาวของสายโซ่เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนประมาณ 8 ถึง 10 อะตอมจะให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงอยู่ระหว่าง 120 ถึง 140 องศา แต่เนื่องจากสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้ประกาศว่าสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนที่มีสายโซ่ C-F จำนวนคาร์บอนมากกว่า 7 อะตอม ได้แก่ เปอร์ฟลูออโรออกเทนซัลโฟเนต (perfluorooctane sulfonate; PFOS) และ เปอร์ฟลูออโรออกทาโนอิกแอซิด (perfluorooctanoic acid; PFOA) เป็นสารไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อมเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดเนื้องอกและมะเร็งที่ตับ และมีผลต่อระบบการสืบพันธุ์ [5-7] จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาและสังเคราะห์สารสะท้อนน้ำฟลูออโรพอลิเมอร์ที่

ประกอบด้วยหมู่ข้างเคียงเปอร์ฟลูออโรคาร์บอนชนิดสายโซ่สั้นลงและการสังเคราะห์ร่วมกับสารอื่นๆที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เพื่อใช้ทดแทนสารสะท้อนน้ำชนิดที่ประกอบด้วยสายโซ่ยาวของฟลูออโรคาร์บอน



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์อะคริเลตที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นสารเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน



รูปที่ 2.14 สารฟลูโอโรคาร์บอนบนพื้นผิวเส้นใย

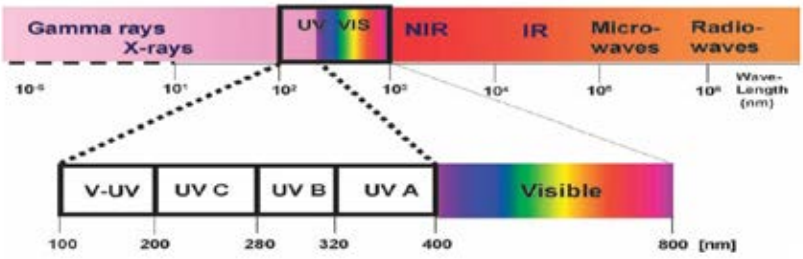
A คือ พื้นผิวของเส้นใย

สมบัติสะท้อนน้ำนอกจากจะขึ้นกับประเภทสารเคมีที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จแล้วยังขึ้นกับธรรมชาติของผิวเส้นใยและลักษณะผ้าผืนก่อนนำมาตกแต่งสำเร็จด้วย

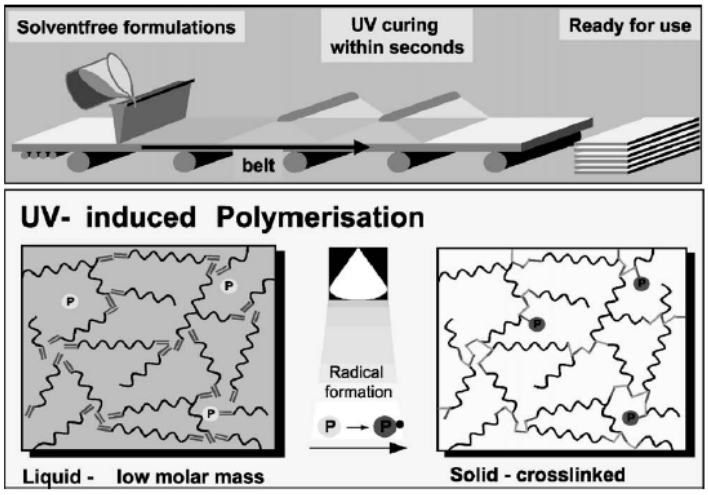
2.5 **เทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี** [15-17]

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี คือ การทำให้สารเคลือบผิวที่เป็นของเหลวเปลี่ยนสภาพไปเป็นพอลิเมอร์ของแข็งด้วยการฉายรังสียูวีในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.15 เพื่อทำให้สารเคลือบผิวนั้นเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นจนได้ฟิล์มที่แห้งแข็งซึ่งมีกระบวนการเคลือบดังแสดงในรูปที่ 2.16 การเคลือบผิวด้วยวิธีการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีไม่ต้องใช้ความร้อนในการบ่มทำให้ประหยัดเวลาและลดการสูญเสียพลังงานได้ นอกจากนี้วิธีการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีจะไม่มีส่วนของตัวทำละลายผสมทำให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าชนิดที่บ่มด้วยความร้อน

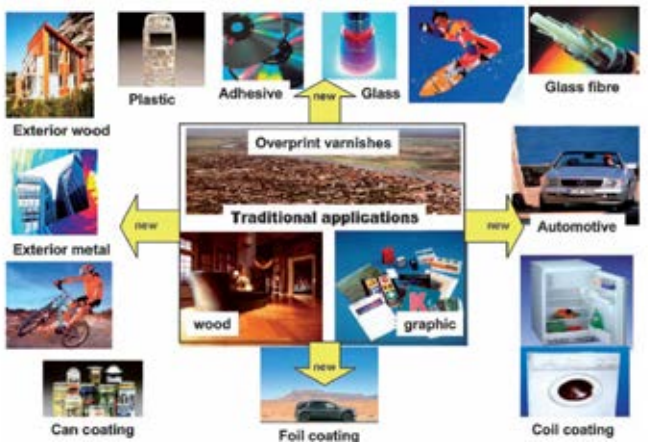
จากข้อดีของเทคนิคนี้จึงได้มีการนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้เคลือบสารเคลือบบนผิววัสดุที่หลากหลาย ได้แก่ กระดาษ ไม้ และโลหะ ดังรูปที่ 2.17 เทคนิคการเคลือบนี้ยังเหมาะกับการเคลือบสารเคลือบผิวบนวัสดุที่ไวต่อความร้อน ได้แก่ พลาสติกและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมของแสงยูวี



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี

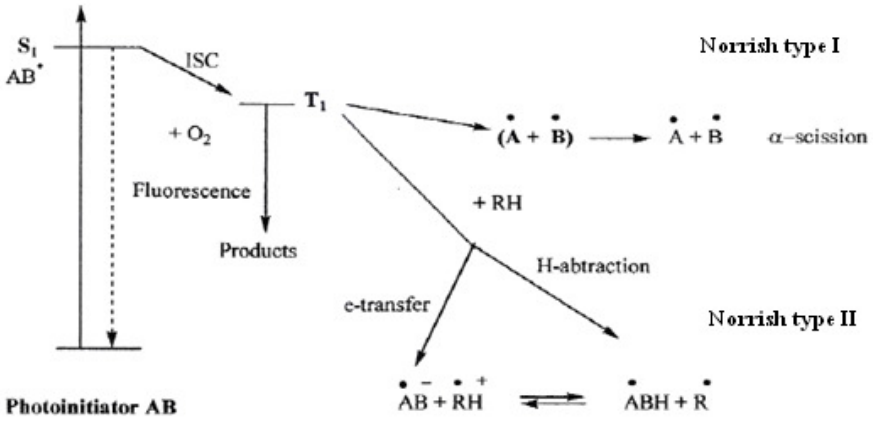
องค์ประกอบ	ทำหน้าที่
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (photoinitiator)	กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์
มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ (monomer or oligomer resin)	กำหนดสมบัติพิเศษและทางกายภาพของสารเคลือบผิว
ตัวเจือจางว่องไว (reactive diluents)	ปรับแต่งความหนืด
สารเติมแต่ง (additives)	ปรับปรุงสมบัติต่างๆให้ตรงกับความต้องการของการใช้งาน เช่น สารลดฟอง, สารควบคุมความเงา, สารช่วยเปียกและสารลดกลิ่น

2.5.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (photoinitiator)

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสียูวีในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม เพื่อแตกตัวให้ได้อนุมูลอิสระหรือประจุบวกที่พร้อมจะเข้าทำปฏิริยากับกับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท
ได้แก่

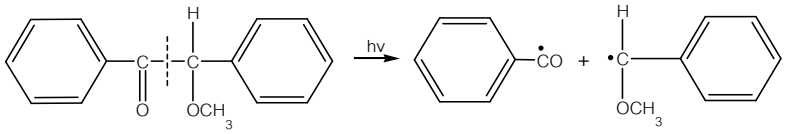
1) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระ (free radical photoinitiator)

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดอนุมูลอิสระ (free radical photoinitiator) จะดูดกลืนพลังงานและแตกตัวออกดังแสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลไก ดังนี้



รูปที่ 2.18 การดูดกลืนพลังงานและการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง ชนิดอนุมูลอิสระ Norrish Type I และ II

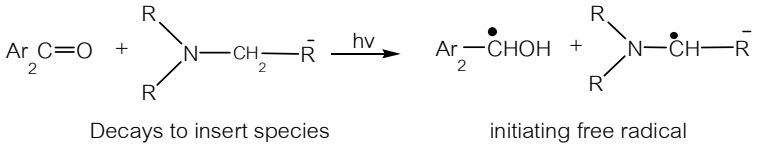
1.1) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระ (free radical photoinitiator) แบบ Norrish type I เกิดจากการแตกตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาแบบ hemolytic ภายใต้แสงยูวี ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ได้แก่ Benzoin alkyl ethers, benzyl ketals และ acetophenone



รูปที่ 2.19 การแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยา Benzoin alkyl ethers

1.2) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดอนุมูลอิสระ (free radical photoinitiator) แบบ Norrish type II ได้แก่ 2,2-diethoxy acetophenone และ 2,2-dimethoxy-2-phenyl acetophenone ซึ่งจะสามารถเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นได้จากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

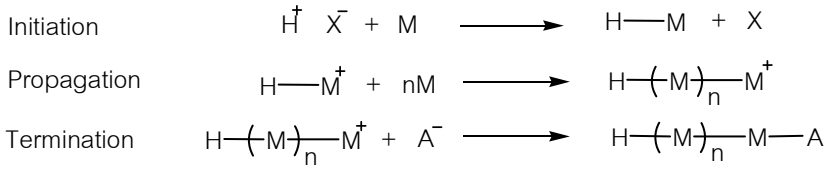
โดยอาศัยสารประกอบที่เรียกว่า synergist เช่น isopropanol และ tertiary amine ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 การแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type II โดยมี tertiary amine เป็น synergist

2) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (cationic photoinitiator)

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดประจุบวก ได้แก่ สารประเภทเกลือไดอะโซเดียม (Aryl diazonium salts : $PhN_2^+X^-$) ซึ่งจะดูดกลืนรังสียูวีแล้วแตกตัวให้ Lewis acid ไปเหนี่ยวนำมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยเกิดเป็นคาร์โบแคทไอออน ($H\text{-}M^+$) เพื่อดำเนินเข้าสู่ขั้นแผ่ขยายสายโซ่ (propagation) และขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination) ด้วยการเกิดปฏิกิกิริยาการถ่ายโอนสายโซ่ ดังรูปที่ 2.21 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดนี้นิยมใช้ในการเคลือบผิวสารเคลือบพวกอีพอกซี

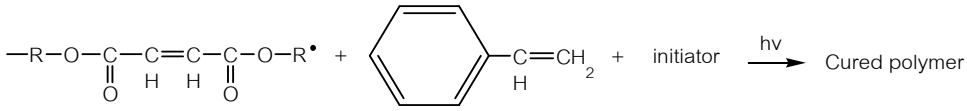


รูปที่ 2.21 กลไกการแตกตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดประจุบวก (cationic photoinitiator)

2.5.2 ตัวอย่างของประเภทเรซินที่นิยมนำมาใช้ในระบบการบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวี ได้แก่

2.5.2.1 พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester)

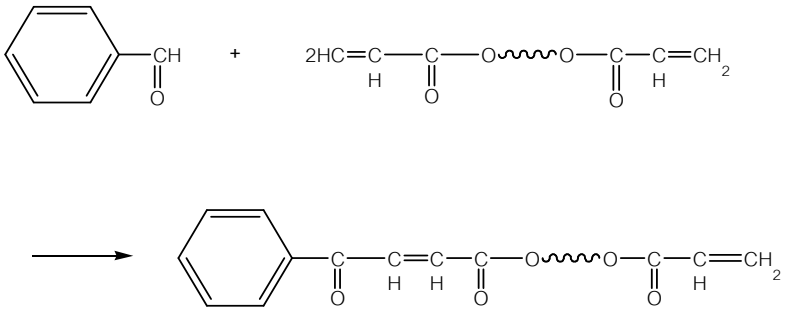
เรซินประเภทนี้จะประกอบด้วยพันธะคู่ในโครงสร้างซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เกิดพันธะเชื่อมขวางกับไวนิลมอนอเมอร์อื่นๆได้ เช่น สไตรีนมอนอเมอร์ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ปฏิกิริยาการบ่มสารเคลือบผิวพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester)

2.5.2.2 เรซินอะคริเลต

เรซินอะคริเลตที่มีหมู่ฟังก์ชันแบบหลายหมู่ น้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 500 – 3000 กรัมต่อโมล เรซินอะคริเลตที่นิยมนำใช้ในระบบยูวีมักจะนำไปทำปฏิกิริยากับยูรีเทนและอีพอกซีก่อนเพื่อให้ได้สมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวตามที่ต้องการ ได้แก่ ความยืดหยุ่น ความแข็งแรงและการยึดเกาะกับพื้นผิว โดยจะเหลือหมู่ฟังก์ชันที่ปลายสายโซ่ของอะคริเลต โดยหมู่ฟังก์ชันพันธะคู่นี้จะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางกับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์อื่นได้ เมื่ออยู่ภายใต้รังสียูวีร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง ดังรูปที่ 2.23

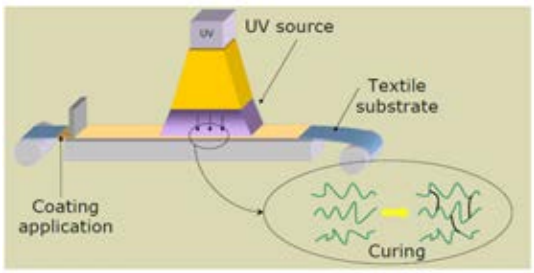


รูปที่ 2.23 ปฏิกิริยาการบ่มสารเคลือบผิวยูรีเทน-อะคริเลต

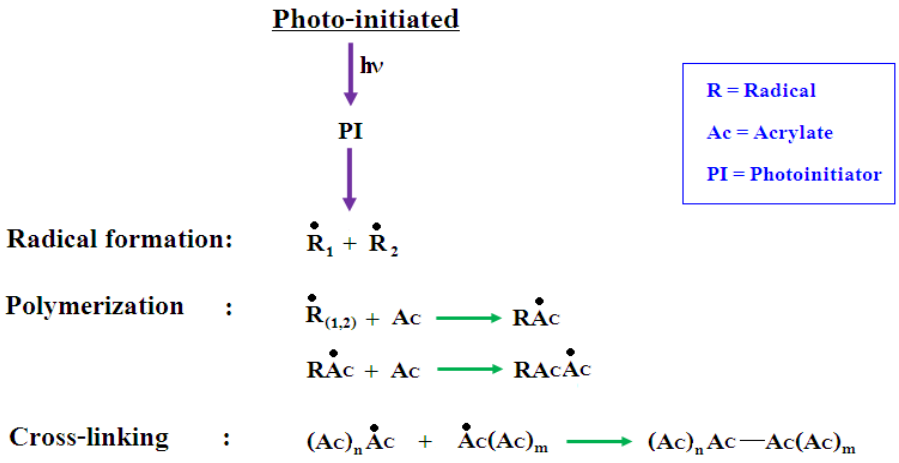
(Urethane acrylate resin)

2.5.3 การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ [18]

จากข้อดีของเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวีจึงได้มีการนำเทคนิคนี้ไปศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ โดยเทคนิคนี้จะช่วยลดปัญหาการปลดปล่อยตัวทำละลาย ประหยัดพลังงาน และช่วยเพิ่มอัตราการตกแต่งสำเร็จต่อหน่วยเวลาให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเทคนิคการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอแบบจุ่มอัด ขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอจะเริ่มจากการนำผ้าที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีเข้าไปในเครื่องอบด้วยรังสียูวี ดังรูปที่ 2.24 จากนั้นสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยแสงยูวี จะเกิดการทำปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.25 สารเคลือบผิวที่เป็นของเหลวจะเปลี่ยนสภาพเป็นฟิลม์ ของแข็งปกคลุมผิวเส้นใย เมื่อนำผ้าออกจากเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีจะได้ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จเรียบร้อย ซึ่งสมบัติของผ้าที่ผ่านการตกแต่งจะขึ้นอยู่กับสารเคลือบผิวที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ



รูปที่ 2.24 ขั้นตอนการตกแต่งสำร็จสิ่งทอด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี



รูปที่ 2.25 แผนภูมิแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบผิวขณะถูกบ่มด้วยรังสียูวี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Huang, J.-Q. [5] และคณะได้สังเคราะห์ฟลูออริเนตเตดพอลิอะคริเลต (fluorinated polyacrylate) โดยมีหมู่ข้างเคียง (side group) ประกอบด้วยหน่วยของไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (vinylidene fluoride; $CF_3(CF_2)_n(CH_2CF_2)_m$, n=3,5; m=1,2) และศึกษาสมบัติการสะท้อนน้ำและสะท้อนน้ำมันของผ้าฝ้าย โดยทำการจุ่มอัดผ้าฝ้ายลงในสารละลายอิมัลชันที่ได้จากการสังเคราะห์ พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งมีสมบัติการสะท้อนน้ำและสะท้อนน้ำมันเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารละลายอิมัลชั่นฟลูออริเนตเตดพอลิอคริเลต (fluorinated polyacrylate) ที่ประกอบด้วยหมู่ข้างเคียงเป็นสายโซ่ยาวของเปอร์ฟลูออโรอัลคิล (perfluoro alkyl) จะให้สมบัติการสะท้อนน้ำและสะท้อนน้ำมันได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารละลายฟลูออริเนตเตดพอลิอะคริเลต (florinated polyacrylate) ที่ประกอบด้วยหมู่ข้างเคียงเป็นสายโซ่สั้นของเปอร์ฟลูออโรอัลคิล (perfluoro alkyl)

Ren Q. และ Zhao T. [6] ได้สังเคราะห์ Fatty acid trifluoroethyl ester จากการดัดแปรน้ำมันพืชสามชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันละหุ่ง ทำปฏิกิริยาร่วมกับสารไตรฟลูออโรเอทานอล (trifluoro ethanol) เพื่อใช้ตกแต่งสำเรจผ้าฝ้าย โดยใช้วิธีจุ่มอัด (pad-dry-cure) พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติการสะท้อนน้ำ โดยวัดค่ามุมสัมผัส

ระหว่างน้ำกับพื้นผิวของผ้าฝ้ายได้สูงถึง 120 องศา และเมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการใช้งาน พบว่าหลังจากผ่านการซักค่ามุมสัมผัสระหว่างน้ำกับพื้นผิวของผ้าลดลง เนื่องจากสารที่สังเคราะห์ได้ยึดเกาะบนผ้าได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพของการสะท้อนน้ำลดลง

Chen x. และคณะ [19] ได้ศึกษาการเตรียมสารเคลือบหน่วงไฟที่บ่มด้วยรังสีอัลตร้าไวโอเลตและความชื้น โดยสังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง dihydro-oxaphosphaphenanthrene oxide (DOPO), glycidyloxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) , toluene diisocyanate และ hydroxy acrylate และทำการศึกษาการหน่วงไฟ โดยการวัดค่า LOI ได้สูงถึง 48 และศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของฟิลม์ โดยใช้เทคนิค TGA และใช้ RT-FTIR เพื่อศึกษาการสลายตัวของฟิลม์ พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส เกิดการสลายตัวของสารฟอสเฟตและพอลิยูรีเทนได้แอลกฮอล์และไอโซไซยาเนต และในช่วงอุณหภูมิ 300 – 470 องศาเซลเซียส พบว่าสารประกอบฟอสเฟตสามารถเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายของหมู่คาร์บอนิลแล้วเกิดเป็นชั้นถ่านคาร์บอน (intumescent char) ที่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดการลุกไหม้ต่อไป

Miao H. และคณะ [20] ได้เตรียม fluoroalkyl phosphate acrylate และนำสารที่เตรียมได้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายโดยใช้รังสีแกมมาเพื่อให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติการสะท้อนน้ำและสะท้อนน้ำมัน โดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำและหยดน้ำมันทานตะวันบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ พบว่าค่ามุมสัมผัสระหว่างน้ำกับพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งมีค่า 150 องศา และค่ามุมสัมผัสระหว่างน้ำมันทานตะวันกับพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งมีค่า 140 องศา โดยประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำและสะท้อนน้ำมันของผ้าฝ้ายแปรผันตรงกับปริมาณสารที่ตกแต่งบนผ้าฝ้าย นอกจากนี้ยังได้การศึกษาการหน่วงไฟโดยการวัดค่า %LOI ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งเปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งจะให้ค่า %LOI เท่ากับ 24 สามารถหน่วงไฟได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งซึ่งมีค่า %LOI เท่ากับ 18

Opwis K. และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาการตกแต่งสารหน่วงไฟให้กับสิ่งทอโดยใช้เทคนิคการแห้งตัวด้วยรังสียูวีเพื่อตรึงสารไวนิลฟอสฟอนิกแอซิด (vinyl phosphonic acid) ร่วมกับสารเชื่อมขวาง ลงบนผ้า 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอไมด์ และผ้าพอลิเอสเทอร์ และนำผ้าทั้งสามชนิดที่ผ่าน

การตกแต่งสารหน่วงไฟแล้วไปผ่านการซักหนึ่งครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ถูกตรึงบนผ้าพบว่าสารยังคงเหลืออยู่บนผ้ามากกว่า 50%โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟพบว่าผ้าทั้งสามชนิดที่ผ่านการตกแต่งด้วยเทคนิคการแห้งตัวด้วยรังสียูวีให้สมบัติการหน่วงไฟที่ดีและทดสอบผ่านตามมาตรฐานสิ่งทอกันไฟ DIN EN ISO 15025

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ผ้าพอลิเอสเทอร์

- โครงสร้างผ้า ผ้าทอลายแจ็กการ์ด (jacquard)
- ส่วนประกอบ ด้ายพุ่ง (weft) และด้ายยืน (warp) เป็นพอลิเอสเทอร์ 100%
- น้ำหนักต่อพื้นที่ 223 กรัมต่อตารางเมตร

3.1.2 ยูรีเทนอะคริเลต โอลิโกเมอร์ (urethane acrylate; UA) จากบริษัท Cytec

3.1.3 ไตรเมทิลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (trimethylolpropanetriacrylate;TMPTA) จากบริษัท Cytec

3.1.4 ไวนิลฟอสฟอนิก แอซิด (vinyl phosphonic acid; VPA) จากบริษัทเอ.ซี.เอส.ซีนอน ประเทศไทย

3.1.5 2,2,2-ไตรฟลูออโรเอทิล อะคริเลต (2,2,2-Trifluoroethyl acrylate;TFEA) จากบริษัทเอ.ซี.เอส. ซีนอน ประเทศไทย

3.1.6 2,2,2-ไตรฟลูออโรเอทิล เมทาอะคริเลต (2,2,2-Trifluoroethyl methacrylate; TFEMA) จากบริษัทเอ.ซี.เอส. ซีนอน ประเทศไทย

3.1.7 2-hydroxy-2-methyl-1-phenyl- propan-1-one (1173) จากบริษัท Ciba

3.1.8 2,4,6-trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphineoxide (TPO) จากบริษัท Ciba

3.1.9 เอทานอล (ethyl alcohol) AR GRADE จากบริษัท Lab scan ประเทศไทย

3.1.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH, Mw = 40.00 g/mol) เกรดสำหรับห้องทดลอง

3.1.11 สารซักฟอกที่ไม่มีสารเรืองแสง (SDC detergent ECE phosphate (B)) เกรดสำหรับห้องทดลอง

3.1.12 สารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอสะท้อนน้ำทางการค้า

3.1.13 น้ำปราศจากไอออน (deionized water)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องกวนผสม (magnetic stirrer) พร้อมแท่งแม่เหล็กกวนสาร

3.2.2 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวรังสียูวี แหล่งกำเนิดแสงยูวีทำจากปรอทภายใต้ความดันปานกลาง รุ่น UVTEC12 บริษัท คอมพริ้นท์ ประเทศไทย จำกัด

3.2.3 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR,Nicolet 6700,Thermo scientific)

3.2.4 เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA, TG/SDTA851^{e}, METTLER-TOLEDO)

3.2.5 เครื่องบีบอัดแบบลูกกลิ้ง (padder, Labtec, Newave Lab. Equipment Co., Ltd.)

3.2.6 เครื่องอบแห้ง (stenter, Rapid, Labortex Co., Ltd.)

3.2.7 เครื่องวัดสี (reflectance spectrophotometer, Macbeth® color-EYE®7000)

3.2.8 เครื่องทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง (gyrowash, James H. Heal & Co.Ltd.)

3.2.9 เครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ (contact angle meter, CAM-PLUS TANTEC)

3.2.10 เครื่องทดสอบหาค่า LOI (limiting Oxygen Index, Stanton Redcroft,)

3.2.11 เครื่องทดสอบศึกษาพฤติกรรมในการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา และการหลอมหยด (atlas 45^{0} automatic flammability tester)

3.2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (scanning electron microscope, JSM 6400,)

3.2.13 นาฬิกาจับเวลา

3.2.14 ตาชั่งละเอียด

3.2.15 หลอดหยดสาร

3.2.16 แท่งปาดฟิล์ม 4 ด้าน (Applicator)

3.2.17 จานวัดความเข้มของรังสียูวีรุ่น UV-Integrator

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปแผนภูมิที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเตรียมสารเคลือบผิวหน่วงไฟ

เตรียมสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟจากการผสมมอนอเมอร์ TMPTA และมอนอเมอร์ VPA ที่อัตราส่วนน้ำหนักต่างๆ ร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและตัวเจือจาง แล้วนำสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เป็นของเหลวเคลือบลงบนกระจกด้วยที่ปาดฟิล์มจากนั้นนำแผ่นกระจกเข้าไปในเครื่องอบยูวี ทำการศึกษาหาภาวะของเครื่องอบยูวีโดยการปรับกำลังไฟและความเร็วของสายพานของตู้อบยูวีที่ใช้เพื่อให้ได้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่แห้งตัวได้ดีหลังนำออกจากตู้อบยูวีและจดบันทึกภาวะของเครื่องอบยูวีที่ใช้เพื่อนำไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ต่อไป นำฟิล์มสารเคลือบผิวที่แห้งตัวออกจากแผ่นกระจกไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค TGA และศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่คาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค ATR-IR

2) การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟ

นำสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีในขั้นตอนที่ 1 ไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องบีบอัดและเครื่องอบยูวี จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟของแต่ละสูตรทั้งก่อนซักและหลังซักไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และทดสอบสมบัติหน่วงไฟด้วยเครื่องทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศาและการหลอมหยดรวมทั้งทดสอบหาค่า LOI ด้วยเครื่องทดสอบหาค่า LOI

จากผลการทดสอบหน่วงไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์จะทำการคัดเลือกสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่ให้ผลการทดสอบหน่วงไฟดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำทับชั้นบนของผืนผ้า (top coat) ต่อไป

3) การเตรียมสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ

เตรียมสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำจากการผสม UA กับฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ในปริมาณต่างๆ ร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและตัวเจือจาง แล้วนำสูตรสารเคลือบสะท้อนน้ำที่เป็นของเหลวเคลือบลงบนกระจกด้วยที่ปาดฟิล์ม จากนั้นนำแผ่นกระจกเข้าไปในเครื่องอบยูวี ทำการศึกษาหาภาวะของเครื่องอบยูวีโดยการปรับกำลังไฟและความเร็วของสายพานของตู้อบยูวีที่ใช้เพื่อให้ได้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่แห้งตัวได้ดี บันทึกภาวะที่ใช้ของเครื่องอบยูวีเพื่อนำไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ต่อไป และศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่คาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค ATR-IR

4) การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำ

นำสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีในขั้นตอนที่ 4 ข้างต้น ไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องบีบอัดและเครื่องอบยูวี จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำไปทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสน้ำบนผ้าด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (contact angle meter) และตรวจสอบระยะเวลาของหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า

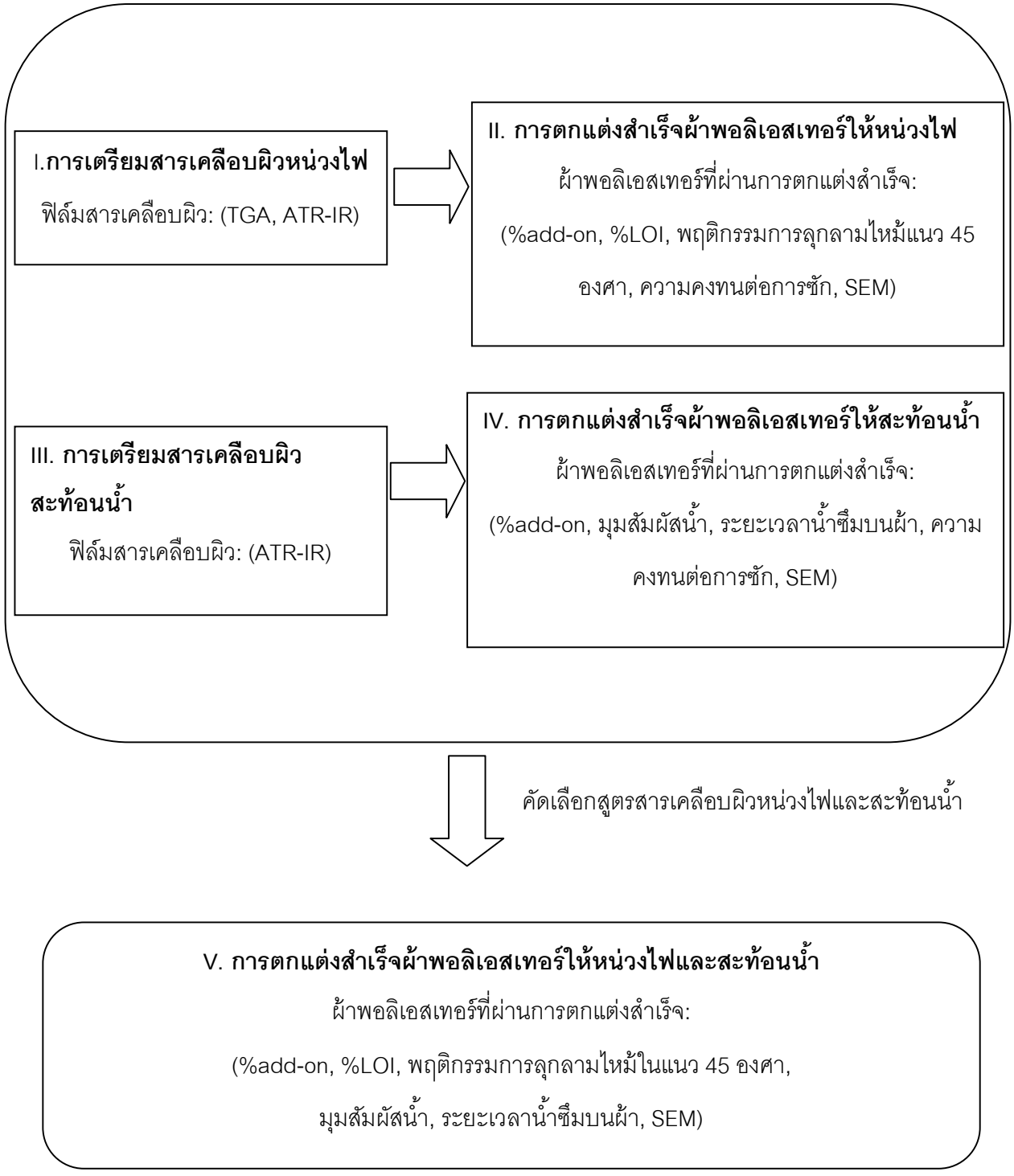
จากผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำจะทำการคัดเลือกสูตรสารเคลือบผิวที่ให้ผลการทดสอบสะท้อนน้ำที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ร่วมกับการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟให้ผ้าพอลิเอสเทอร์มีทั้งสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำต่อไป

5) การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำ

ทำการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำโดยการนำสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่ได้ทำการคัดเลือกจากขั้นตอนที่ 2 ไปตกแต่งสำเร็จ

ผ้าพอลิเอสเทอร์ให้เป็นชั้นแรกของผืนผ้า (based coat) และนำสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่ได้ทำการคัดเลือกไว้จากขั้นตอนที่ 4 ไปตกแต่งสำเร็จบนชั้นทับหน้าของผืนผ้า (top coat) ด้วยเครื่องบีบอัดและเครื่องอบยูวี ซึ่งจะได้ผ้าที่มีทั้งสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำในผืนผ้าเดียวกัน

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีไปทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ รวมทั้งศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และศึกษาเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านวิธีการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีในชั้นแรก (based coate)ร่วมกับการตกแต่งสำเร็จสารสะท้อนน้ำทางการค้าด้วยเทคนิคจุ่มอัดในชั้นทับหน้า (top coat)



รูปที่ 3.1 แผนภูมิลำดับขั้นตอนการทดลอง

3.4 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ

เตรียมสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟจากการผสมมอนอเมอร์ TMPTA และมอนอเมอร์ VPA ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักต่างๆ ดังนี้ 70:0, 60:10, 40:30 และ 20:50 ลงในขวดแก้ว จากนั้นเติมเอทานอลปริมาณ 27% โดยน้ำหนัก และคนของผสมเรซินเข้าด้วยกันโดยเครื่องกวนผสมเป็นเวลานาน 15 นาที จากนั้นจึงเติมสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงปริมาณ 3%โดยน้ำหนัก และคนของผสมต่อเป็นเวลานาน 15 นาที เพื่อให้ของผสมเข้ากันได้ดี เตรียมแผ่นกระจกพื้นผิวสะอาด และนำสารเคลือบที่ผสมเข้ากันได้ดีแล้วเคลือบลงบนแผ่นกระจกด้วยที่ปาดฟิล์ม (applicator) กำหนดความหนา 100 ไมโครเมตร จากนั้นจึงนำแผ่นกระจกที่มีสารเคลือบผิวเคลือบอยู่ไปบ่มด้วยรังสียูวีด้วยเครื่องบ่มสารเคลือบด้วยรังสียูวีดังรูปที่ 3.2 และวัดความเข้มของรังสียูวีที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบด้วยจานวัดความเข้มรังสียูวีดังรูปที่ 3.3 ฟิล์มสารเคลือบบนกระจกที่ผ่านออกมาจากเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีจะนำไปทดสอบการแห้งตัวที่ผิวของฟิล์ม (touch dry) ด้วยการใช้นิ้วหัวแม่มือสัมผัสที่หน้าของฟิล์มสารเคลือบผิว ผิวหน้าของฟิล์มสารเคลือบผิวที่แห้งตัวได้ดีจะไม่มีรอยนิ้วมือปรากฏที่ผิวหน้าของฟิล์มหลังการสัมผัส

รูปที่ 3.2 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

รูปที่ 3.3 จานวัดความเข้มรังสียูวี UV-Integrator

3.4.1 ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในสารเคลือบผิวหน่วงไฟ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะการเตรียมสารเคลือบผิวหน่วงไฟ โดยศึกษาผลของปริมาณของเรซิน TMPTA และมอนอเมอร์ VPA ซึ่งปริมาณมอนอเมอร์ VPA จะบ่งบอกถึงปริมาณฟอสฟอรัสในสารเคลือบผิวอะคริเลต (P-containing acrylate) และศึกษาชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่มีฟอสฟอรัสและไม่มีฟอสฟอรัสในโครงสร้าง โดยออกแบบการทดลองเป็น 8 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ

สูตรสารเคลือบผิว	ปริมาณร้อยละ (โดยน้ำหนัก)				
	มอนอเมอร์		ชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยา		ตัวเจือจาง
	TMPTA	VPA	1173 (ไม่มีฟอสฟอรัส)	TPO (มีฟอสฟอรัส)	EtOH
0%P-containing acrylate+1173	70	0	3	-	27
10%P-containing acrylate+1173	60	10	3	-	27
30%P-containing acrylate+1173	40	30	3	-	27
50%P-containing acrylate+1173	20	50	3	-	27
0%P-containing acrylate+TPO	70	0	-	3	27
10%P-containing acrylate+TPO	60	10	-	3	27
30%P-containing acrylate+TPO	40	30	-	3	27
50%P-containing acrylate+TPO	20	50	-	3	27

3.5 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ

เตรียมสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำจากการผสมยูรีเทนอะคริเลต โอลิโกเมอร์ (UA) 30%โดยน้ำหนักกับมอนอเมอร์ที่มีโครงสร้างฟลูออโรคาร์บอน (TFEA และ TFEMA) เป็นส่วนประกอบใน

ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 15, 25 และ 35%โดยน้ำหนัก และเติมตัวเจือจางเอทานอล 50, 40 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ คนของผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยเครื่องกวนผสมเป็นเวลานาน 15 นาที จากนั้นจึงเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173 ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก และคนของผสมต่อเป็นเวลานาน 15 นาที เพื่อให้ของผสมเข้ากันได้ดี เตรียมกระจกพื้นผิวสะอาดและนำสารเคลือบที่ผสมเข้ากันได้ดีแล้วเคลือบลงบนแผ่นกระจกด้วยที่ปาดฟิล์ม (applicator) กำหนดความหนา 100 ไมโครเมตร จากนั้นนำแผ่นกระจกที่มีสารเคลือบผิวเคลือบอยู่ไปบ่มในเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี และวัดความเข้มของรังสียูวีที่ใช้ในการบ่มด้วยจานวัดความเข้มรังสียูวี ทดสอบการแห้งตัวที่ผิวของฟิล์มสารเคลือบ (touch dry) ด้วยการใช้นิ้วหัวแม่มือสัมผัสที่ผิวหน้าของฟิล์มสารเคลือบ

3.5.1 ตัวแปรที่ศึกษาในสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ

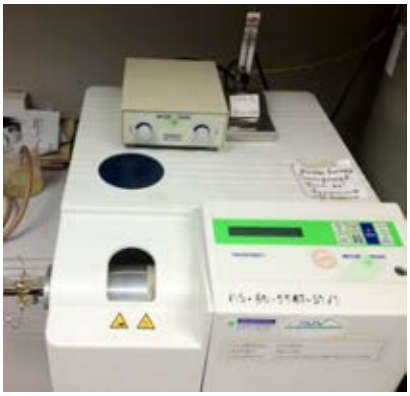
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะการเตรียมสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำโดยศึกษาผลกระทบของชนิดและปริมาณฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ที่ประกอบด้วยฟลูออโรคาร์บอนชนิดสายโซ่สั้น โดยออกแบบการทดลองเป็น 6 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ

สูตรสารเคลือบผิว	ปริมาณร้อยละ (โดยน้ำหนัก)				
	โอลิโกเมอร์	ฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์		ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง	ตัวเจือจาง
	UA	TFEA	TFEMA	ซนิด1173	EtOH
15%TFEA-containing acrylate	30	15	-	5	50
25%TFEA-containing acrylate	30	25	-	5	40
35%TFEA-containing acrylate	30	35	-	5	30
15%TFEMA-containing acrylate	30	-	15	5	50
25%TFEMA-containing acrylate	30	-	25	5	40
35%TFEMA-containing acrylate	30	-	35	5	30

3.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อนและปริมาณเถ้าของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ได้จากการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

นำตัวอย่างฟิล์มสารเคลือบผิวที่ผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมงไปตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA) รุ่น TG/SDTA851^{e} ดังรูปที่ 3.4 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบโดยการขูดฟิล์มสารเคลือบผิวออกจากแผ่นกระจก ปริมาณตัวอย่างฟิล์มที่ใช้วิเคราะห์ประมาณ 3 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25 ถึง 800 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการไหลของความร้อนเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.4 เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA) รุ่น TG/SDTA851[e]

3.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่คาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเครื่อง Attenuated total reflectance infrared spectrometer (ATR-IR)

นำฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Attenuated total reflectance infrared spectrometer (ATR-IR) ดังรูปที่ 3.5 เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพันธะคู่คาร์บอนของฟิล์มสาร ทำการวิเคราะห์ในช่วงความถี่ 400 - 4,000 cm^{-1} สแกน 64 ครั้ง และค่าความสามารถในการแยกค่าความละเอียดของภาพ (resolution) เท่ากับ 4.0 cm^{-1} นำตัวอย่างก่อนการบ่มและหลังการบ่มตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ATR-IR

ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของพันธะคู่คาร์บอน (%conversion) หลังการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีสามารถคำนวณได้จากความสูงของพีคหมู่ C=C (1407 cm^{-1}) เทียบกับหมู่ -C=O (1721 cm^{-1}) พันธะคาร์บอนิลก่อนและหลังการบ่มด้วยสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีดังสมการที่ 3.1

$$\%\text{Conversion} = \frac{(\mathbf{Ho,c=c\ /\ Ho,c=o}) - (\mathbf{Ht,c=c\ /\ Ht,c=o})}{\mathbf{Ho,c=c\ /\ Ho,c=o}} \times 100 \qquad (3.1)$$

H_o = ความสูงของพีคก่อนการบ่มด้วยสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวี

H_t = ความสูงของพีคหลังการบ่มด้วยสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวี

รูปที่ 3.5 เครื่อง Attenuated total reflectance infrared spectrometer (ATR-IR)

3.8 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวี

แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.8.1 การเตรียมผ้าพอลิเอสเทอร์ก่อนนำไปตกแต่งสำเร็จ

ตัดผ้าพอลิเอสเทอร์ขนาด 16.5 x 49.5 เซนติเมตร และเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ นำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปซักกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยเครื่องซักอัตโนมัติ (gyrowasher) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการซักไปล้างด้วยน้ำให้สะอาด แล้วนำไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เก็บผ้าเข้าตู้ดูดความชื้น เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จดบันทึกน้ำหนักแต่ละผืนก่อนที่จะผ่านการตกแต่งสำเร็จ

3.8.2 การจุ่ม-อัดผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยสารเคลือบผิวหรือสารตกแต่งสำเร็จ

นำผ้าพอลิเอสเทอร์จุ่มลงในแต่ละสูตรของสารเคลือบผิวหน่วงไฟและสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำตามชุดการทดลองในตารางที่ 3.1 และ 3.2 เป็นเวลานาน 1 นาที จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์เข้าเครื่องบีบอัดแบบลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 3.6 โดยกำหนดร้อยละของปริมาณสารเคมีบนผ้า (%wet pick up) เท่ากับ 60

% wet pick up คือ ปริมาณสารเคมีบนผ้า

$$\%\text{wet pick up} = \frac{\text{น้ำหนักผ้าหลังผ่านเครื่องบีบอัด (กรัม)} - \text{น้ำหนักผ้าก่อนผ่านเครื่องบีบอัด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักผ้าก่อนผ่านเครื่องบีบอัด (กรัม)}} \times 100 \qquad (3.2)$$

รูปที่ 3.6 เครื่องบีบอัดแบบลูกกลิ้ง (Padder)

3.8.3 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการจุ่มอัดด้วยสารตกแต่งสำเร็จผ่านเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีที่กำลังไฟ 125 วัตต์ และ ความเร็วของสายพาน 1 เมตรต่อนาที พร้อมทั้งวัดและจดบันทึกค่าความเข้มของรังสียูวีด้วยจานวัดพลังงาน นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยการบ่มด้วยรังสียูวีไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่าร้อยละปริมาณสารเคมีสุทธิบนผ้า (%Add-on)

%Add-on คือ ปริมาณสารเคมีสุทธิบนผ้า

%Add-on

$$= \frac{\text{น้ำหนักผ้าหลังผ่านการบ่มด้วยรังสียูวี (กรัม)} - \text{น้ำหนักผ้าก่อนผ่านเครื่องบีบอัด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักผ้าก่อนผ่านเครื่องบีบอัด}} \times 100 \qquad (3.3)$$

3.9 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่ม-อัด-ผนึก

เตรียมผ้าพอลิเอสเทอร์ตามขั้นตอนที่ 3.8.1 และเตรียมสารละลายอิมัลชันที่ใช้สำหรับตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำทางการค้าความเข้มข้น 40 กรัมต่อลิตร ซึ่งสารตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำทางการค้าเป็นอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอน นำสารตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำไปตกแต่งสำเร็จบนผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องบีบอัดโดยกำหนดค่า %wet pick up เท่ากับ 60 จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการบีบอัดเข้าเครื่องอบแห้ง (stenter) ดังรูปที่ 3.7 ทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 นาที และทำการผนึกสารลงบนผ้าที่อุณหภูมิ

160 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 นาที จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าร้อยละปริมาณสารเคมีสุทธิบนผ้า (%add-on)

รูปที่ 3.7 เครื่องอบแห้ง (stenter)

3.10 วิธีการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำ

3.10.1 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

การตกแต่งสำเร็จแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) Based coat: การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวีในชั้นแรกของผ้าพอลิเอสเทอร์

นำสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่คัดเลือกไว้ไปตกแต่งผ้าพอลิเอสเทอร์ตามขั้นตอนที่ 3.8 จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟไปผ่านการซักด้วยเครื่องซักอัตโนมัติ (gyrowasher) โดยใช้สารซักฟอกที่ไม่มีสารเรืองแสง (SDC detergent ECE phosphate (B)) ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ทำการซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และเก็บเข้าตู้ดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำต่อไป

2) Top coat: การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีเป็นชั้นทับหน้าของผ้าพอลิเอสเทอร์

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟในขั้นตอนที่ 1) ไปตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่ได้คัดเลือกไว้ตามขั้นตอนที่ 3.8.2 และ3.8.3 เพื่อให้สารสะท้อนน้ำอยู่ด้านบนของผืนผ้า (top coat) และนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเรียบร้อยแล้วเก็บเข้าตู้ดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆต่อไป

3.10.2 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีร่วมกับเทคนิคจุ่ม-อัด-ผนึก

การตกแต่งสำเร็จแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) Based coat: การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีในชั้นแรกของผ้าพอลิเอสเทอร์

นำสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่คัดเลือกไว้ไปตกแต่งผ้าพอลิเอสเทอร์ตามขั้นตอนที่ 3.8 จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟไปผ่านการซักด้วยเครื่องซักอัตโนมัติ (gyrowasher) โดยใช้สารซักฟอกที่ไม่มีสารเรืองแสง (SDC detergent ECE phosphate (B)) ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ทำการซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และเก็บเข้าตู้ดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปตกแต่งสำเร็จสารสะท้อนน้ำต่อไป

1) Top coat: การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่ม-อัด-ผนึกเป็นชั้นทับหน้าของผ้าพอลิเอสเทอร์

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟในขั้นตอนที่ 1) ไปตกแต่งสำเร็จด้วยสารสะท้อนน้ำทางการค้าตามในขั้นตอนที่ 3.9 เพื่อให้สารสะท้อนน้ำอยู่ด้านบนของผืนผ้า (top coat) และนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

เรียบร้อยแล้วเก็บเข้าตู้ดูดความชื้น เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆต่อไป

3.11 ศึกษาและทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

3.11.1 ศึกษาพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (Scanning Electron Microscope)

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาเพื่อวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว และลักษณะฟิล์มสารเคลือบผิวบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

3.11.2 ศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศาและพฤติกรรมการหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟมาศึกษาพฤติกรรมในการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศาและพฤติกรรมการหลอมหยดด้วยเครื่องทดสอบ atlas 45^0 automatic flammability tester ดังรูปที่ 3.9 ตามมาตรฐาน ASTM D 1230 [22] ตัดชิ้นทดสอบให้มี

ขนาดความกว้าง 5.5 เซนติเมตร และความยาว 16.5 เซนติเมตรแล้วนำผ้าตัวอย่างมายึดกับที่จับชิ้นตัวอย่าง และวางลงบนแท่นด้วยมุมเอียง 45 องศา จากนั้นจุดไฟที่บริเวณบนพื้นผิวเหนือปลายผ้าด้านล่างประมาณ 19 มิลลิเมตร เป็นเวลา 5 วินาที บันทึกเวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่ไปถึง stop cord รวมระยะ 12.7 เซนติเมตร ซึ่ง stop cord คือ ด้ายฝ้ายชุบมันขึงในแนวตั้งฉากกับทิศทางของการลามไฟ ทำการสังเกตพฤติกรรมการติดไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์โดยการจดบันทึกลักษณะของเปลวไฟ สีของควัน และการหลอมหลอมหยดระหว่างการทดสอบ

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความสามารถในการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา (Atlas 45^0 automatic flammability tester)

3.11.3 การทดสอบหาค่า LOI (Limiting Oxygen Index)

เพื่อศึกษาความสามารถในการติดไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากค่า LOI ตามมาตรฐาน ASTM D 2863 โดยค่า LOI จะบ่งบอกถึงปริมาณของออกซิเจนต่ำสุดที่จะทำให้วัสดุเกิดการลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเครื่อง Limiting Oxygen Indexer ดังรูปที่ 3.10

มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

(1) เตรียมตัวอย่างผ้าทดสอบโดยตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 5.2 เซนติเมตร และความยาว 16.5 เซนติเมตร

(2) สอบเทียบมาตรฐานเครื่องโดยการใช้แก๊สไนโตรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ หรือออกซิเจน 100 เปอร์เซนต์ แล้วตรวจดูว่าค่า LOI ที่เครื่องทดสอบได้ค่าเท่ากับ 0 และ 100 ตามลำดับหรือไม่ ถ้าไม่ได้ค่าดังกล่าวให้ปรับตั้งค่า 0 และ 100 ตามลำดับ

(3) ปิดวาล์วแก๊สหลังจากที่ทำการสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องแล้ว นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้มายึดติดกับชิ้นตัวอย่าง (sample holder) ของเครื่องทดสอบในลักษณะแนวตั้ง โดยให้ปลายด้านบนสุดของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าปากครอบแก้วที่ทดสอบอย่างน้อย 40 มิลลิเมตร

(4) ปรับปริมาณของแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนที่ต้องการทดสอบโดยให้มีอัตราการไหลของแก๊สในครอบแก้วที่ทดสอบมีค่าเท่ากับ 15 ลิตรต่อนาที

(5) ปล่อยให้แก๊สไหลผ่านในครอบแก้วที่ทดสอบนานเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ระบบอยู่ในภาวะคงที่ตามที่ต้องการ

(6) จุดไฟที่หัวจุดไฟโดยปรับให้เปลวไฟมีความยาวประมาณ 6 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปจุดที่บริเวณปลายด้านบนของชิ้นทดสอบเป็นเวลาทุกๆ 5 วินาที แต่ไม่เกิน 30 วินาที แล้วนำหัวจุดไฟออก สังเกตว่าชิ้นทดสอบมีการติดไฟหรือไม่

หมายเหตุ

1. ถ้าชิ้นทดสอบลุกไหม้มากกว่าเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาแล้วการลุกไหม้ผ่านระยะอ้างอิง 100 มิลลิเมตร ในการทดสอบชิ้นทดสอบใหม่ต้องทำการปรับลดออกซิเจน

2. ถ้าการลุกไหม้ของชิ้นทดสอบดับก่อนถึงระยะอ้างอิง 100 มิลลิเมตร ในการทดสอบชิ้นทดสอบใหม่ต้องทำการเพิ่มปริมาณออกซิเจน

(7) ทำซ้ำขั้นตอน (5) - (6) จนกระทั่งได้ปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่จุดวิกฤติคือปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ทำให้ผ้าตัวอย่างทดสอบเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องตามเกณฑ์พิจารณาข้างต้น

(8) บันทึกค่า LOI ที่ได้จากข้อ (7)

รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบหาค่า LOI (Limiting oxygen indexer)

3.11.4 การวัดความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเครื่องวัดสีแมคเบทรีแฟลกแตนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Macbeth reflectance spectrophotometer)

นำผ้าที่ไม่ผ่านและผ่านการตกแต่งสำเร็จวัดความขาวด้วยเครื่องวัดสีแมคเบทรีแฟลกแตนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Macbeth reflectance spectrophotometer) ดังรูปที่ 3.11 โดยแต่ละผืนจะทำการหาค่าเฉลี่ยของผลการจากการวัด 3 ตำแหน่ง แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ตามระบบซีไออี (CIE)

รูปที่ 3.11 เครื่องวัดสีแมคเบทรีแฟลกแตนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
(Macbeth reflectance spectrophotometer)

3.11.5 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวผ้า

การทดสอบความสามารถในการสะท้อนน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Meter) ดังรูปที่ 3.12 โดยทำการหยดน้ำกลั่นประมาณ 5 ไมโครลิตร ลงบนพื้นผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ จากนั้นทำการวัดมุมสัมผัส (contact angle) ซึ่งคือมุมระหว่างจุดสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวของผ้าที่รอบรับของเหลว

รูปที่ 3.12 เครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle meter)

3.11.6 ตรวจสอบระยะวลาของหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสารสะท้อนน้ำวางบนโต๊ะพื้นราบ หยดน้ำกลั่นลงบนผ้า และทำการจับเวลาจนกระทั่งน้ำซึมผ่านผ้าจนหมด ทำการจดบันทึกเวลาหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำที่มี

ประสิทธิภาพจะสามารถสะท้อนน้ำได้ทันทีหลังหยดน้ำบนลงผ้าและสามารถชะลอการดูดซึมน้ำผ่านผิวผ้าได้

3.11.7 ทดสอบความคงทนการซักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้า

เตรียมสารซักฟอกที่ไม่มีสารเรืองแสง (SDC detergent ECE phosphate (B)) ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จซักด้วยเครื่องซักอัตโนมัติ (gyrowasher) ดังรูปที่ 3.13 อัตราส่วนผ้าต่อสารซักฟอก (liquor ratio) เท่ากับ 1:30 โดยทำการซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และเก็บเข้าตู้ดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่างๆต่อไป

รูปที่ 3.13 เครื่องซักอัตโนมัติ (Gyrowasher)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

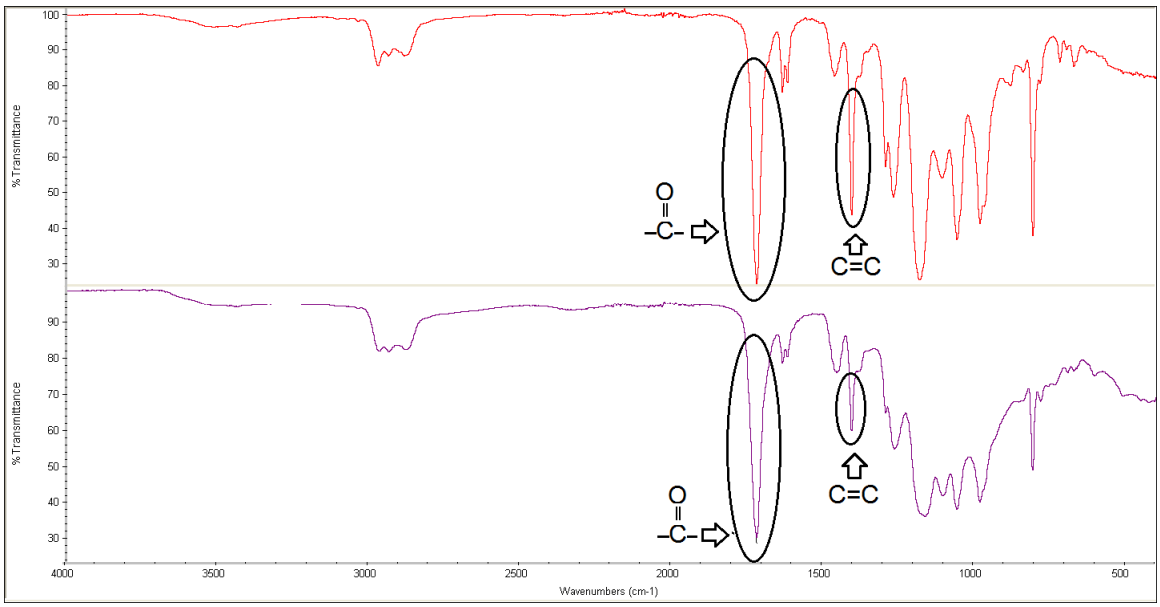
4.1 การศึกษาหาภาวะที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีและการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่คาร์บอนของสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี

การเตรียมสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี สมบัติของฟิล์มสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับโอลิโกเมอร์หรือมอนอเมอร์ที่เลือกใช้ ได้แก่ ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความใสของฟิล์ม และสมบัติเฉพาะต่างๆของฟิล์มสารเคลือบผิวนั้นๆ เช่น สารเคลือบผิวกันเพรียง สารเคลือบผิวหน่วงไฟ และสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ เป็นต้น

ฟิล์มสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีจะมีกลไกแบบการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) โดยอาศัยตัวริ่เริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่สามารถดูดกลืนรังสียูวีแล้วแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (free radical) เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโอลิโกเมอร์และมอนอเมอร์ในสารเคลือบผิวยูวีของเหลว เพื่อให้สารเคลือบผิวยูวีที่เป็นของเหลวเปลี่ยนสภาพไปเป็นของแข็งทั้งหมด โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่จะบ่งบอกถึงปริมาณพันธะคู่ที่แตกออกแล้วเกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ของแผ่นฟิล์มสารเคลือบผิว โดยฟิล์มสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีได้ดีควรมีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่สูง ซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้างของฟิล์มสารเคลือบผิวเกิดเป็นร่างแหที่สมบูรณ์และให้สมบัติเฉพาะของฟิล์มนั้นๆได้ดี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้บ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี โดยการทดลองเตรียมสูตรสารเคลือบผิว 0%P-containing acrylate แล้วนำสารคลือบผิวที่เป็นของเหลวของสูตรดังกล่าวเคลือบลงบนแผ่นกระจกด้วยที่ปาดฟิล์มที่กำหนดความหนา 100 ไมโครเมตร และนำไปบ่มด้วยรังสียูวีที่ภาวะต่างๆ จากการทดลองพบว่าภาวะเหมาะสมสำหรับการใช้บ่มสารเคลือบผิวจะมีค่าพลังงานอยู่ในช่วง 500 - 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทำการทดสอบฟิล์มที่ผ่านการบ่มโดยการใช้นิ้วสัมผัสผิวฟิล์มสารเคลือบ พบว่าสารเคลือบผิวหลังผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีให้การแห้งตัวที่ผิวหน้าของฟิล์ม จากนั้นจึงได้นำฟิล์มสารเคลือบผิวสูตร 0%P-containing

acrylate ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-IR เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ของฟิล์มสารเคลือบผิว ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-IR ของฟิล์มสารเคลือบผิวสูตร 0%P-containing acrylate ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ATR-FTIR สเปกตรัมของฟิล์มสารเคลือบผิว (0%P-containing acrylate)

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่าสเปกตรัมของฟิล์มสารเคลือบผิวหลังบ่มด้วยรังสียูวีที่ความยาวคลื่น จะมีค่าสัดส่วนความสูงของสเปกตรัมของหมู่ไวนิล ($-HC=CH_2$) ซึ่งปรากฏที่เลขคลื่น 1,407 cm^{-1} เทียบกับความสูงของสเปกตรัมหมู่คาร์บอนิล ($>C=O$) ซึ่งปรากฏที่เลขคลื่น 1,721 cm^{-1} มีค่าสัดส่วนลดลง เนื่องจากปริมาณพันธะคู่ของสารเคลือบผิวจะแตกออกแล้วเกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ของแผ่นฟิล์ม โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ (%conversion) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\%\text{Conversion} = \frac{(\mathbf{Ho,c=c\ /\ Ho,c=o}) - (\mathbf{Ht,c=c\ /\ Ht,c=o})}{\mathbf{Ho,c=c\ /\ Ho,c=o}} \times 100 \qquad (3.1)$$

H_o = ความสูงของพีคก่อนการบ่มด้วยสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวี

H_t = ความสูงของพีคหลังการบ่มด้วยสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวี

จากการคำนวณหาค่าร้อยละการแปรผันของการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ของสารเคลือบผิวสูตร 0%P-containing acrylate ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่เท่ากับ 23 % โดยค่าดังกล่าวจะบ่งบอกถึงปริมาณพันธะคู่ของสารเคลือบผิวที่แตกออกแล้วเกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ของแผ่นฟิล์ม ซึ่งเป็นการยืนยันว่าสารเคลือบผิวเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ขึ้น

การบ่มสารเคลือบผิวที่ภาวะดังกล่าว พันธะคู่ของสารเคลือบผิวจะไม่สามารถแตกตัวเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ได้ทั้งหมด 100% เนื่องจากภาวะของเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีที่ใช้เป็นระบบเปิด ซึ่งแก๊สออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ สามารถเข้าไปแย่งทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิวยูวีได้ จึงทำให้การเกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างมอนอเมอร์ของสารเคลือบผิวภายใต้แสงยูวีลดลง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงในปริมาณที่ชดเชยหรือเติมสารจับออกซิเจน (oxygen scavenger) ซึ่งข้อควรระวังในการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงตกค้างบนวัสดุได้และอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับภาวะที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิว โดยอาจจะปรับกำลังไฟของเครื่องบ่มรังสียูวีให้เพิ่มขึ้นและความเร็วสายพานของเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีให้ช้าลง เพื่อให้สารเคลือบผิวได้รับพลังงานที่มากเพียงพอสำหรับใช้ในการบ่มและเกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ขึ้น โดยฟิล์มสารเคลือบผิวที่เกิดขึ้นจะมีโครงสร้างเป็นร่างแหสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลทำให้ฟิล์มสารเคลือบผิวมีสมบัติที่ดีแต่ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีปรับภาวะที่ใช้บ่มสารเคลือบผิวจะต้องคำนึงถึงความสามารถการทนความร้อนของวัสดุที่ถูกเคลือบด้วย เนื่องจากการปรับกำลังไฟเพิ่มขึ้นและลดความเร็วสายพานของเครื่องบ่มรังสียูวีจะทำให้ความร้อนสะสมภายในเครื่องบ่มรังสียูวีเพิ่มขึ้น โดยความร้อนที่เกิดขึ้นอาจจะไปทำลายวัสดุหรือชิ้นงานที่ต้องการเคลือบผิว (substrate) ได้ โดยเฉพาะในการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์เพื่อใช้ในการตกแต่งสำสำเร็จสิ่งทอจะต้องคำนึงถึงความสามารถทนต่อความร้อนของผ้าที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จเพื่อป้องกันไม่ให้ผ้าเกิดการเสีย

รูปหรือสีผิดเพี้ยนไปหลังผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี โดยเฉพาะผ้าที่มีสีสันสดใส เมื่อสัมผัสรังสียูวีเป็นเวลานานๆ อาจจะทำให้สีของผ้าซีดลงได้

นอกจากนี้ได้นำสารเคลือบผิวหน่วงไฟและสารสะท้อนน้ำอื่นๆ ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-IR เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ของสารเคลือบผิวก่อนและหลังบ่มด้วยรังสียูวีที่ภาวะเดียวกัน พบว่าสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสัดส่วนความสูงของสเปกตรัมของหมู่ไวนิล (-HC=CH2) ซึ่งปรากฏที่เลขคลื่น 1,407 cm^{-1} เทียบกับความสูงของสเปกตรัมหมู่คาร์บอนิล (>C=O) ซึ่งปรากฏที่เลขคลื่น 1,721 cm^{-1} มีค่าสัดส่วนลดลงเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าสารเคลือบผิวหลังผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) และได้ฟิล์มสารเคลือบผิว

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟด้วยเทคนิค TGA

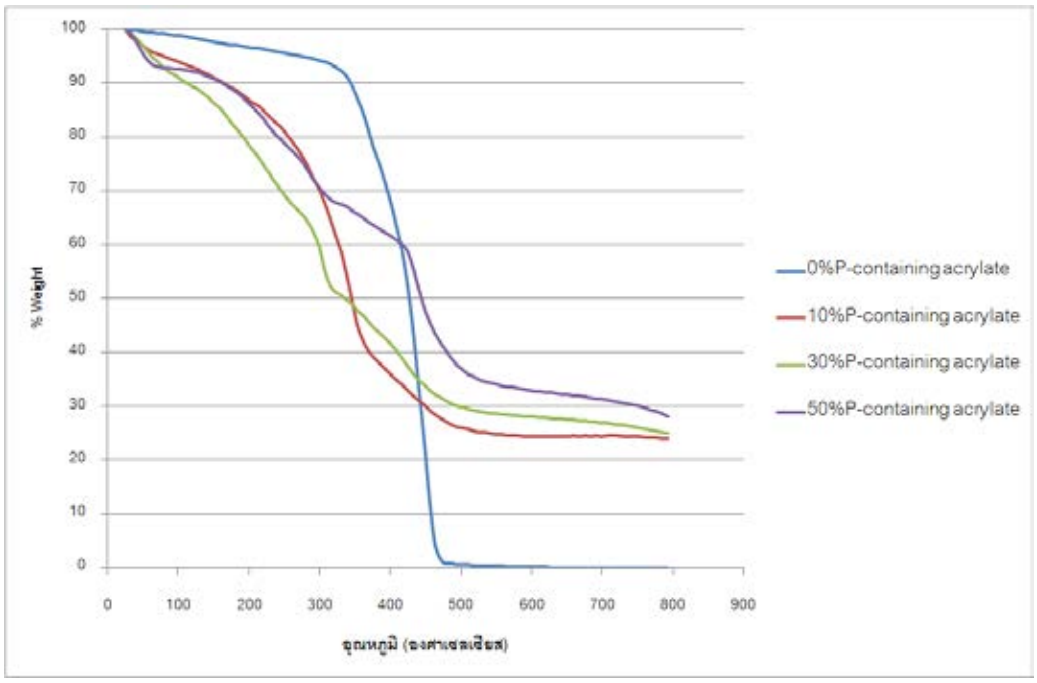
การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้มีสมบัติหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี สมบัติหน่วงไฟของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจะมีประสิทธิภาพดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับสมบัติทางความร้อนของสารเคลือบผิวหรือสารตกแต่งสำเร็จนั้นๆที่นำไปใช้ ได้แก่ ความเสถียรภาพทางความร้อน อุณหภูมิการสลายตัว อัตราการสลายตัว และปริมาณเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้น เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีแต่ละสูตรก่อนนำสารเคลือบผิวของเหลวไปใช้ตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟบนผ้าพอลิเอสเทอร์ เพื่อศึกษาลักษณะการสลายตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่อุณหภูมิสูงและคัดกรองสูตรสารเคลือบผิวที่มีความเป็นไปได้ที่จะให้สมบัติหน่วงไฟแก่ผ้าพอลิเอสเทอร์หลังผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิว

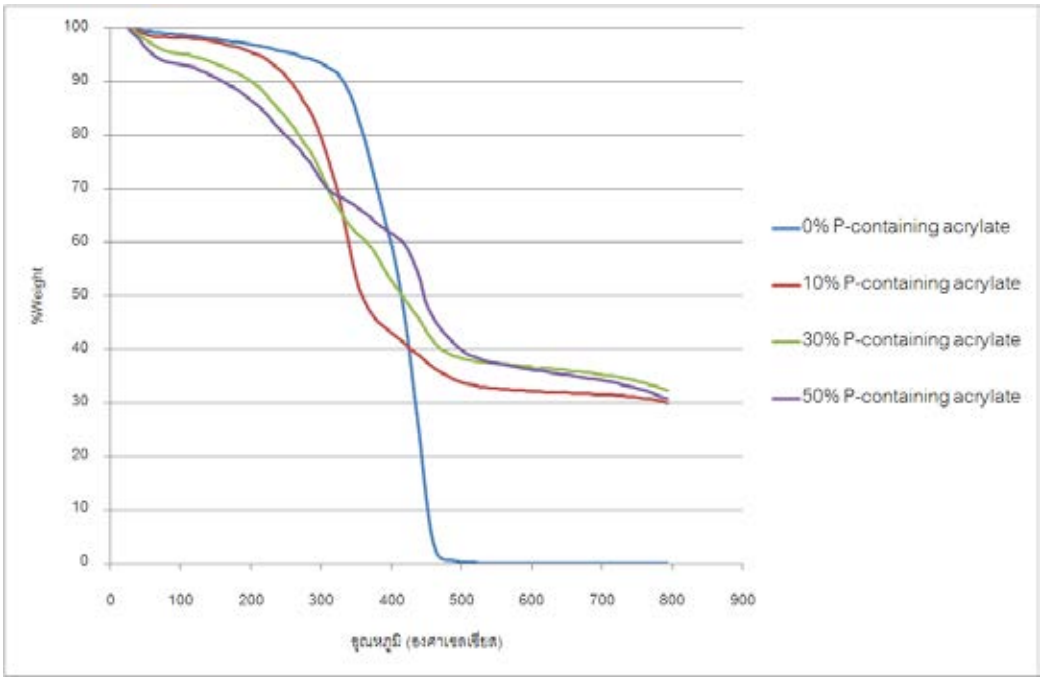
ฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีเตรียมได้จากการผสมมอนอเมอร์ TMPTA และมอนอเมอร์ VPA ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักต่างๆ ดังนี้ 70:0, 60:10, 40:30 และ

20:50 ร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง 3%โดยน้ำหนักและตัวเจือจางเอทานอล 27%โดยน้ำหนัก ซึ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่นำมาใช้ศึกษาในการเตรียมสารเคลือบผิวหน่วงไฟมี 2 ชนิด ได้แก่ 1173 (ชนิดที่ไม่มีฟอสฟอรัส) และ TPO (ชนิดที่มีฟอสฟอรัส) สูตรสารเคลือบผิวของเหลวที่ผ่านการผสมเข้ากันได้ดีแล้วจะนำไปเคลือบลงบนกระจกด้วยที่ปาดฟิล์ม และนำไปเข้าเครื่องบ่มด้วยรังสียูวี พบว่าสารเคลือบผิวสามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีและแห้งตัวที่ผิวฟิล์มและทำการวัดค่าพลังงานความเข้มของรังสียูวีในภาวะดังกล่าวด้วยจานวัดพลังงานได้ค่าพลังงานประมาณ 500 - 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จะเป็นพอลิเมอร์ชนิดอะคริเลตที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในปริมาณต่างๆ (P-containing acrylate) ซึ่งจะแปรผันตรงกับปริมาณมอนอเมอร์ VPA ในสูตรสารเคลือบผิวของเหลว โดยองค์ประกอบฟอสฟอรัสในฟิล์มสารเคลือบผิวจะทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟในระบบ

นำฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ของแต่ละสูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25 ถึง 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน เพื่อศึกษาลักษณะการสลายตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวและผลของปริมาณ P-containing acrylate ต่อปริมาณเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้น พบว่าฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงทั้งชนิด 1173 และ TPO เมื่อสูตรสารเคลือบผิวมีปริมาณฟอสฟอรัส (P-containing acrylate) มากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของฟิลม์ลดลงและมีปริมาณเถ้าคาร์บอนเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 TGA เทอร์โมแกรมของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173

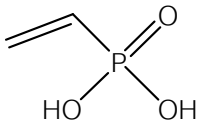


รูปที่ 4.3 TGA เทอร์โมแกรมของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO

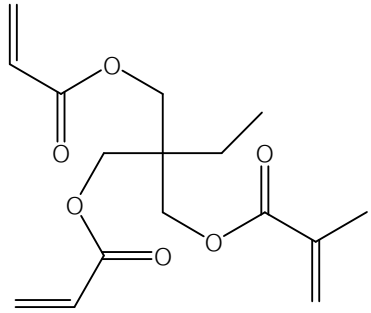
จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิค TGA พบว่าปริมาณ P-containing acrylate ในฟิล์มสารเคลือบผิวมีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของสาร อัตราการสลายตัวของสารและปริมาณเถ้าคาร์บอน ณ อุณหภูมิสูง โดยปริมาณ P-conatianing acrylate ในสูตรสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของสารมีค่าลดลง และอัตราการสลายตัวช้าลง เมื่อเทียบกับฟิล์มสารเคลือบผิวสูตร 0%P-containg acrylate ซึ่งเตรียมได้จากมอนอเมอร์ TMPTA เป็นองค์ประกอบหลักของสูตรสารเคลือบผิวเพียงอย่างเดียว โดยอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวสูตร 0%P-containg acrylate ทั้งชนิดที่เตรียมได้ด้วยตัวริเริ่มปฏิกิริยา 1173 และ TPO จะมีอัตราการสลายตัวของสารอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิการสลายตัว 479 และ 432 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และไม่มีเถ้าคาร์บอนเกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีฟอสฟอรัสที่ทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟในระบบ

สาเหตุที่ฟิล์มสูตรสารเคลือบผิวที่มีปริมาณ P-containing acrylate เพิ่มขึ้นแล้วทำให้ค่าอุณหภูมิการเริ่มสลายตัวของสารลดลง เนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบของสารในสูตรสารเคลือบผิวมีปริมาณของมอนอเมอร์ VPA เพิ่มขึ้นและมอนอเมอร์ TMPTA ลดลง โดยโครงสร้างของมอนอเมอร์ VPA จะประกอบด้วยพันธะคู่จำนวน 1 พันธะ ส่วนโครงสร้างมอนอเมอร์ TMPTA จะประกอบด้วยพันธะคู่จำนวน 3 พันธะ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งจำนวนพันธะคู่ของมอนอเมอร์จะมีผลต่อความหนาแน่นในการเกิดพันธะเชื่อมขวางของฟิล์มสารเคลือบผิว โดยมอนอเมอร์ TMPTA จะเกิดพันธะเชื่อมขวางได้อย่างว่องไวกว่าภายใต้ภาวะการบ่มด้วยรังสียูวีเดียวกัน ดังนั้นสูตรสารเคลือบผิวที่มีอัตราส่วนปริมาณของมอนอเมอร์ VPA หรือ P-containing acrylate มากจะมีโอกาสเกิดพันธะเชื่อมขวางในฟิล์มสารเคลือบผิวได้น้อยกว่าสูตรสารเคลือบผิวที่มีอัตราส่วนปริมาณมอนอเมอร์ TMPTA สูงกว่า ซึ่งความหนาแน่นในการเกิดพันธะเชื่อมขวางนี้จะส่งผลให้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีปริมาณ P-containing acrylate เพิ่มขึ้น มีความแข็งตึงลดลงและอุณหภูมิการเริ่มการสลายตัวลดลง โดยสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวจะขึ้นอยู่กับทั้งชนิดและปริมาณมอนอเมอร์ที่นำมาใช้เป็นสารเคลือบผิว ในงานวิจัยนี้มอนอเมอร์ TMPTA จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเชื่อมขวาง (cross-linker) ในระบบ โดยมีความสามารถในการเกิดพันธะเชื่อมขวางได้อย่างว่องไวซึ่งจะส่งผลให้สารเคลือบผิวเกิดการแห้งตัวได้เร็วขึ้นและฟิล์มมีความแข็งแรง ส่วนมอนอเมอร์ VPA จะทำหน้าที่เป็นสาร

หน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส โดยเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ภายในสายโซ่ของพอลิเมอร์ของฟิล์มสารเคลือบผิว



รูปที่ 4.4 โครงสร้างของมอนอเมอร์ VPA



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของมอนอเมอร์ TMPTA

จากเทอร์โมแกรม TGA ของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟจะพบว่าในช่วงอุณหภูมิแรกไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส น้ำหนักสารมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเนื่องจากเกิดการสลายตัวของตัวเจือจางที่เป็นองค์ประกอบในฟิล์มสารเคลือบผิว ได้แก่ เอทานอล โดยฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงทั้งชนิด 1173 และ TPO ที่ปริมาณ 10%, 30% และ 50%P-containing acrylate จะมีลักษณะเทอร์โมแกรม TGA คล้ายกัน และมีปริมาณเถ้าคาร์บอนคงเหลือที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยเมื่อปริมาณ P-containing acrylate ของฟิล์มสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นจะกระตุ้นฟิล์มสารเคลือบผิวให้เกิดปริมาณเถ้าคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสลายตัวของสารช้าลง และมีการสลายตัวของสารหลายขั้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนของ Zhu S. และ Shi W. [24] และงานวิจัยของ Liang. H., และ Shi. W. [25] ซึ่งได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและการ

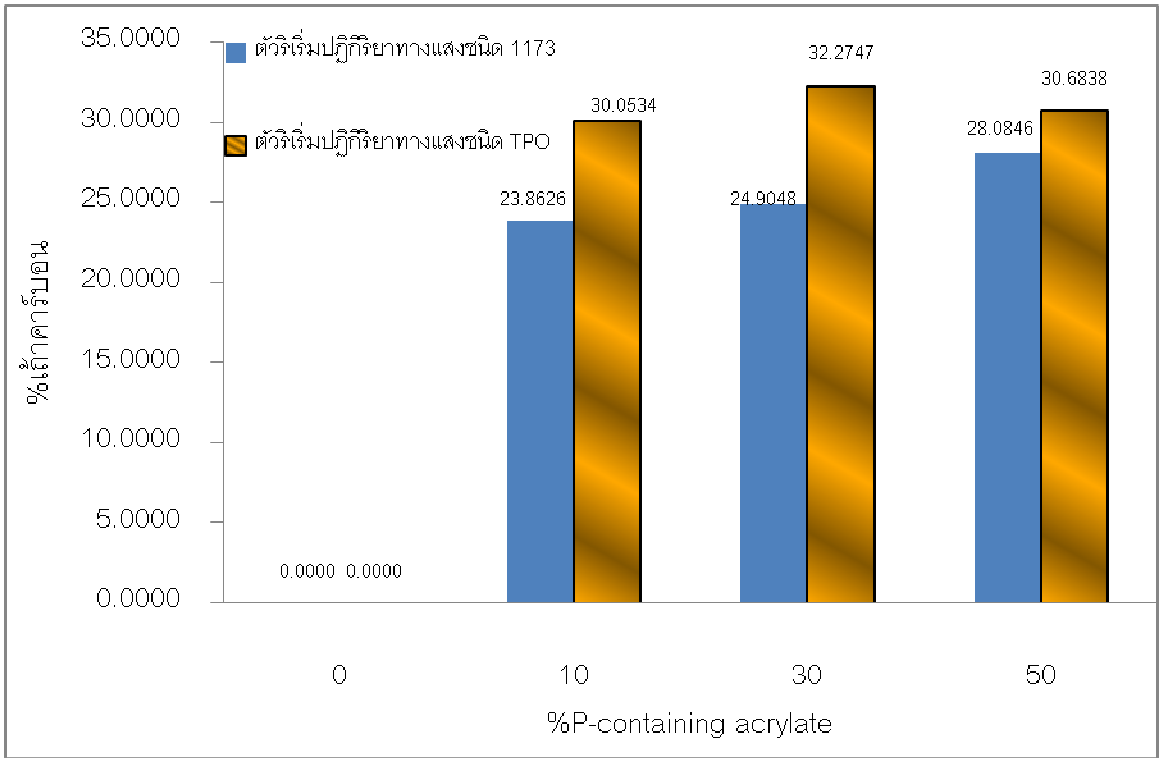
สลายตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟชนิดอะคริเลตที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี พบว่าฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟอะคริเลตที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบจะมีการสลายตัวแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิ 160 - 270 องศาเซลเซียสจะเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบฟอสฟอรัสในโครงสร้างฟิล์มสารเคลือบผิวได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดฟอสฟอริกและออกไซด์ของฟอสฟอรัสต่างๆ และช่วงการสลายตัวในช่วงที่ 2 อุณหภูมิประมาณ 270 - 350 องศาเซลเซียสจะเกิดการสลายตัวจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของสายโซ่คาร์บอนข้างเคียงและเกิดเถ้าคาร์บอนขึ้น โดยเถ้าคาร์บอนจะเกิดจากผลการสลายตัวสารประกอบฟอสฟอรัสในฟิล์มสารเคลือบผิวในช่วงอุณหภูมิแรกซึ่งจะได้เป็นผลิตภัณฑ์กรดฟอสฟอริกและต่อมาได้เป็นพอลิฟอสฟอริก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถไปเอสเทอริฟายหมู่คาร์บอกซิลเกิดชั้นของเหลวหนืดและเร่งการเกิดเถ้าคาร์บอน ชั้นของเหลวหนืดและเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะไปทำหน้าที่รบกวนวงจรการเผาไหม้ด้วยการป้องกันเปลวไฟและออกซิเจนไม่ให้สัมผัสกับวัสดุ ทำให้การลุกไหม้ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ประเภทกลไกการหน่วงไฟของสารประกอบฟอสฟอรัสนี้เรียกว่า Condensed phase นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกที่สลายตัวออกมายังสามารถทำหน้าที่หน่วงไฟด้วยกลไกแบบ Vapor phase ได้อีกด้วย ทำให้อัตราการสลายตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวในขั้นนี้ช้าลง และการสลายตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวฟิลม์ในช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 500 องศาเซลเซียส จะเกิดจากการสลายตัวของเถ้าคาร์บอนที่ไม่เสถียร แก๊สไอระเหยและออกไซด์ของฟอสฟอรัสต่างๆที่เกิดขึ้น

4.2.1 ผลของชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อปริมาณเถ้าคาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิว

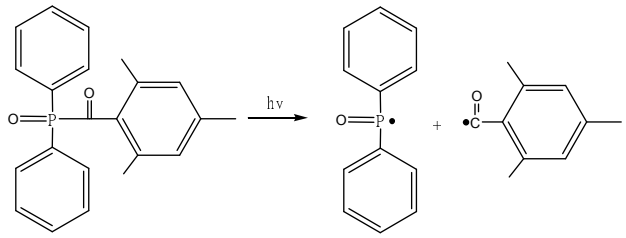
จากการเตรียมสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงในปริมาณเท่ากัน 3%โดยน้ำหนัก ทั้งชนิด 1173 และ TPO พบว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยาทั้งสองชนิดสามารถเตรียมฟิล์มสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสียูวีและให้การแห้งตัวของฟิล์มสารเคลือบผิวในระดับใกล้เคียงกัน เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงยูวีของเครื่องบ่มสารเคลือบผิวให้แสงยูวีในช่วงความยาวคลื่นกว้างครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นที่ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงทั้งสองชนิดดูดกลืนและ

สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (free radical) โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่ตำแหน่งของพันธะคู่ สารเคลือบผิวจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์และพันธะเชื่อมขวางเป็นโครงร่างตาขายภายในโครงสร้างของฟิล์มสารเคลือบผิว

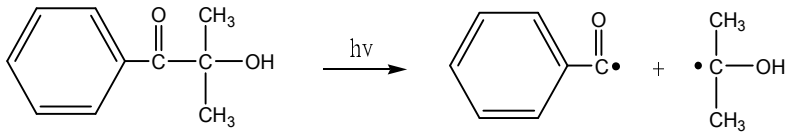
จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ต่างชนิดกันในปริมาณเท่ากัน พบว่าชนิดตัวริเริ่มปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 กล่าวคือสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยา TPO ซึ่งเป็นชนิดที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้เมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะยังคงเหลือเถ้าคาร์บอนในปริมาณมากกว่าฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยา 1173 เล็กน้อย ซึ่งตัวริเริ่ม 1173 เป็นชนิดที่ไม่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เนื่องจากฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO จะมีปริมาณฟอสฟอรัสซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟในระบบได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักมอนอเมอร์ของสารเคลือบผิวด้วย



รูปที่ 4.6 ปริมาณเถ้าคาร์บอนของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO (2,4,6-Trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphineoxide)



รูปที่ 4.8 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173 (2-Hydroxy-2-methyl-1-phenyl-propan-1-one)

4.3 การตกแต่งสำเร็จสารหน่วงไฟบนผ้าพอลิเอสเทอร์

จากการเตรียมสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีพบว่าสารเคลือบผิวหน่วงไฟสามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี จึงได้นำสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟของเหลว ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีที่ภาวะเดียวกับการบ่มสารเคลือบผิวหน่วงไฟ และศึกษาสมบัติหน่วงไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

ขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์เริ่มจากการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วไปจุ่มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เป็นของเหลวปริมาณ 6 กรัม แล้วนำผ้าพอลิเอสเทอร์ผ่านเข้าเครื่องบีบอัด โดยกำหนดที่ 60% wet pick up จากนั้นวางผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการบีบอัดบีบอัดวางลงบนแผ่นกระจก นำผ้าพอลิเอสเทอร์ผ่านเข้าไปในเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวีด้านละ 1 รอบ เพื่อให้เกิดการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟบนผ้าพอลิเอสเทอร์ทั้งสองด้าน หลังผ่านเครื่องบ่มด้วยรังสียูวีจะได้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีด้วยเทคนิค TGA

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีที่เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยทำการศึกษาตั้งแต่อุณหภูมิ 25 – 800 องศาเซลเซียส ภายใต้

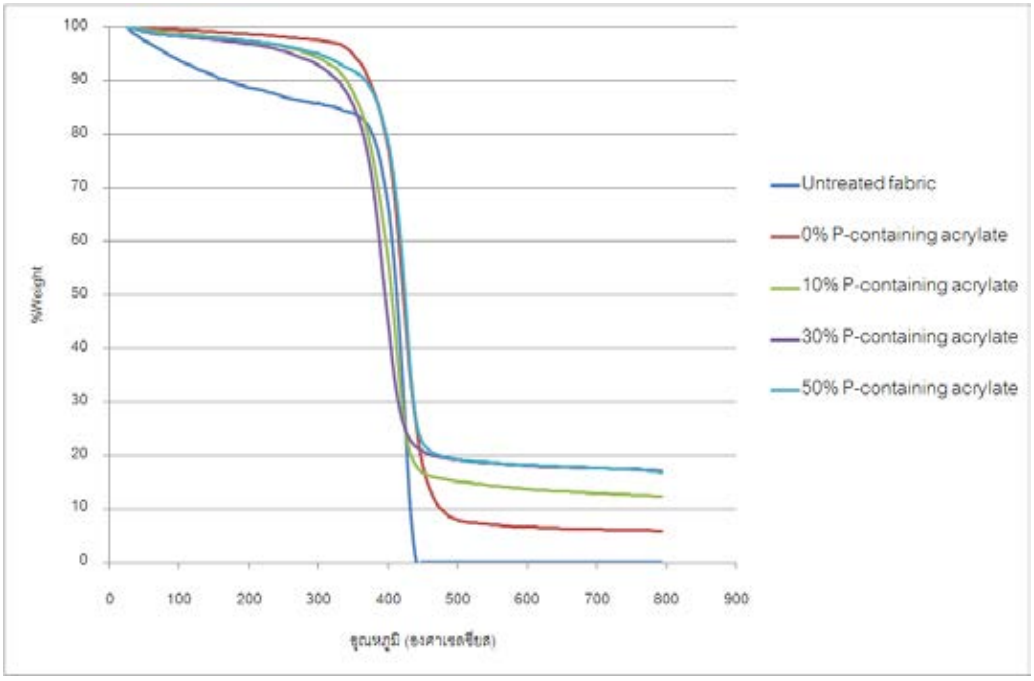
บรรยากาศไนโตรเจนเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ เพื่อศึกษาผลของฟิล์มสารเคลือบผิวต่อการสลายตัวของผ้าพอลิเอสเทอร์และปริมาณเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าพอลิเอสเทอร์ พบว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จและผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟจะมีอัตราการสลายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส โดยผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จจะเกิดการสลายตัวหมดอย่างรวดเร็วและไม่มีเถ้าคาร์บอนเกิดขึ้น ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทั้งชนิด 1173 และ TPO จะมีปริมาณเถ้าคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800 องศาเซลเซียส โดยปริมาณเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่ใช้ตกแต่งสำเร็จ สูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟมีปริมาณ P-containing acrylate มากจะส่งผลให้เกิดเถ้าคาร์บอนปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งเถ้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นชั้นปกคลุมพื้นผิวของสารตัวอย่างไม่ให้สัมผัสกับความร้อนและต้านการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงต่อไปได้ ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงทั้งชนิด 1173 และ TPO จะมีเถ้าคาร์บอนที่อุณหภูมิสุดท้าย 800 องศาเซลเซียส ในปริมาณใกล้เคียงกัน

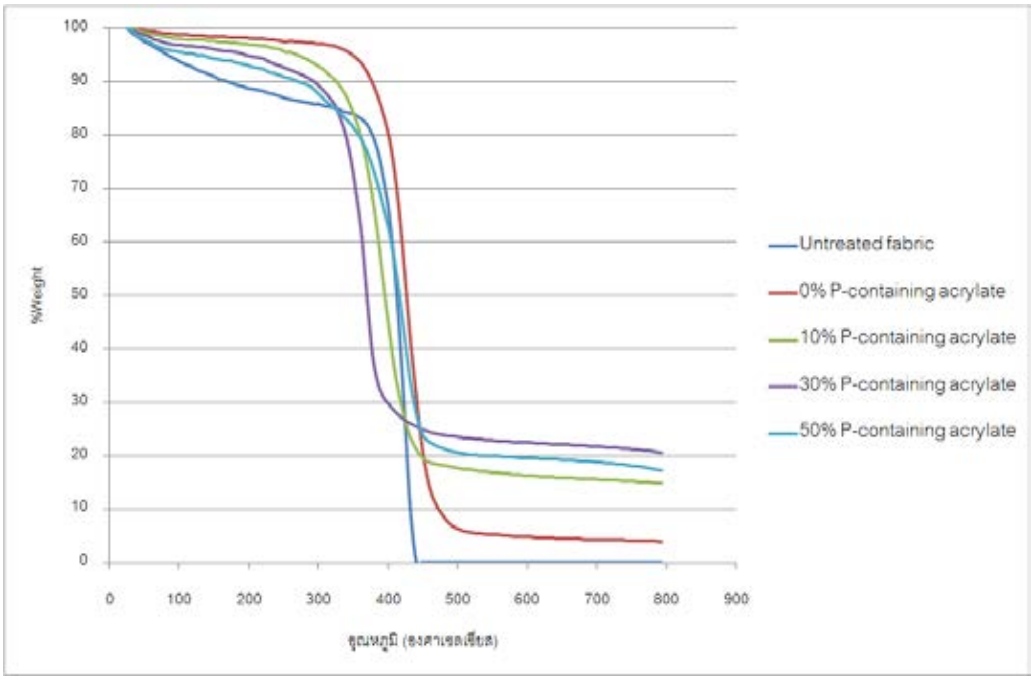
จากเทอร์โมแกรม TGA ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงทั้งชนิด 1173 และ TPO จะสังเกตได้ว่าในช่วงอุณหภูมิก่อน 350 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารตัวอย่างลดลง โดยผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจะมีอัตราการสลายตัวน้อยกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง

เนื่องจากฟิล์มสารเคลือบผิวบนผ้ามีผลต่อสมบัติทางความร้อนโดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิว 0%P-containing acrylate จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสารลดลงเล็กน้อย เนื่องจากฟิล์มสารเคลือบผิวสูตรดังกล่าวจะมีความแข็งตึงสูง ทำให้มีอุณหภูมิของการเริ่มสลายตัวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตร 0%P-containing acrylate มีค่าสูงเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่มีปริมาณ P-containing acrylateที่ 10%, 30% และ 50%P-containing acrylate จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสารลดลงในช่วงอุณหภูมิก่อน 350 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน แต่อัตราการสลายตัวของสารจะน้อยกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ เนื่องจากผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิวเหล่านี้จะมีปริมาณฟอสฟอรัส ซึ่งจะเกิดการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 160 - 270 องศาเซลเซียส และเกิดเถ้าคาร์บอนในช่วงอุณหภูมิ 270 – 350 องศาเซลเซียส จากการสลายตัวของสารฟอสฟอรัสในฟิล์มสารเคลือบผิวจะได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กรดฟอสฟอริกและพอลิฟอสฟอริก ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะไปกระตุ้นทำให้เกิดเถ้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นและสามารถปกคลุมพื้นผิวของสารตัวอย่างให้ห่างออกจากความร้อนได้ ทำให้อัตราการสลายตัวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรดังกล่าวในช่วงอุณหภูมิก่อน 350 องศาเซลเซียสช้าลง ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟพบว่าให้ผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวหน่วงไฟด้วยเทคนิค TGA ที่ได้ทำการศึกษาไปก่อนหน้านี้



รูปที่ 4.9 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173



รูปที่ 4.10 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO

4.3.2 การทดสอบหาค่า LOI (Limiting Oxygen Index)

การทดสอบความสามารถในการติดไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์สามารถทำได้โดยการใช้เครื่อง Limiting Oxygen Indexer โดยการปรับปริมาณของแก๊สออกซิเจนที่ต้องการใช้ในทดสอบการติดไฟของวัสดุ ซึ่งค่า LOI (Limiting Oxygen Index) ที่ได้จากการทดสอบจะบ่งบอกถึงปริมาณของออกซิเจนต่ำสุดที่จะทำให้วัสดุเกิดการลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปวัสดุที่มีความสามารถในการติดไฟยากจะมีค่า LOI สูงกว่า 21% เนื่องจากในชั้นบรรยากาศของพื้นผิวโลกจะมีปริมาณของแก๊สออกซิเจนประมาณ 21% ซึ่งวัสดุที่มีค่า LOI สูงกว่า 21% จะไม่สามารถติดไฟและเกิดการลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่องในบรรยากาศ ดังนั้นผ้าที่มีสมบัติการหน่วงไฟที่ดีควรมีค่า LOI มากกว่า 21%

ในการทดลองนี้ได้นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีทั้งก่อนซักและหลังซักไปทดสอบหาค่า %LOI ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ผลการทดสอบ หาค่า LOI และ %add-on ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า %LOI ก่อนซักและหลังซักของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ สารเคลือบผิวหน่วงไฟทั้งก่อนซักและหลังซัก

สูตรสารเคลือบผิว	ก่อนซัก		หลังซัก	
	%add-on	%LOI	%add-on	%LOI
ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง	0.00	21.0	0.00	ไม่ได้ทดสอบ
0%P-containing acrylate+1173	54.43	18.5	49.42	18.7
10%P-containing acrylate+1173	48.34	21.6	43.56	21.2
30%P-containing acrylate+1173	49.78	25.4	34.98	22.0
50%P-containing acrylate+1173	53.95	26.4	24.21	22.8
0%P-containing acrylate+TPO	55.63	18.9	47.08	18.8
10%P-containing acrylate+TPO	54.13	22.7	52.95	21.5
30%P-containing acrylate+TPO	50.82	24.7	47.93	23.0
50%P-containing acrylate+TPO	53.98	27.0	29.10	23.4

จากผลการทดสอบหาค่า LOI พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่มีปริมาณ P-containing acrylate ที่ 10%, 30% และ 50% จะมีค่า %LOI สูงขึ้นตามลำดับเมื่อเทียบกับการผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้

ผ่านการตกแต่งสำเร็จทั้งก่อนและหลังซัก เมื่อสารเคลือบผิวที่ใช้ตกแต่งสำเร็จมีปริมาณ P-conatining acrylate มากขึ้นจะส่งผลให้ค่า %LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์มีค่าสูงขึ้นซึ่งหมายความว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟจะมีความสามารถในการติดไฟยากขึ้นและมีสมบัติการหน่วงไฟที่ดี

สมบัติของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านตกแต่งสำเร็จจะขึ้นกับสูตรสารเคลือบผิวที่นำไปใช้ตกแต่งสำเร็จ ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสูตรสารหน่วงไฟด้วยสูตร 0%P-containing acrylate จะมีค่า %LOI น้อยกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ เนื่องจากสารเคลือบผิวสูตรดังกล่าวไม่มีสารฟอสฟอรัสที่ทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟในระบบ นอกจากนี้องค์ประกอบของฟิล์มสารเคลือบผิวสูตร 0%P-containing acrylate จะประกอบไปด้วยสายโซ่คาร์บอนซึ่งจัดเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่จะสลายตัวให้ความร้อนและเกิดการลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อเกิดการเผาไหม้ฟิล์มสารเคลือบผิวบนผ้านี้จะช่วยทำให้ผ้าลุกติดไฟดีขึ้นและส่งผลให้ค่า %LOI ลดลง

เมื่อนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟไปผ่านการซัก 1 ครั้ง ด้วยเครื่องซักอัตโนมัติ (gyrowasher) เป็นเวลานาน 30 นาที และนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปทดสอบหาค่า LOI พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการซักจะมีค่า %LOI ลดลงเมื่อเทียบกับค่า %LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์ก่อนซัก สมบัติการหน่วงไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์หลังซักลดลงเนื่องจากมีการหลุดออกของปริมาณสารเคมีหรือฟิล์มสารเคลือบผิวบนผ้า (%add-on) ซึ่งสังเกตได้จากการที่ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการซักจะมีค่า %add-on ลดลง โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่มีปริมาณ P-containing acrylate มากจะส่งผลทำให้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่เกิดขึ้นจากการบ่มด้วยรังสียูวีมีความแข็งตึงน้อยและมีการยึดเกาะบนผ้าได้ไม่ดี ทำให้สารเคลือบผิวหลุดออกจากผ้าปริมาณมากเมื่อนำไปผ่านการซัก

ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิว 50%P-containing acrylate +TPO จะให้ค่า LOI สูงถึง 27.0% โดยมีค่า add-on ก่อนซักเท่ากับ 53.98% และเมื่อนำไปผ่านการซัก 1 ครั้ง พบว่าปริมาณสารเคมีบนผ้าหลุดออกเหลือค่า %add-on เท่ากับ 29.10 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารเคมีบนผ้ายังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสมากเพียงพอทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ติดไฟได้ยากขึ้น โดยมีค่า %LOI หลังซักเท่ากับ 23.4% ซึ่งยังคงมีค่าสูงกว่าค่า %LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟที่มีค่าเท่ากับ 21.0% แต่สำหรับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิว 0%P-containing acrylate จะมีค่า %add-on สูงทั้งก่อนและหลังซักใกล้เคียงกัน แต่สารเคลือบผิวของสูตรดังกล่าวประกอบด้วยสายโซ่คาร์บอนเป็นส่วนใหญ่และไม่มีสารฟอสฟอรัสที่ทำหน้าที่ช่วยในการหน่วงไฟ เมื่อเกิดการเผาไหม้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จติดไฟได้ง่ายขึ้นส่งผลให้ค่า %LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิว 0%P-containing acrylate มีค่าน้อยกว่าค่า LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าความสามารถการติดไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จและการคงอยู่ของสารเคมีบนผ้า (%add on)

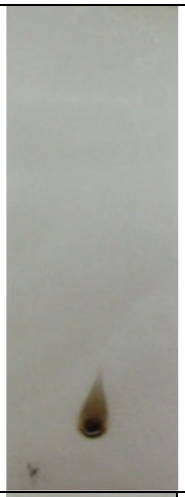
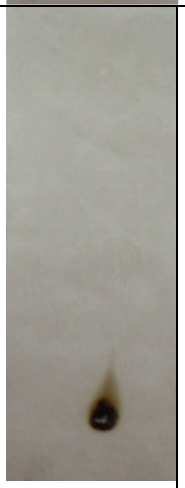
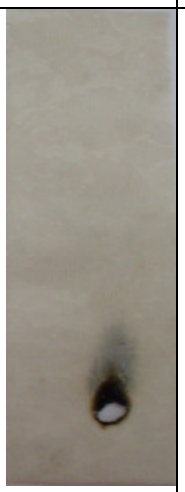
4.3.3 ศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศาและการหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์

การทดสอบความสามารถในการติดไฟนอกจากการทดสอบหาค่า LOI แล้วยังมีวิธีทดสอบความสามารถในการติดไฟอีกหลายวิธี ซึ่งวิธีการทดสอบแต่ละวิธีจะแตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะผลิตภัณฑ์ของสิ่งทอนั้นๆ เช่น สิ่งทอสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่ม เคหะสิ่งทอ และชุดป้องกันความร้อน โดยวิธีทดสอบการติดไฟของสิ่งทอตามมาตรฐานต่างๆ มักจะมีข้อแตกต่างกันในเรื่องของแหล่งจุดไฟ (ignition source) เชื้อเพลิง (fuel) และเวลาที่ใช้จ่อไฟที่ชิ้นทดสอบ (flame application time)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องทดสอบ Atlas 45° Automatic Flammability Tester เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาและการหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟทั้งก่อนและหลังซักเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้แก๊สบิวเทนเป็นเชื้อเพลิงในการจุดไฟให้มีเปลวไฟขนาดเล็ก และนำเปลวไฟไปจ่อที่บริเวณบนพื้นผิวเหนือปลายผ้าด้านล่างประมาณ 19 มิลลิเมตร เป็นเวลานาน 5 วินาที และสังเกตพฤติกรรมการติดไฟของผ้าพอลิเอสเทอร์ จดบันทึกลักษณะของการลุกลามไฟ สีและปริมาณของควัน รวมไปถึงจำนวนครั้งการหลอมหยดของผ้าพอลิเอสเทอร์ระหว่างทำการทดสอบ ผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวีทั้งก่อนซักและหลังซัก ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

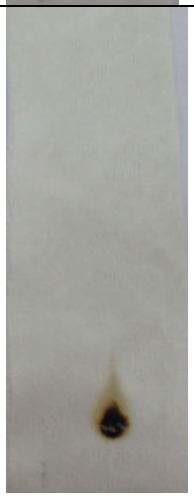
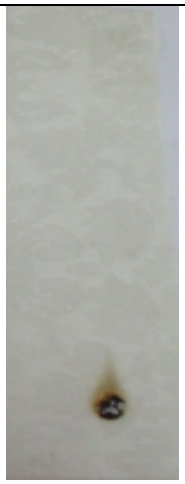
ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด 1173 ทั้งก่อนและหลังซัก

สูตร	ก่อนซัก		หลังซัก	
	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
ผ้าเปล่า	ผ้าลุกติดไฟทันทีมีเขม่าควันสีดำ จำนวนหลอมหยด 3-4 ครั้ง ผ้าสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 26 วินาที		ผ้าลุกติดไฟทันทีมีเขม่าควันสีดำ จำนวนหลอมหยด 3-4 ครั้ง ผ้าสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 30 วินาที	
0%P-containing acrylate+1173	ผ้าไม่ลุกติดไฟหลังจ่อเปลวไฟเป็นเวลานาน 5 วินาที		ผ้ามีการลุกไหม้ทั่วทั้งผืน เกิดเขม่าควันสีดำ ลักษณะการลามไฟในช่วงแรกจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเกิดการลามไฟอย่างรวดเร็วขึ้นในภายหลัง ไม่มีการหลอมหยด	

10% P-containing acrylate+1173	ผ้าไม่ลุกติดไฟหลังจ่อเปลวไฟเป็นเวลานาน 5 วินาที		ผ้ามีการลุกไหม้ทั่วทั้งผืน เกิดเขม่าควันสีดำ ไม่มีการหลอมหยดเกิดขึ้นและมีปริมาณเถ้าคาร์บอนเกิดขึ้นปริมาณมาก	
30% P-containing acrylate+1173	ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 2 วินาที หลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออก มีเขม่าควันดำเกิดขึ้นเล็กน้อย		ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 19 วินาทีหลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออก ไม่มีการหลอมหยด	
50% P-containing acrylate+1173	ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 3 วินาที หลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออก มีเขม่าควันดำเกิดขึ้นเล็กน้อย		ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 5 วินาทีหลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออก ไม่มีการหลอมหยดเกิดขึ้น	

ตารางที่ 4.3 พฤติกรรมลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด TPO ทั้งก่อนและหลังซัก

สูตร	ก่อนซัก		หลังซัก	
	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
ผ้าเปล่า	ผ้าลุกติดไฟทันทีมีเขม่าควันสีดำ จำนวนหลอมหยด 3-4 ครั้ง ผ้าสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 26 วินาที		ผ้าลุกติดไฟทันทีมีเขม่าควันสีดำ จำนวนหลอมหยด 3-4 ครั้ง ผ้าสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 30 วินาที	
0%P-containing acrylate +TPO	ผ้าไม่ลุกติดไฟหลังจ่อเปลวไฟเป็นเวลานาน 5 วินาที		ผ้าติดไฟและมีการลามไฟในอัตราที่ช้า เกิดเขม่าควันสีดำ ไม่มีการหลอมหยดเกิดขึ้น	

10% P-containing acrylate+TPO	ผ้าไม่ลุกติดไฟหลังจ่อเปลวไฟเป็นเวลานาน 5 วินาที		ผ้ามีการลุกไหม้ทั่วทั้งผืน เกิดเขม่าควันสีดำ ไม่มีการหลอมหยดเกิดขึ้นและมีปริมาณเถ้าคาร์บอนเกิดขึ้นปริมาณมาก	
30% P-containing acrylate+TPO	ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 2 วินาที หลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออก มีเขม่าควันดำเกิดขึ้นเล็กน้อย		ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 14วินาที หลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออกไม่มีการหลอมหยดเกิดขึ้น	
50% P-containing acrylate+TPO	ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 1 วินาที หลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออก มีเขม่าควันดำเกิดขึ้นเล็กน้อย		ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 5 วินาที หลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อออกไม่มีการหลอมหยดเกิดขึ้น	

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟจะลุกติดไฟทันทีหลังจากจ่อเปลวไฟที่บริเวณบนพื้นผิวหน้าผ้าเป็นเวลานาน 5 วินาที มีควันเขม่าสีดำปริมาณมาก และมีจำนวนการหลอมหยด 3 – 4 ครั้ง ซึ่งผ้าพอลิเอสเทอร์นิยมนำมาใช้เครื่องนุ่งห่ม และเคหะสิ่งทอ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงสมบัติหน่วงไฟแก่ผ้าพอลิเอสเทอร์เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้

ในการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา โดยการจุดไฟและจ่อเปลวไฟที่บริเวณบนพื้นผิวหน้าผ้าเป็นเวลา 5 วินาที พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 0%P-containing acrylate และ 10%P-containing acrylate ที่เตรียมได้จากตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงทั้งชนิด 1173 และ TPO ก่อนการนำไปซัก เมื่อนำไปทดสอบการเผาไหม้พบว่าไม่เกิดการลุกไหม้ เนื่องจากผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 0%P-containing acrylate และ 10%P-containing acrylate จะมีความแข็งกระด้างมากซึ่งเป็นผลมาจาก องค์ประกอบในสูตรสารเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของ TMPTA มาก ทำให้ชั้นฟิล์มสารเคลือบผิวที่เกิดขึ้นปกคลุมพื้นผิวของเส้นใยอย่างหนาแน่น โดยความร้อนจากการจ่อเปลวไฟเป็นเวลา 5 นาที ไม่เพียงพอที่จะทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์เกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ สำหรับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 30% และ 50%P-containing acrylate ก่อนการนำไปซัก พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการ ตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟมีรอยไหม้ลักษณะเป็นรูขนาดเล็ก สามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองและไม่เกิดการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา

เมื่อนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟไปผ่านการซัก 1 ครั้ง พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่มีปริมาณ P-containing acrylate ที่ 0% และ 10% เกิดการลุกติดไฟและไหม้ทั่วทั้ง

ผืนผ้าอาจเนื่องมาจากเกิดการหลุดออกของฟิล์มสารเคลือบผิวที่บริเวณผิวผ้าเมื่อผ่านการซักและสารเคลือบผิวมีปริมาณสารฟอสฟอรัสไม่มากเพียงพอต่อการกระตุ้นให้เกิดเถ้าคาร์บอนปกคลุมพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเทอร์เพื่อต้านการลุกลามของเปลวไฟ

สำหรับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่มีปริมาณ P-containing acrylate ที่ 30% และ 50% เมื่อผ่านการซัก 1 ครั้งและนำไปทดสอบพฤติกรรมการเผาไหม้ พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ลุกติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองทันทีหลังจากเอาเปลวไฟที่จ่อบริเวณผิวหน้าผ้าออกและมีพื้นที่รอยการลุกไหม้เป็นจุดวงกลมเล็กๆ ซึ่งผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา สอดคล้องกันกับผลการทดสอบหาค่า LOI ข้างต้น

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ผลการทดสอบหาค่า LOI และผลการศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟก่อนและหลังซัก พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่มีปริมาณ P-conataining acrylate ที่ 50% และตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น TPO จะให้สมบัติการหน่วงไฟดีที่สุด ซึ่งจะนำสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟสูตรนี้ไปใช้ตกแต่งสำเร็จร่วมกับการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำเพื่อให้ผ้าพอลิเอสเทอร์มีสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำในผืนผ้าเดียวกันต่อไป

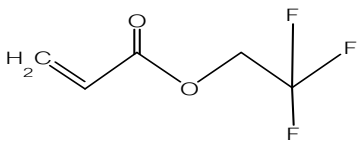
4.4 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอให้มีสมบัติสะท้อนน้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้การดูแลรักษาความสะอาดของผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้นสามารถกระทำได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเปียกสูงและมีขั้นตอนในการซักทำความสะอาดที่ยุ่งยาก ได้แก่ ผ้าปูโต๊ะ ผ้าม่าน ผ้าหุ้มเบาะ ฟูก หมอน และเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากสิ่งทอต่างๆ เป็นต้น โดยมีจุดประสงค์ต้องการที่จะไม่ให้

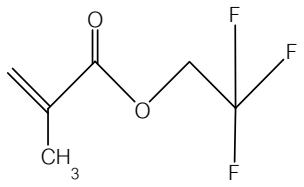
ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเหล่านั้นเปียกน้ำหรือเปื้อนคราบสกปรกที่มากับน้ำ โดยการตกแต่งสำเร็จอาจจะทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านผ้าได้หรือชะลอการซึมผ่านผิวผ้า ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะของสารที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จและวิธีการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ

การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำสามารถทำได้หลายวิธีทั้งทางกายภาพและทางเคมี ในทางกายภาพสามารถทำได้โดยการดัดแปรพื้นผิวของเส้นใยให้มีความขรุขระซึ่งจะมีหลักการคล้ายกับปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว สำหรับการตกแต่งสิ่งทอสะท้อนน้ำโดยใช้สารเคมีจะเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ตกแต่งสำเร็จกับผ้าได้หลากหลายชนิด โดยประสิทธิภาพของสมบัติสะท้อนน้ำของวิธีการตกแต่งสำเร็จนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารตกแต่งสำเร็จและการยึดเกาะของสารตกแต่งสำเร็จบนผิวผ้า สารประกอบฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำให้กับสิ่งทอ โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนจะมีค่าพลังงานพื้นผิวผ้าลดต่ำลง เมื่อหยดของเหลวหรือน้ำที่มีค่าแรงตึงผิวสูงกว่าค่าพลังงานพื้นผิวของผ้าลงบนผ้าน้ำจะไม่สามารถแผ่กระจายเปียกทั่วผืนผ้าได้และสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้าได้ด้วย สมบัติการสะท้อนน้ำนอกจากจะขึ้นอยู่กับสารเคมีที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จแล้ว สมบัติการสะท้อนน้ำยังขึ้นอยู่กับสมบัติของเส้นใยและลายของผ้าที่จะนำมาผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ ซึ่งเตรียมได้จากการผสมยูรีเทนอะคริเลตกับฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ โดยฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ที่นำมาศึกษามี 2 ชนิด ได้แก่ 2,2,2-ไตรฟลูออโรเอทิล อะคริเลต(TFEA) และ 2,2,2-ไตรฟลูออโรเอทิลเมทาอะคริเลต (TFEMA) โครงสร้างของฟลูออริเนตเตดทั้ง 2 ชนิดจะประกอบด้วยสายโซ่ C-F จำนวน 1 อะตอมคาร์บอน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนชนิดสายโซ่สั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 โครงสร้างฟลูออริเนตเตด มอนอเมอร์ชนิด TFEA



รูปที่ 4.12 โครงสร้างฟลูออริเนตเตด มอนอเมอร์ชนิด TFEMA

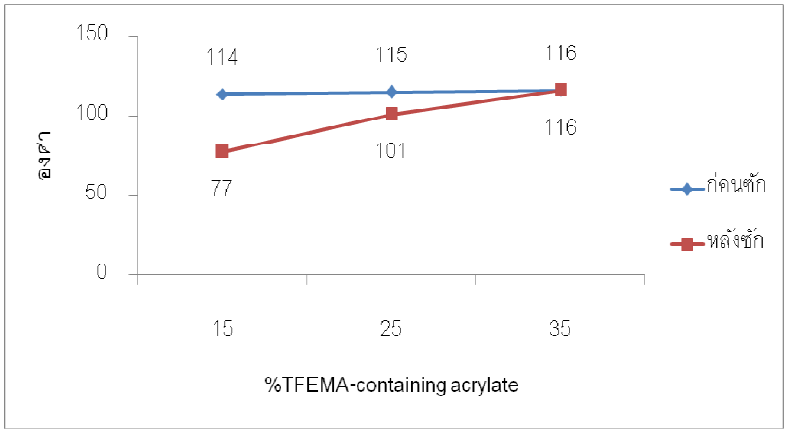
นำสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ไปใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี เริ่มจากการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปจุ่มสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่เป็นของเหลวปริมาณ 6 กรัมและผ่านเครื่องบีบอัด กำหนด 60% wet pick up วางผ้าที่ผ่านเครื่องบีบอัดแล้วลงบนแผ่นกระจก จากนั้นนำแผ่นกระจกที่มีผ้าพอลิเอสเทอร์วางอยู่ด้านบนในลักษณะแนวราบผ่านเข้าไปในเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี โดยผ่านด้านละ 1 รอบ เพื่อให้เกิดการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำบนผ้าทั้งสองด้าน เมื่อนำผ้าพอลิเอสเทอร์ออกจากเครื่องบ่มรังสียูวีจะได้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำเรียบร้อยแล้ว นำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อเตรียมสำหรับการนำไปทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำต่อไป

4.4.1 การหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ

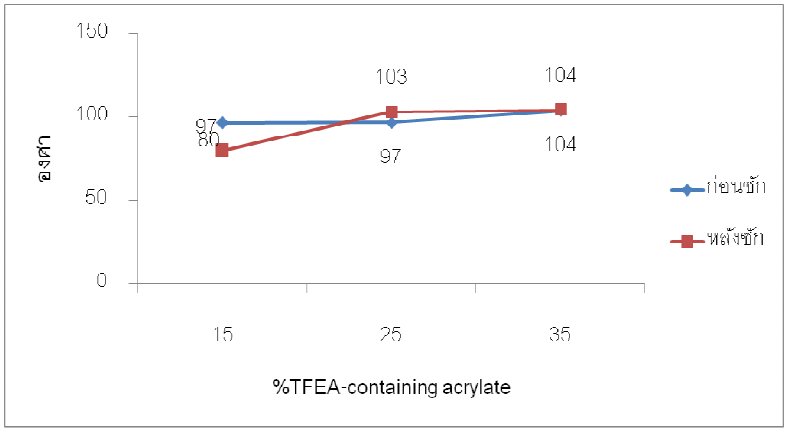
การหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนพื้นผิววัสดุเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้เป็นเกณฑ์เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของวัสดุนั้นๆ ทางด้านสิ่งทอผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำจะมีค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าสูงกว่า 90 องศา เมื่อหยดน้ำลงบนผิวผ้า หยดน้ำจะไม่ซึมผ่านผ้าทันทีโดยจะคงเป็นรูปร่างหยดน้ำ ซึ่งหยดน้ำจะทำมุมสัมผัสกับผ้าที่องศาต่างๆ โดยค่ามุมสัมผัสจะขึ้นกับความสามารถในการสะท้อนน้ำของผ้านั้นๆ โดยผ้าที่มีความสามารถการสะท้อนน้ำที่ดีจะให้ค่ามุมสัมผัสที่ มีค่าสูงและหยดน้ำจะสามารถคงอยู่บนผ้าได้เป็นเวลานาน

ในการทดสอบหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าสามารถทำได้ด้วยการใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส (contact angle meter) โดยใช้หลอดฉีดยาหยดน้ำกลั่นปริมาตร 5 ไมโครลิตร หยดลงบนผิวผ้า ผ้าที่มีสมบัติสะท้อนน้ำจะมีการคงอยู่ของหยดน้ำบนผ้า จากนั้นทำการอ่านค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าหลังจากเวลาผ่านไป 20 วินาที ได้จากฉากโปรแทคเตอร์ ถ้าหยดน้ำซึมหายไปก่อนเวลา 20 วินาทีจะถือว่าผ้านั้นไม่มีสมบัติการสะท้อนน้ำ

ในงานวิจัยนี้ได้นำผ้าพอลิเอสเทอร์ทั้งผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีไปทดสอบมุมสัมผัสน้ำก่อนและหลังซักด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (contact angle meter) โดยใช้หยดน้ำกลั่นปริมาตร 5 ไมโครลิตร หยดลงบนพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ ผลการอ่านค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEMA ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และผลการอ่านค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ค่ามุมสัมผัสน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคบ่มสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากมอนอเมอร์ชนิด TFEMA



รูปที่ 4.14 ค่ามุมสัมผัสน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคบ่มสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากมอนอเมอร์ชนิด TFEA

ปัจจุบันผ้าพอลิเอสเทอร์เป็นที่นิยมนำมาใช้ผลิตเคหะสิ่งทอจำนวนมาก ได้แก่ ผ้าหุ้มเบาะ หมอน ฟูก ผ้าม่าน และชิ้นส่วนของเฟอร์นิเจอร์ต่างๆภายในบ้าน เป็นต้น ดังนั้นการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอพอลิเอสเทอร์จึงมีความสำคัญในการช่วยทำให้การดูแลรักษาความสะอาดผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้นสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้นเพื่อประหยัดเวลาและพลังงานในการซักล้างเมื่อเปื้อนคราบน้ำสกปรก งานวิจัยนี้จึงได้นำผ้าพอลิเอสเทอร์ลายทอแจ็กการ์ดมาศึกษาสมบัติสะท้อนน้ำด้วยการทดสอบหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าพอลิเอสเทอร์ พบว่าเมื่อทำการหยดน้ำลงบนผิวผ้า หยดน้ำจะซึมผ่านผิวผ้าได้ทันที เนื่องจากผ้าพอลิเอสเทอร์นี้ยังไม่มีสมบัติสะท้อนน้ำ จึงได้นำผ้าพอลิเอสเทอร์ลายทอแจ็คการ์ดนี้ไปตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวี และศึกษาสมบัติสะท้อนน้ำของผ้าหลังผ่านการตกแต่งสำเร็จ

จากผลการทดสอบหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่เตรียมได้จากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ทั้งชนิด TFEMA และชนิด TFEA พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จก่อนนำไปซักจะมีค่ามุมสัมผัสสูงกว่า 90 องศา ผ้ามีสมบัติการสะท้อนน้ำเกิดขึ้น โดยปริมาณฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์จะมีผลต่อค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ เมื่อสารเคลือบผิวมีปริมาณฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ผ้าพอลิเอสเทอร์จะมีค่ามุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคลือบผิวมีปริมาณฟลูออโรคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยสารฟลูออโรคาร์บอนจะจัดเรียงตัวที่พื้นผิวเส้นใยทำให้ผิวของเส้นใยมีค่าพลังงานพื้นผิวลดต่ำลงกว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเกิดสมบัติการสะท้อนน้ำขึ้น

หลังจากการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำไปซัก 1 ครั้ง แล้วทำการหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าพบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์จะมีค่ามุมสัมผัสน้ำลดลงเมื่อเทียบกับค่ามุมสัมผัสของผ้าพอลิเอสเทอร์ก่อนการนำไปซัก เนื่องจากการหลุดออกของสารเคลือบผิวบนผ้า ทำให้สารฟลูออโรคาร์บอนบนผิวผ้าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจึงลดน้อยลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่มีฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ผสมอยู่ 25% และ 35% จะยังคงให้ค่ามุมสัมผัสน้ำสูงกว่า 90 องศา แม้ว่าจะผ่านการซักมาแล้ว 1 ครั้ง ซึ่งแสดงว่าสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำสูตรดังกล่าวสามารถใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำได้

4.4.2 การตรวจสอบระยะเวลาของหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า

ในการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำนอกจากการวัดค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าแล้วยังสามารถทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำด้วยการตรวจสอบระยะเวลาการซึมผ่านของหยด

น้ำบนผิวผ้า โดยระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้าจะบ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนน้ำของผ้า ผ้าที่มีสมบัติสะท้อนน้ำจะสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้าได้ โดยมีระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้าเป็นเวลานาน

ขั้นตอนการทดสอบระยะเวลาน้ำซึมบนผ้าสามารถทำได้โดยการนำผ้าที่ต้องการจะทดสอบวางบนพื้นราบและหยดน้ำในปริมาตรที่เท่ากันลงบนพื้นผ้า ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มหยดน้ำลงบนผิวผ้าจนกระทั่งหยดน้ำนั้นซึมผ่านผิวผ้าหมด แล้วจดบันทึกระยะเวลาที่หยดน้ำซึมผ่านผิวผ้าจนหมด ในการทดลองนี้ได้มีการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงยูวีทั้งก่อนและหลังซักไปตรวจสอบระยะเวลาที่หยดน้ำซึมผ่านผิวผ้าเพื่อทดสอบความสามารถการสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ ผลการทดสอบระยะเวลาที่หยดน้ำซึมลงบนผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำทั้งก่อนและหลังการซักดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาที่หยดน้ำซึมบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำก่อนและหลังซัก

สูตรสารเคลือบผิว	ก่อนซัก		หลังซัก	
	%add-on	ระยะเวลาน้ำซึม (นาที)	%add-on	ระยะเวลาน้ำซึม (นาที)
15%TFEMA-containing acrylate	26.63	43.51	24.09	6.22
25%TFEMA-containing acrylate	26.76	47.11	22.21	6.20
35%TFEMA-containing acrylate	31.05	60.28	27.79	7.12
15%TFEA-containing acrylate	25.14	2.13	22.25	≈ 30 วินาที
25%TFEA-containing acrylate	26.74	3.65	23.66	≈ 30 วินาที
35%TFEA-containing acrylate	25.68	5.26	24.97	≈ 30 วินาที

จากผลการทดสอบการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่าน การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี พบว่า ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ จากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ทั้งชนิด TFEMA และ TFEA ก่อนนำไปซักจะสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้าได้

ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ สะท้อนน้ำด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมจากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ด้วยชนิด TFEMA จะมีระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้านานกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมจากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ด้วยชนิด TFEA เนื่องจากฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA มีค่าจุดเดือดเท่ากับ 72.4 องศาเซลเซียสซึ่งค่าจุดเดือดจะต่ำกว่าจุดเดือดของฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEMA ซึ่งมีค่าเท่ากับ 107 องศาเซลเซียส เมื่อนำฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA ไปใช้ตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวี เทคนิคนี้จะมีความร้อนสะสมภายในเครื่องบ่มรังสียูวี ฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA จะมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำกว่าฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEMA โดยฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA จะเกิดการระเหยของสารกลายเป็นไอระหว่างการบ่มสารเคลือบผิวภายในเครื่องบ่มรังสียูวีได้มากกว่าจึงทำให้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์น้อยลง ทำให้ระยะเวลาที่หยดน้ำซึมผ่านผิวผ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวที่มีฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEA จึงมีค่าสั้นกว่าระยะเวลาที่หยดน้ำซึมผ่านผิวผ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวที่มีฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEMA นอกจากนี้โครงสร้างของฟลูออริเนตเตดชนิด TFEMA ที่ประกอบด้วยหมู่เมทิลีนภายในโครงสร้างจะช่วยทำให้สารฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิด TFEMA มีสมบัติไม่ชอบน้ำ(hydrophobic)

เมื่อนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำไปผ่านการซัก 1

ครั้ง พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ สะท้อนน้ำด้วยสูตรสารเคลือบผิวจะมีระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้าลดลงเนื่องจากเกิดการหลุดออกของสารเคลือบผิวจากผิวผ้า ทำให้สมบัติการสะท้อนน้ำลดลงและน้ำสามารถเปียกซึมผ่านผ้าได้เร็วขึ้น

ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีจะสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้าได้ โดยสาเหตุที่ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้าได้คาดว่าน่าจะเกิดจาก 2 สาเหตุหลัก โดยสาเหตุแรกจะเป็นผลมาจากสารเคลือบผิวที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จมีสายโซ่ฟลูออโรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสายโซ่ฟลูออโรคาร์บอนจะจัดเรียงตัวที่พื้นผิวของเส้นใย ทำให้พื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีค่าพลังงานพื้นผิวลดต่ำลง ทำให้น้ำที่มีค่าแรงตึงผิวสูงไม่สามารถเปียกพื้นผิวของผ้าได้ ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งเป็นผลมาจากเทคนิคการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำที่นำมาใช้ เนื่องจากเทคนิคนี้เป็นการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี สารเคลือบผิวของเหลวที่ผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งหรือแผ่นฟิล์ม ซึ่งแผ่นฟิล์มสารเคลือบผิวที่เกิดขึ้นจะปกคลุมพื้นผิวเส้นใยทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยของผิวผ้าน้อยลง ทำให้เกิดการชะลอของการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

จากผลการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าและตรวจสอบระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวี พบว่าการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีไม่สามารถให้สมบัติสะท้อนน้ำแก่ผ้าพอลิเอสเทอร์ได้ดีมากนัก เนื่องจากข้อจำกัดของมอนอเมอร์ฟลูออริเนตเตดที่นำมาใช้ศึกษาทั้งชนิด TFEMA และ TFEA ซึ่งมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีโครงสร้างของสายโซ่ข้างเคียงเป็นสายโซ่ฟลูออโรคาร์บอนสั้นจำนวน 1 อะตอมคาร์บอน จากงานวิจัยที่มีมาก่อนได้

ทำการศึกษาสารสะท้อนน้ำฟลูออโรคาร์บอน พบว่าสารฟลูออโรคาร์บอนที่มีสายโซ่สั้นจะให้สมบัติสะท้อนน้ำด้อยกว่าสารฟลูออโรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาว [5] โดยสารฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมนำมาใช้ตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำมักจะมีสายโซ่ C-F ที่มีความยาวมากกว่า 7 อะตอมคาร์บอน แต่เนื่องจากสารประกอบฟลูออโรคาร์บอนดังกล่าวเป็นสารอันตรายจึงไม่ได้มีการนำฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ชนิดที่มีสายโซ่ C-F ยาวมาทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

จากผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำในข้างต้นพบว่าสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำที่มีปริมาณ TFEMA 35% (35%TFEMA-containing acrylate) ให้สมบัติการสะท้อนน้ำแก่ผ้าพอลิเอสเทอร์ได้ดีที่สุด จึงได้ทำการคัดเลือกสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำสูตรดังกล่าวสำหรับนำไปใช้ตกแต่งสำเร็จร่วมกับการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ เพื่อให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำในผ้าผืนเดียวกัน

4.5 การตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยสารสะท้อนน้ำทางการค้าโดยใช้เทคนิคจุ่มอัด

เนื่องจากการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มด้วยรังสียูวีให้สมบัติสะท้อนน้ำได้ไม่ดีนัก จึงมีการนำสารสะท้อนน้ำทางการค้ามาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมบัติสะท้อนน้ำโดยการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนชนิดสายโซ่ C-F ยาว

ขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ เริ่มจากการนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปจุ่มลงในอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนที่ความเข้มข้น 40 กรัมต่อลิตร และนำผ้าเข้าสู่เครื่องบีบอัดที่กำหนดให้ได้ค่า %wet pick up เท่ากับ 60 จากนั้นนำผ้าพอลิเอสเทอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 นาที เพื่อไล่น้ำให้ระเหยไป และทำการอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 นาที เพื่อให้สารสะท้อนน้ำอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนผนึกลงบนผิวผ้า

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารสะท้อนน้ำทางการค้าด้วยเทคนิคจุ่มอัดไปทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำด้วยการหาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้าและตรวจสอบระยะเวลาการซึมผ่านหยดน้ำบนผิวผ้า ผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารสะท้อนน้ำทางการค้าด้วยวิธีจุ่มอัดพบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำให้สมบัติสะท้อนน้ำที่ดีทั้งก่อนและหลังซัก ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดก่อนซักและหลังซัก

ก่อนซัก			หลังซัก		
%add-on	ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)	ระยะเวลาหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้า (นาที)	%add-on	ค่ามุมสัมผัสน้ำ (องศา)	ระยะเวลาน้ำซึมบนผ้า (นาที)
4.7432	124	120	2.5704	120	97

ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดจะมีค่า %add-on ก่อนซักเท่ากับ 4.7432% และหลังซักค่า %add-on จะลดลงเหลือ 2.5704% เนื่องจากเกิดการหลุดออกของสารเคมีที่ใช้ตกแต่งสำเร็จ ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีนี้จะมีความแข็งกระด้างน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยวิธีบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี และจากผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดทั้งก่อนซักและหลังซัก พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดมีสมบัติการสะท้อนน้ำที่ดี โดยมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้าก่อนซักและหลังซักเท่ากับ 124 และ 120 องศา ตามลำดับ และสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำลงบนผิวผ้าได้เป็นเวลานานทั้งก่อนซักและหลังซัก เนื่องจากอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จจะเกิดเป็นฟิล์มอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนบางๆ เคลือบผิวของเส้นใยของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ ทำให้พื้นผิวเส้นใยมีค่าพลังงาน

พื้นผิวต่ำลง น้ำที่มีค่าแรงตึงผิวสูงจึงไม่สามารถเปียกพื้นผิวและซึมผ่านลงบนผิวผ้าได้ ทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์สามารถสะท้อนน้ำได้

4.6 การศึกษาอิทธิพลของการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำต่อสีของผ้า

ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวมักจะมีสีเปลี่ยนแปลงไปจากผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ กรณีที่เป็นผ้าขาว ความขาวอาจจะลดลง ส่วนกรณีที่เป็นผ้ามีสี สีของผ้าอาจซีดลงได้ ในการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอควรให้มีค่าความแตกต่างของสีก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จมีค่าน้อยที่สุดหรืออยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานยอมรับได้

ในการศึกษาอิทธิพลของการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำต่อสีของผ้า สามารถทำได้โดยการนำผ้าไปวัดสีด้วยเครื่องวัดสีแมคเบทรีแฟลกแตนซ์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Macbeth reflectance spectrophotometer) ซึ่งจะได้ค่าสีของผ้าตามระบบซีไออี (CIE) ออกมา ผลการทดสอบการวัดค่าความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จก่อนและหลังการซัก ดังแสดงในตารางที่ 4.6

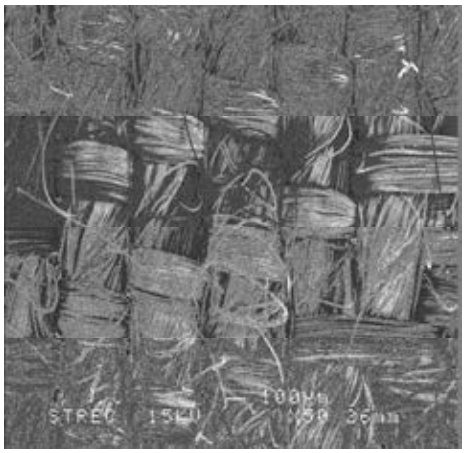
ตารางที่ 4.6 ความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จทั้งหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ

สูตรสารเคลือบผิว	ก่อนซัก	หลังซัก
	ดัชนีความขาว WI-CIE	ดัชนีความขาว WI-CIE
ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ	75.06	ไม่ได้ทดสอบ
0%P-containing acrylate+1173	47.12	50.33
10%P-containing acrylate+1173	57.08	65.22
30%P-containing acrylate+1173	52.73	72.90
50%P-containing acrylate+1173	43.68	67.33
0%P-containing acrylate+TPO	45.95	48.90
10%P-containing acrylate+TPO	54.43	56.96
30%P-containing acrylate+TPO	62.49	71.60
50%P-containing acrylate+TPO	51.38	68.06
15%TFEMA-containing acrylate	63.22	67.55
15%TFEMA-containing acrylate	54.06	58.21
15%TFEMA-containing acrylate	52.84	56.66
15%TFEMA-containing acrylate	60.67	60.34
15%TFEMA-containing acrylate	59.09	62.90
15%TFEMA-containing acrylate	55.46	58.49
ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยสารทางการค้าด้วยวิธีจุ่มอัด	70.96	71.11

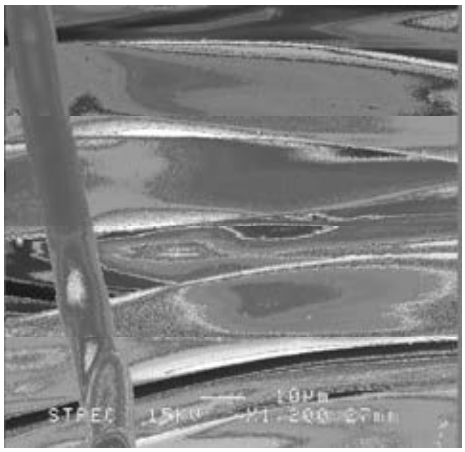
จากผลการทดสอบวัดความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จทั้งหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีจะมีความขาวลดลง เมื่อเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยสูตรสารเคลือบผิวที่มีปริมาณของมอนอเมอร์ VPA ในปริมาณมากจะมีความขาวลดลงมากหลังจากผ่านการตกแต่งสำเร็จ และผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำจะมีความขาวลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อปริมาณของฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากทั้งสูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟและสะท้อนน้ำที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีจะมีสีเหลืองใสอ่อนๆ เมื่อผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีจะได้ฟิล์มมีสีเหลืองใสอ่อนๆ ปกคลุมพื้นผิวของเส้นใย ส่งผลให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจะมีความขาวลดลง และเมื่อนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปผ่านการซัก 1 ครั้งพบว่าค่าความขาวจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหลุดออกของฟิล์มสารเคลือบผิวบนผิวผ้า แต่ยังคงน้อยกว่าความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ สำหรับการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำด้วยสารทางการค้าโดยการใช้เทคนิคจุ่มอัด พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจะมีความขาวลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความขาวของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

4.7 การศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

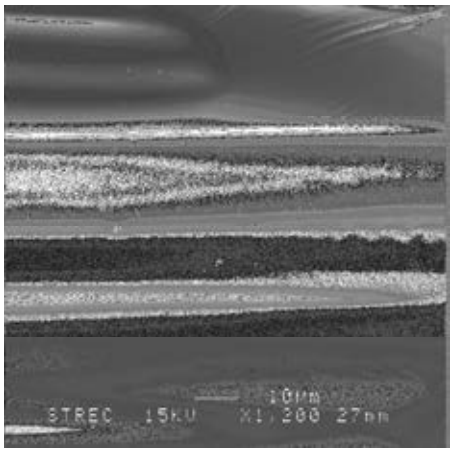
การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยสารเคลือบผิวโดยการใช้เทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวี สารเคลือบผิวที่ผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีจะเกิดเป็นชั้นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวเส้นใย โดยสามารถศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จได้ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนส่องกราด (SEM) ผลของการศึกษาลักษณะพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.15



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของผ้าพอลิเอสเทอร์

(ก) ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ (กำลังขยาย 50 เท่า)

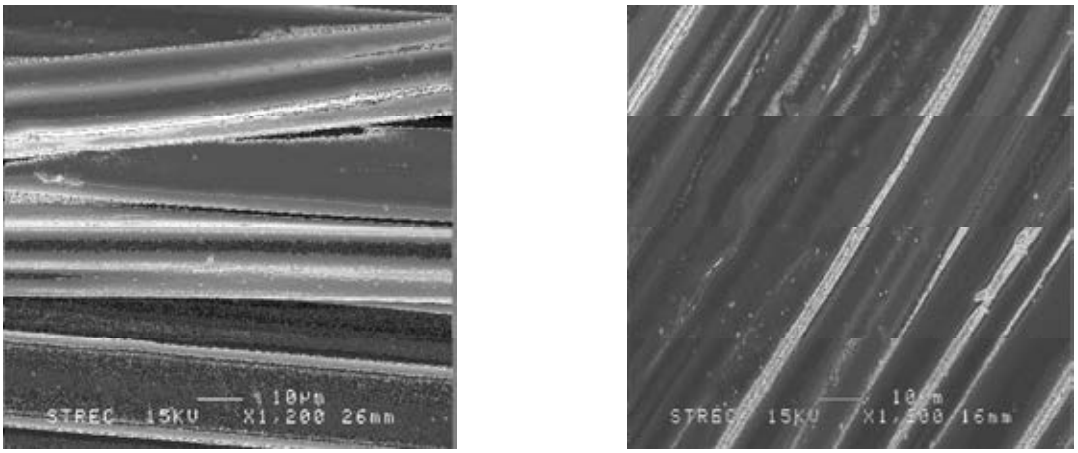
(ข) ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ (กำลังขยาย 1,200 เท่า)

(ค) ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคลือบผิวหน่วงไฟที่มีปริมาณ P-containing acrylate 50% และใช้สาร TPO เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (กำลังขยาย 1,200 เท่า)

จากผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่กำลังขยายภาพ 1,200 เท่า จะเห็นกลุ่มของเส้นใยพอลิเอสเทอร์เรียงตัวกัน โดยมีลักษณะเป็นเส้นใยทรงกลมและยาว ซึ่งจะมองเห็นแต่ละเส้นใยพอลิเอสเทอร์แยกกันอยู่ได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ภาพถ่าย SEM ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟที่มีปริมาณ P-containing acrylate 50% และใช้สาร TPO เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่กำลังขยายเท่ากันจะพบว่าที่บริเวณพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอสเทอร์จะมีชั้นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวเส้นใยรวมเข้าเป็นพื้นผิวเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถมองเห็นรูปร่างของเส้นใยพอลิเอสเทอร์แต่ละเส้นใยได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังได้นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำทั้งหมดไปศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใย พบว่าภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,200 เท่าของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำจะมีชั้นฟิล์มสารเคลือบผิวปกคลุมพื้นผิวเส้นใยเช่นเดียวกัน

จากผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนี้ ทำให้ทราบว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี สารเคลือบผิวที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จจะยึดเกาะบนผิวผ้าหลังผ่านการบ่มด้วยรังสียูวีอยู่ในรูปของฟิล์มสารเคลือบซึ่งจะมีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มปกคลุมทั่วพื้นผิวเส้นใย และจากการยึดเกาะของฟิล์มสารเคลือบผิวในลักษณะดังกล่าวจะทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีจะมีความแข็งกระด้างมากขึ้นตามน้ำหนักของฟิล์มสารเคลือบผิวบนผ้า

ในกรณีของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารสะท้อนน้ำอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนโดยใช้เทคนิคการจุ่มอัด เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนจะมีลักษณะต่างจากพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี ดังแสดงในรูปที่ 4.16



(ก) (ข)

รูปที่ 4.16 ภาพ SEM ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ (กำลังขยาย 1,200 เท่า)
(ก) ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัด
(ข) ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

จากผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสะท้อนน้ำทางการค้าโดยการใช้เทคนิคจุ่มอัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยายภาพ 1,200 เท่า พบว่าที่ผิวผ้าจะมีกลุ่มของเส้นใยพอลิเอสเทอร์เรียงตัวกันและยังคงมองเห็นรูปร่างของเส้นใยพอลิเอสเทอร์แต่ละเส้นแยกกันอยู่ได้อย่างชัดเจน ต่างจากภาพถ่าย SEM ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี ซึ่งจะมีลักษณะชั้นฟิล์มสารเคลือบผิวปกคลุมเส้นใยรวมเข้าด้วยกัน โดยชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นจะสามารถช่วยกันน้ำหรือชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้าได้

ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารสะท้อนน้ำทางการค้าโดยการใช้เทคนิคจุ่มอัด ถึงแม้ว่าจะไม่มีชั้นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวของเส้นใยเพื่อชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำ แต่ยังคงให้สมบัติสะท้อนน้ำที่ดี เนื่องจากสารอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนที่นำมาใช้ตกแต่งสำเร็จจะเกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบบนผิวเส้นใย ซึ่งจะทำหน้าที่ลดพลังงานพื้นผิวเส้นใยพอลิเอสเทอร์ให้ต่ำลง ทำให้น้ำที่มีค่าแรงตึงผิวสูงไม่สามารถเปียกและซึมผ่านผ้าได้ หยดน้ำจะคงรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลมบนพื้นผิว

ของผ้าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยระยะเวลาของหยดน้ำที่อยู่บนผิวผ้าจะขึ้นกับลายผ้าและภาวะที่ทำการทดสอบ ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีนี้จะมีค่า %add on เพียง 4.732% และจากลักษณะฟิล์มบางที่เกิดขึ้นไม่ได้ปกคลุมพื้นผิวทั้งหมดของเส้นใยรวมเข้าด้วยกัน ทำให้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีความแข็งกระด้างไม่มากนัก

4.8 การตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำ

4.8.1 การทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จก่อนซัก

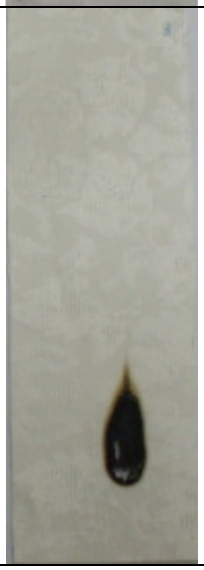
จากการศึกษาวิธีการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี ได้คัดเลือกสูตรสารหน่วงไฟ 50%P-containing acrylate และสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำ 35%TFEMA-containing acrylate เพื่อนำมาใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้สะท้อนน้ำและหน่วงไฟในผืนผ้าเดียวกัน โดยแบ่งขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟเป็นชั้นแรกบนพื้นผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ (based coat) และการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำทับหน้าชั้นตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ (top coat) ของผ้าพอลิเอสเทอร์ จากนั้นจะนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จทั้ง 2 ชั้นแล้วไปทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ ด้วยการศึกษาพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศา การทดสอบหาค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้า และตรวจสอบระยะเวลาของหยดน้ำซึมลงบนผ้าตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีในชั้นแรกร่วมกับการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดในชั้นทับหน้า ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ

วิธีตกแต่งสำเร็จ

1: วิธีการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีทั้งสองชั้นของสารเคลือบ

2: วิธีการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีในชั้นแรกและการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดในชั้นทับหน้า

วิธีการตกแต่งสำเร็จ	สมบัติหน่วงไฟ		สมบัติสะท้อนน้ำ	
	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้	มุมสัมผัส (องศา)	ระยะเวลาน้ำซึมบนผ้า (นาที)
1	ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 28 วินาที หลังจากนำเปลวไฟที่จ่อออก		92	ประมาณ 60 นาที
2	ผ้าติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเองภายในระยะเวลา 29 วินาที หลังจากนำเปลวไฟที่จ่อออก		120	นานกว่า 90 นาที

จากผลการทดสอบการศึกษาพฤติกรรมการลุกลามเปลวไฟในแนว 45 องศาของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีทั้งสองชั้นของสารเคลือบ (วิธีที่ 1) พบว่าหลังจากจ่อเปลวไฟบนบริเวณผิวผ้าเป็นเวลานาน 5 วินาที ผ้าจะเกิดการติดไฟและสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจะมีพื้นที่รอยของการลุกไหม้เป็นจุดวงรีมีขนาด

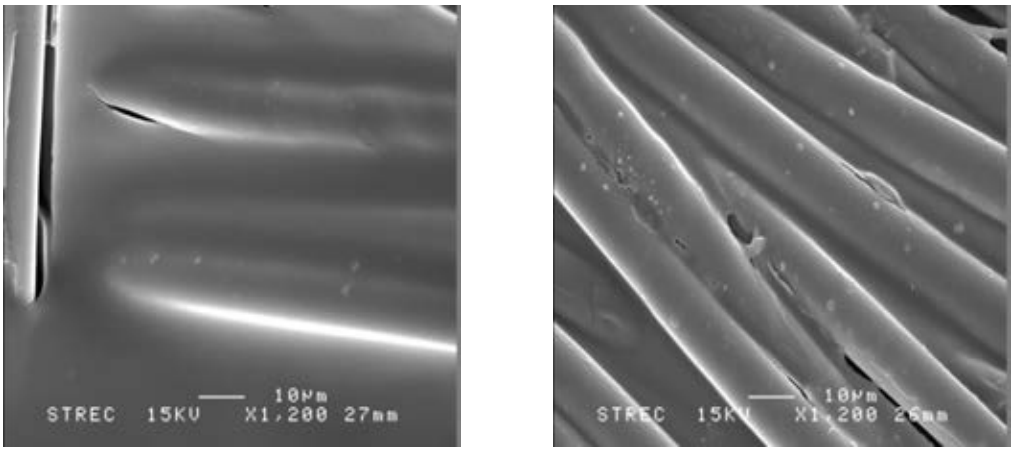
เล็กกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีในชั้นแรกและการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดในชั้นทับหน้า (วิธีที่ 2) สำหรับผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 2 ก่อนซักจะสามารถหน่วงไฟและดับไฟได้ด้วยตนเองเช่นเดียวกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 1

จากการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีตกแต่งสำเร็จที่ 1 และ 2 จะมีค่า %add-on เท่ากับ 60% และ 34% ตามลำดับ ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยวิธีตกแต่งสำเร็จที่ 1 จะมีค่า %add on บนผ้าจะมีค่าสูงเนื่องจากการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีนี้จะเป็นการบ่มสารเคลือบผิวของเหลวให้เกิดฟิล์มสารเคลือบผิวทับกันจำนวน 2 ชั้น และปริมาณฟิล์มสารเคลือบผิวที่เกิดขึ้นบนผ้าจะทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีความแข็งกระด้างสูง ดังนั้นเมื่อนำไปทดสอบศึกษาพฤติกรรมการลุกลามเปลวไฟในแนว 45 องศา โดยการใช้เปลวไฟจ่อบริเวณผิวผ้าเป็นเวลา 5 วินาที ความร้อนที่ให้จะทำให้เกิดพื้นที่การลุกไหม้น้อยกว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 2 ซึ่งมีค่า % add-on บนผ้าน้อยกว่า

แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามเปลวไฟในแนว 45 องศา พบว่าวิธีการตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำทั้ง 2 วิธีดังกล่าว สามารถเพิ่มสมบัติหน่วงไฟให้กับผ้าพอลิเอสเทอร์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสามารถดับไฟได้ด้วยตัวเอง ไม่มีการหลอมหยด และมีพื้นที่รอยการเผาไหม้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ และจากผลทดสอบหาค่า LOI พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จะให้ค่า LOI เท่ากับ 23.5% และ 23.3% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีค่าเท่ากับ 21.0%

สำหรับผลการทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำ พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 1 จะให้ค่ามุมสัมผัสน้ำสูงกว่า 90 องศา และสามารถชะลอการซึมน้ำบนผ้าได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยสาเหตุหลักคาดว่าน่าจะเกิดจากชั้นฟิล์มสารเคลือบผิวที่หนาทับกันจำนวน 2 ชั้น ทำให้เกิดการปกคลุมพื้นผิวเส้นใย รวมเส้นใยเข้าด้วยกันและส่งผลให้

ช่องว่างระหว่างเส้นใยถูกปิดกั้น น้ำจึงซึมผ่านได้ยากขึ้น เปรียบเสมือนเป็นผ้ากันน้ำ (water proof) ซึ่งสามารถยืนยันได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.17

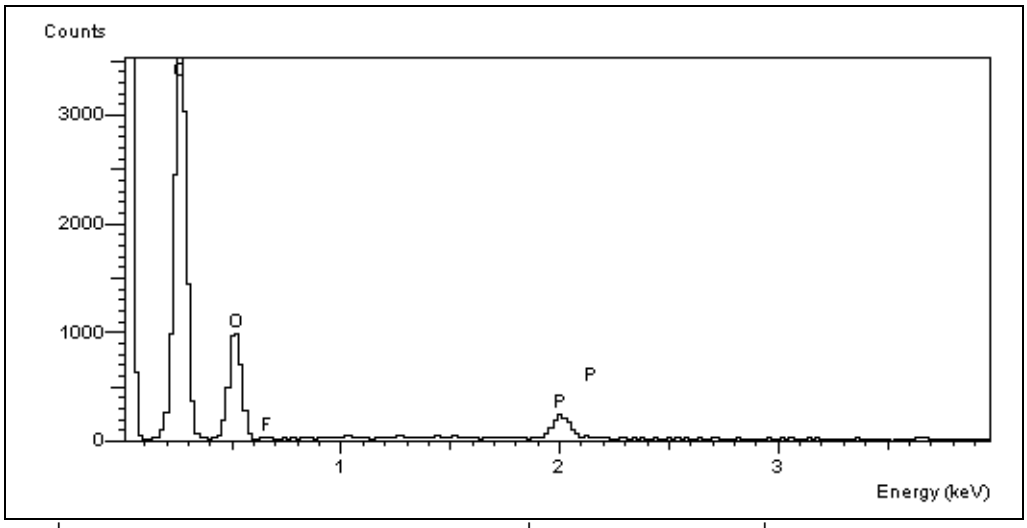


ก) วิธีตกแต่งสำเร็จวิธีที่ 1 ข) วิธีตกแต่งสำเร็จวิธีที่ 2

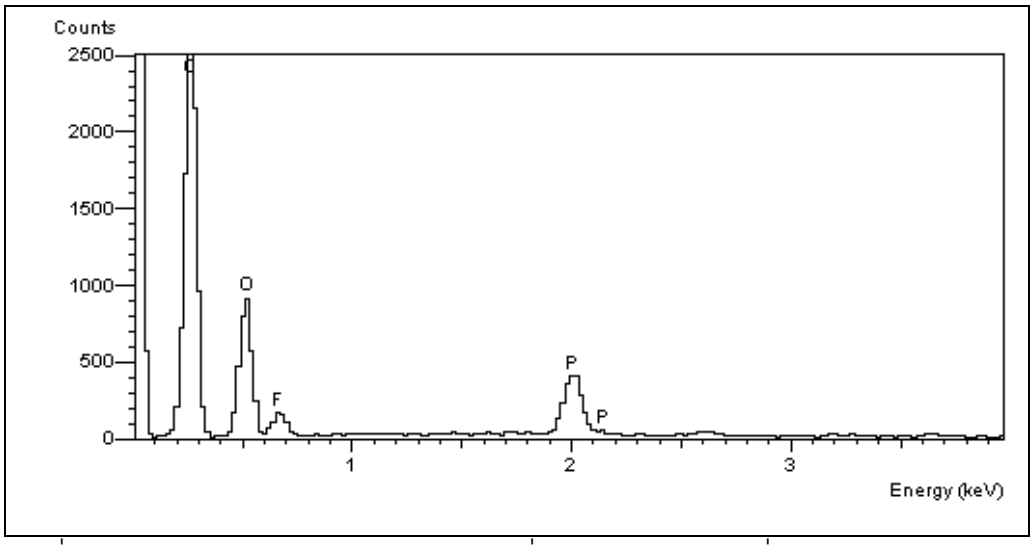
รูปที่ 4.17 ผืนผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำ

จากผลการศึกษาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะพบว่าพื้นผิวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำวิธีที่ 2 จะมีฟิล์มสารเคลือบผิวปกคลุมพื้นผิวเส้นใย โดยชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีชั้นแรก (based coat) ร่วมกับชั้นฟิล์มบางๆของอิมัลชันของฟลูออโรคาร์บอนในการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำด้วยเทคนิคจุ่มอัดในชั้นทับหน้า (top coat) โดยลักษณะของชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีความหนาน้อยกว่าชั้นฟิล์มที่ผิวผ้าของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 1 ซึ่งผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 2 จะให้สมบัติสะท้อนน้ำได้ดี เนื่องจากบนพื้นผิวเส้นใยในชั้นทับหน้าจะมีอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนเคลือบ โดยสารฟลูออโรคาร์บอนจะทำหน้าที่ลดค่าพลังงานของพื้นผิวให้มีค่าต่ำลง ทำให้น้ำที่มีค่าแรงตึงผิวสูงไม่สามารถเปียกและซึมผ่านผ้า โดยให้ค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าสูงถึง 120 องศา ซึ่งการมีอยู่ของสารฟลูออโรคาร์บอนที่เคลือบบนผิวเส้นใยผ้าในชั้นทับหน้า (top coat) สามารถยืนยันได้ด้วยการใช้เทคนิค Energy Dispersive

Spectroscopy (EDS) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุฟลูออรีนที่อยู่บนผิวผ้า ผลการวิเคราะห์ธาตุบนพื้นผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ที่ผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 1



รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ที่ผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 2

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS พบว่าที่ผิวผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีตกแต่งสำเร็จวิธีที่ 1 จะมีปริมาณของธาตุต่างๆบนผิวผ้า ได้แก่ คาร์บอน 59.58% ออกซิเจน 39.60% และฟอสฟอรัส 1.02% ซึ่งผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 1 นี้จะวิเคราะห์ไม่พบธาตุฟลูออรีนที่ผิวผ้า เนื่องจากธาตุฟลูออรีนเป็นธาตุเบา กรณีที่มีปริมาณสารที่มีอะตอมฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อยจะไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคนี้ และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS พบว่าที่ผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีตกแต่งสำเร็จวิธีที่ 2 จะมีปริมาณของธาตุต่างๆบนผิวผ้า ได้แก่ คาร์บอน 55.49% ออกซิเจน 30.69% ฟลูออรีน 6.64% และฟอสฟอรัส 2.17% ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 2 จะตรวจพบปริมาณของธาตุฟลูออรีนบนผิวผ้า ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าในชั้นทับหน้าของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีที่ 2 จะมีฟิล์มอิมัลชันของสารฟลูออโรคาร์บอนซึ่งทำหน้าที่เป็นสารสะท้อนน้ำผนึกอยู่บนผิวเส้นใยทำให้ผ้าพอลิเอสเทอร์มีสมบัติสะท้อนน้ำเกิดขึ้น ส่วนธาตุฟอสฟอรัสที่พบบนผิวผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จทั้ง 2 วิธีจะเป็นองค์ประกอบหลักของสารเคลือบที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสียูวีในชั้นแรก ซึ่งจะทำหน้าเป็นสารหน่วงไฟให้แก่ผ้าพอลิเอสเทอร์ นอกจากนี้จากการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยสารยูวีในชั้นแรกของผ้าพอลิเอสเทอร์ (based coat) จะช่วยทำหน้าที่เป็นฟิล์มกันให้การซึมผ่านของหยดน้ำให้ชะลอลงได้อีกด้วย

4.8.2 ทดสอบความคงทนหลังการซัก 1 ครั้งต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้า

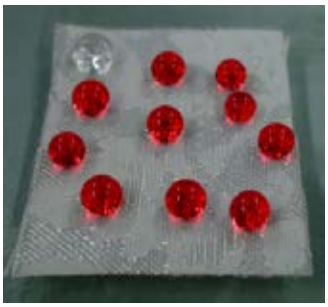
สมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์จะขึ้นอยู่กับการคงอยู่ของสารเคลือบผิวที่ใช้ตกแต่งสำเร็จ ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคมีเมื่อนำไปผ่านการซักจะมีการหลุดออกของสารเคมีจากผิวผ้า โดยการหลุดออกของสารเคมีจะส่งผลต่อสมบัติของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งอาจทำให้สมบัติเฉพาะต่างๆ ของผ้านั้นมีประสิทธิภาพลดลง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทดสอบความคงทนหลังการซัก 1 ครั้งต่อสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนไปซักด้วยสารละลายสารซักฟอกความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ด้วยเครื่องซักอัตโนมัติ

1 รอบ ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องก่อนนำเก็บเข้าตู้ความชื้นเพื่อใช้สำหรับการทดสอบสมบัติหน่วงไฟและสะท้อนน้ำต่อไป

นำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำหลังผ่านการซัก 1 ครั้ง ไปทดสอบหาค่า LOI พบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำทั้งวิธีที่ 1 และ 2 มีสมบัติการหน่วงไฟ โดยให้ค่า LOI เท่ากับ 22.5% และ 22.1% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่า LOI ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ และนำผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 1 และ 2 หลังผ่านการซัก 1 ครั้ง ไปทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำ โดยการวัดค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าและตรวจสอบระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้า พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 1 จะให้ค่ามุมสัมผัสเท่ากับ 87 องศาดังแสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งมีสมบัติสะท้อนน้ำลดลงเนื่องจากการหลุดออกของสารเคลือบจากผิวผ้า แต่ยังคงสามารถชะลอการซึมผ่านของหยดน้ำได้ โดยมีระยะเวลาการซึมผ่านของหยดน้ำบนผิวผ้าเป็นเวลานาน 23 นาที ส่วนผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟและสะท้อนน้ำด้วยวิธีที่ 2 เมื่อนำไปทดสอบสมบัติสะท้อนน้ำ จะพบว่าผ้าพอลิเอสเทอร์หลังผ่านการซัก 1 ครั้ง ยังคงมีสมบัติการสะท้อนน้ำที่ดี โดยให้ค่ามุมสัมผัสน้ำบนผ้าสูงถึง 120 องศา จะคงรูปอยู่บนผิวผ้าเป็นเวลานานประมาณ 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.20 การสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำและหน่วงไฟวิธีที่ 1



รูปที่ 4.21 การสะท้อนน้ำของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำและหน่วงไฟวิธีที่ 2

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) สูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟสามารถเตรียมได้จากมอนอเมอร์ TMPTA และ VPA ร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงปริมาณ 3%โดยน้ำหนัก และสูตรสารเคลือบผิวสะท้อนน้ำสามารถเตรียมได้จาก UA และ ฟลูออริเนตเตดมอนอเมอร์ร่วมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงปริมาณ 5%โดยน้ำหนัก โดยสูตรสารเคลือบผิวสามารถแห้งตัวได้ที่ระดับผิวหน้าของฟิล์ม เมื่อผ่านบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

2) สูตรสารเคลือบผิวหน่วงไฟ 50%P-containing acrylate + TPO เป็นสูตรที่เหมาะสำหรับการนำไปตกแต่งสำเร็จผ้าพอลิเอสเทอร์ให้หน่วงไฟด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี โดยสารประกอบฟอสฟอรัสในสูตรสารเคลือบผิวจะมีกลไกการหน่วงไฟแบบ condensed phase จะเกิดเถ้าคาร์บอนปกคลุมพื้นผิวของวัสดุรบกวนวงจรการเผาไหม้ และทำให้การลุกไหม้ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟจะสามารถต้านการลุกลามของเปลวไฟในแนว 45 องศาได้ มีค่า LOI ก่อนและหลังซัก เท่ากับ 27.0% และ 23.4% ตามลำดับ

3) ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำในผืนผ้าเดียวกันด้วยเทคนิคการบ่มด้วยรังสียูวีให้สมบัติหน่วงไฟที่ดี สามารถต้านการลุกลามเปลวไฟในแนว 45 องศา และมีค่า LOI ก่อนและหลังซัก เท่ากับ 23.5% และ 22.5%และสามารถชะลอหยดน้ำซึมผ่านผิวผ้าได้

4) ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จให้หน่วงไฟและสะท้อนน้ำในผืนผ้าเดียวกันด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวหน่วงไฟด้วยรังสียูวีร่วมกับเทคนิคจุ่มอัดสารสะท้อนน้ำให้สมบัติหน่วงไฟที่ดี สามารถต้านการลุกลามเปลวไฟในแนว 45 องศาได้ และมีค่า LOI ก่อน

และหลังซัก เท่ากับ 23.3% และ 22.1% ตามลำดับ และให้สมบัติสะท้อนน้ำที่ดี โดยให้ค่ามุมสัมผัสน้ำสูงถึง 120 องศา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรให้ภาวะในเครื่องบ่มสารเครื่องผิวด้วยรังสียูวีเป็นบรรยากาศไนโตรเจนหรือเติมสาร Oxygen scavenger ลงในสูตรสารเคลือบผิว เพื่อให้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่ผ่านการบ่มเกิดพันธะเชื่อมขวางสมบูรณ์ และให้สมบัติเฉพาะที่ดีแก่ผ้าที่นำมาตกแต่งสำเร็จ

2) ควรมีการศึกษาความสามารถการทะลุทะลวงของแสงยูวีผ่านชั้นฟิล์มของสารเคลือบผิว

3) ควรมีการศึกษาชนิดและลายของผ้าต่อการยึดเกาะของสารเคลือบผิวหรือสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวี

4) ควรมีการศึกษาองค์ประกอบของสารเคลือบผิว มอนอเมอร์และโอลิโกเมอร์ชนิดอื่นๆ เพื่อให้สารเคลือบผิวหน่วงไฟยึดติดกับผ้าได้ดียิ่งขึ้น และมีความทนทานต่อการซักสูงขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กรม. สถิติสถานการณ์อัคคีภัยของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2532 - 2553[online]. Available from: http://www.disaster.go.th [31 ธันวาคม 2553]

[2] นราพร รังสิมันตกุล และ เข็มชัย เหมะจันทร, บรรณาธิการ. การทดสอบสิ่งทอสมบัติพิเศษ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2553.

[3] เสริมรัฐ เหล่าธรรมทัศน์ และ ศานติ กุลสิริสวัสดิ์. การศึกษาพฤติกรรมการลุกไหม้ของไฟบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริก. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

[4] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน. เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: คราฟแมนเพรส, 2550.

[5] Hung, J.Q., Meng, W.-D., and Qing, F.-L. Synthesis and repellent properties of vinylidene fluoride-containing polyacrylates. Journal of Fluorine Chemistry 128 (2007): 1469 - 1477.

[6] Ren, Q., and Zhao, T. Synthesis and application of modified vegetable oils in water-repellent finishing of cotton fabrics. Carbohydrate Polymers 80 (2010): 381 - 386.

[7] นุจรินทร์ รามัญกุล. เอกสารประกอบการฝึกอบรมและเสวนาวิชาการ PFOS และระเบียบของ PFOS ของอียู (ครั้งที่ 3). กลุ่มเทคโนโลยีวัสดุเพื่อการผลิตสินค้าปลอดภัย ศูนย์เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC), 25 มิถุนายน 2551.

[8] Florentin, A., Deblonde, T., Diguio, N., Hautemaniere, A., and Hartemann, P. Impacts of two perfluorinated compounds (PFOS and PFOA) on human hepatoma cells: Cytotoxicity but no genotoxicity?. International Journal of Hygiene and Environmental Health 214 (2011): 493 - 499.

[9] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

[10] ธนาวัฒน์ ชัยวุฒินันท์. การสกัดเคราตินจากขนไก่เพื่อใช้ตกแต่งหน่วงไฟสำหรับผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2545.

[11] ฐิติพร โมวัฒนะ. การใช้สารประกอบฟอสฟอรัสร่วมกับไคโทซานเพื่อปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟของผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[12] ชิดชนก ตั้งบุญอนุสรณ์. การปรับปรุงสมบัติหน่วงไฟและต้านการหลอมหยดของพอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลตด้วยเบนโทไนต์และเบนโทไนต์ดัดแปร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

[13] ภัทร์ธินันท์ อันตรเสน. การดัดแปรน้ำมันพืชเพื่อเป็นสารสะท้อนน้ำในการตกแต่งบนผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

[14] Schindler W.D., and Hauser, P.J. Chemical finishing of textiles. Cambridge,UK: Woodhead, 2004.

[15] Mehnert, R., Pincus, A., Janorsky, I., Stowe, R., and Berejka, A. Volume 1 UV & EB Curing Technology & Equipment. London,UK: John Wiley & Sons, SITA Technology Limited, 2007.

[16] Roffey, C.G. Photopolymerization of surface coatings. London,UK: John Wiley & Sons, 1982.

[17] Reinhold, S. UV Coatings: Basics, Recent Developments and New Applications. Elsevier B.V., 2007.

[18] Sen, A.K. Coated textiles: Principles and Applications. Boca Raton,USA: Taylor&Francis Group, 2008.

[19] Chen, X., Hu, Y., Jiao. C., and Song, L. Preparation and thermal properties of a novel flame-retardant coating. Polymer Degradation and Stability. 92 (2007): 1141 - 1150.

[20] Miao, H., Bao, F., Cheng, L., and Shi, W. Cotton fabric modification for imparting high water and oil repellency using perfluoroalkyl phosphate acrylate via γ-ray-induced grafting. Radiation Physics and Chemistry. 79 (2010): 786 - 790.

[21] Opwis, K., Wego, A., Bahners, T., and Schollmeyer, E. Permanent flame retardant finishing of textile materials by a photochemical immobilization of vinyl phosphonic acid. Polymer Degradation and Stability 96 (2011): 393 - 395.

[22] ASTM standards: ASTM D 1230-94 Standard Test Method for Flammability of Apparel Textiles.

[23] ASTM standards: ASTM D 2863 Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastic (Oxygen index).

[24] Zhu, S., and Shi, W. Combustion behavior and thermal properties of UV cured methacrylate phosphate/epoxy acrylate blends. Polymer Degradation and Stability 81 (2003): 233 - 237.

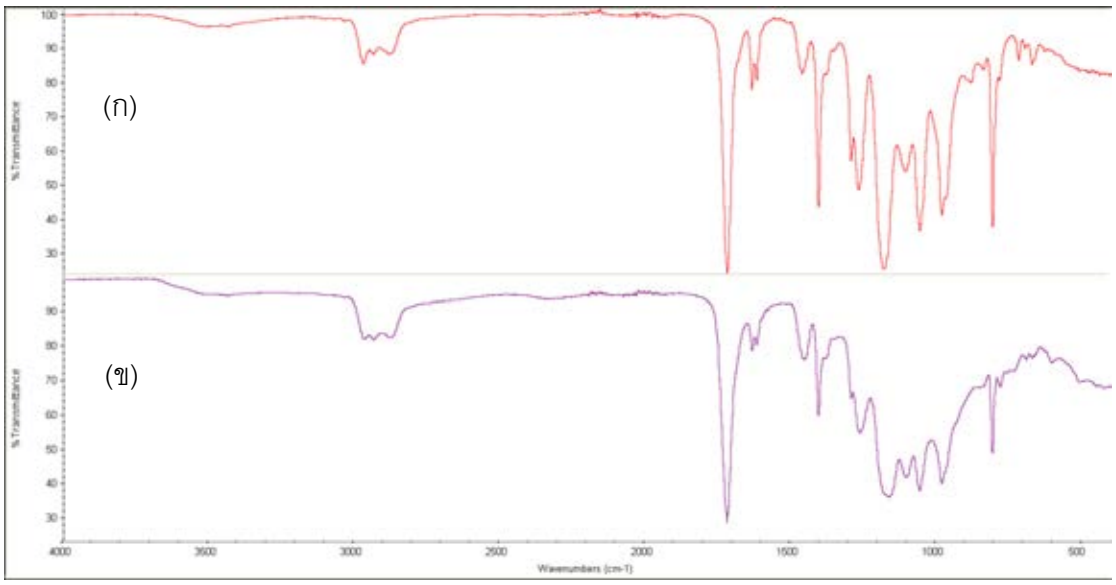
[25] Liang. H., and Shi. W. Thermal behaviour and degradation mechanism of phosphate di/triacrylate used for UV curable flame-retardant coatings. Polymer Degradation and Stability 84 (2004): 525 - 532.

[26] ศรันยา เกษมบุญญากร. เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง กระบวนการเตรียม ย้อม พิมพ์และการตกแต่งสิ่งทอ. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

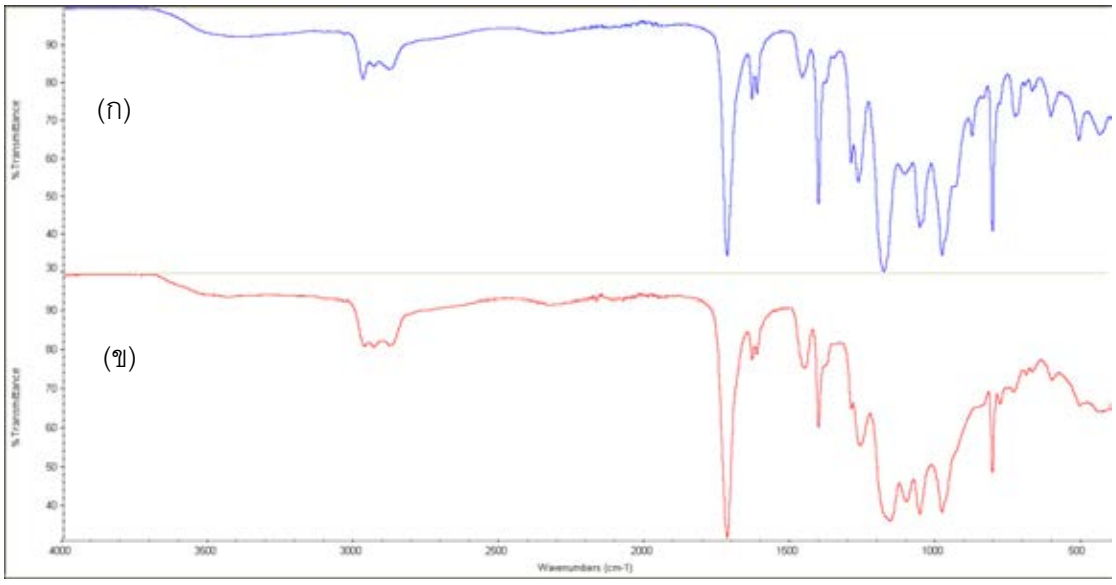
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

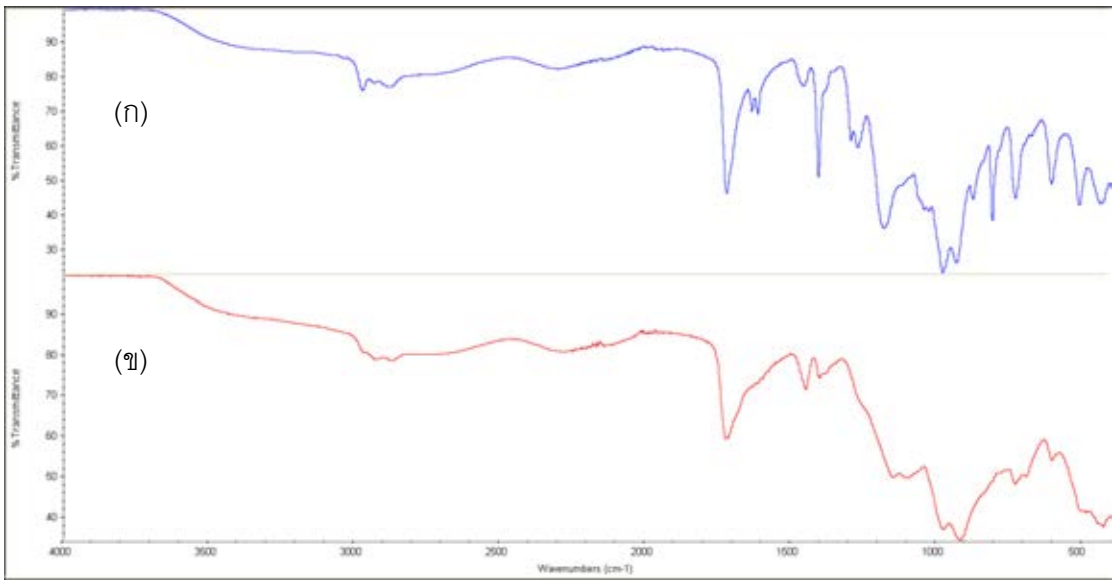
ATR-IR สเปกตรัมของสูตรสารเคลือบผิวที่มี %P-containing acrylate ในปริมาณต่างๆ ก่อนทำการบ่มเปรียบเทียบกับหลังทำการบ่ม



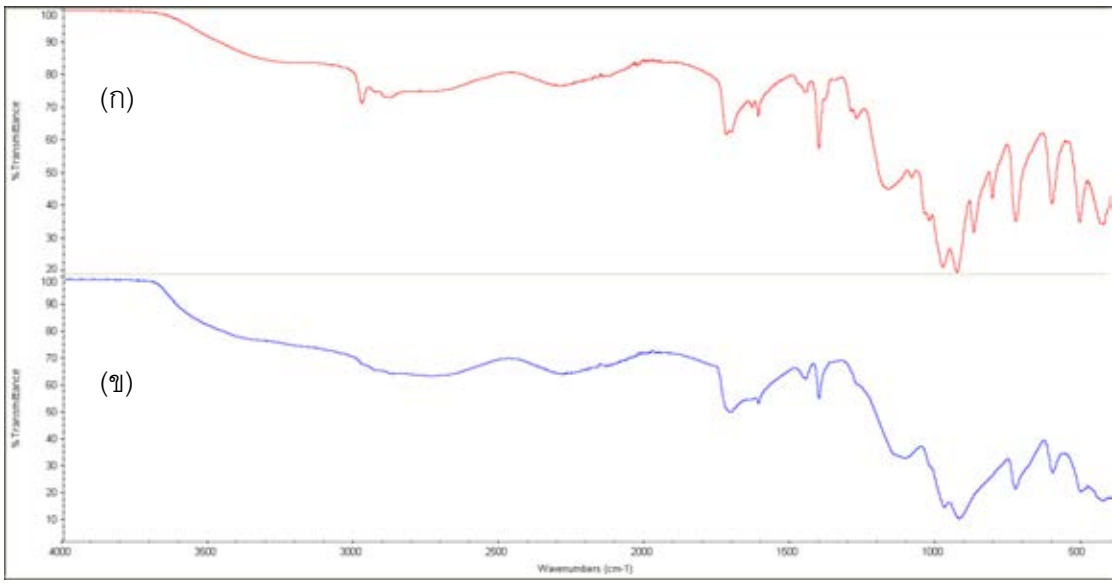
รูปที่ 1 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 0%P-containing acrylate+1173 ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



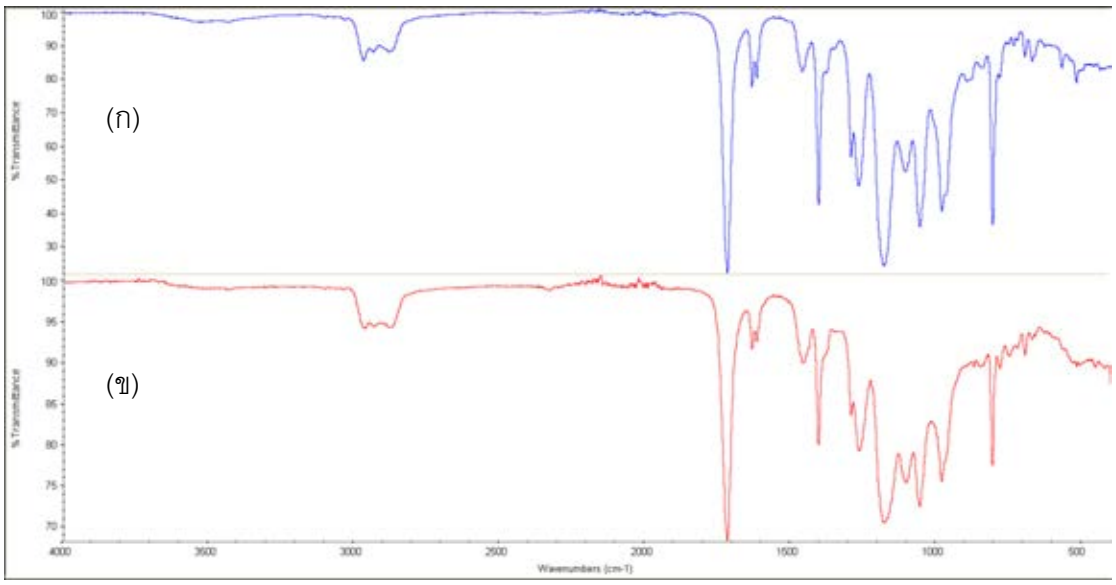
รูปที่ 2 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 10%P-containing acrylate+1173 ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



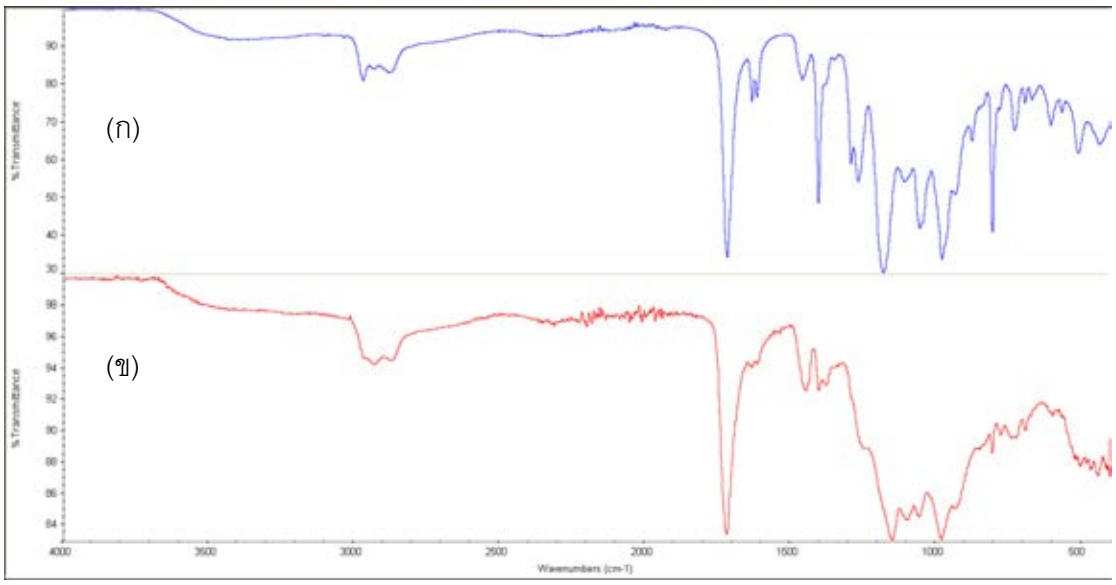
รูปที่ 3 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 30%P-containing acrylate+1173 ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



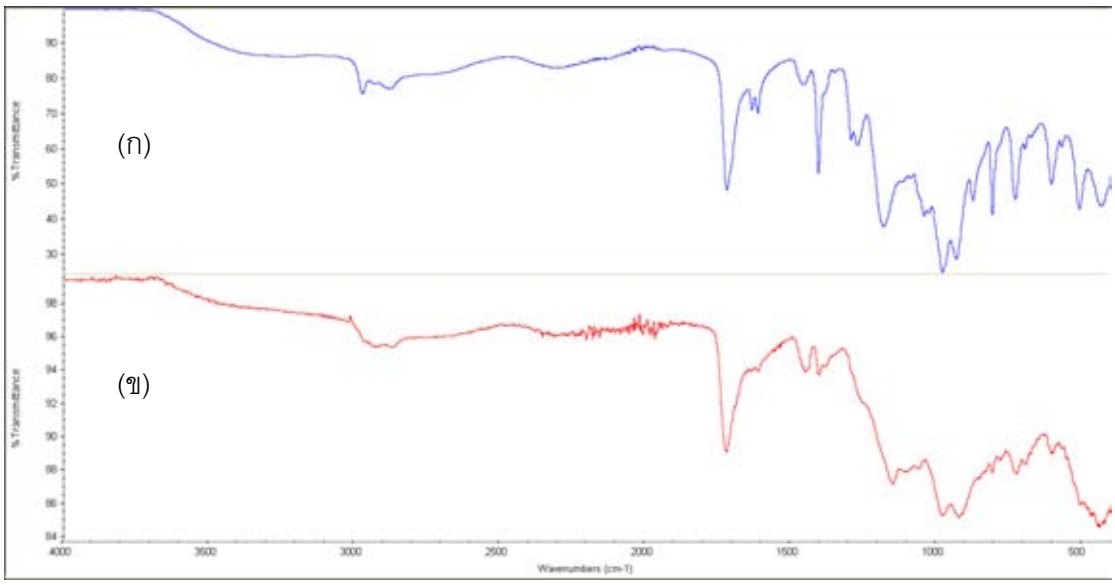
รูปที่ 4 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 50%P-containing acrylate+1173 ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



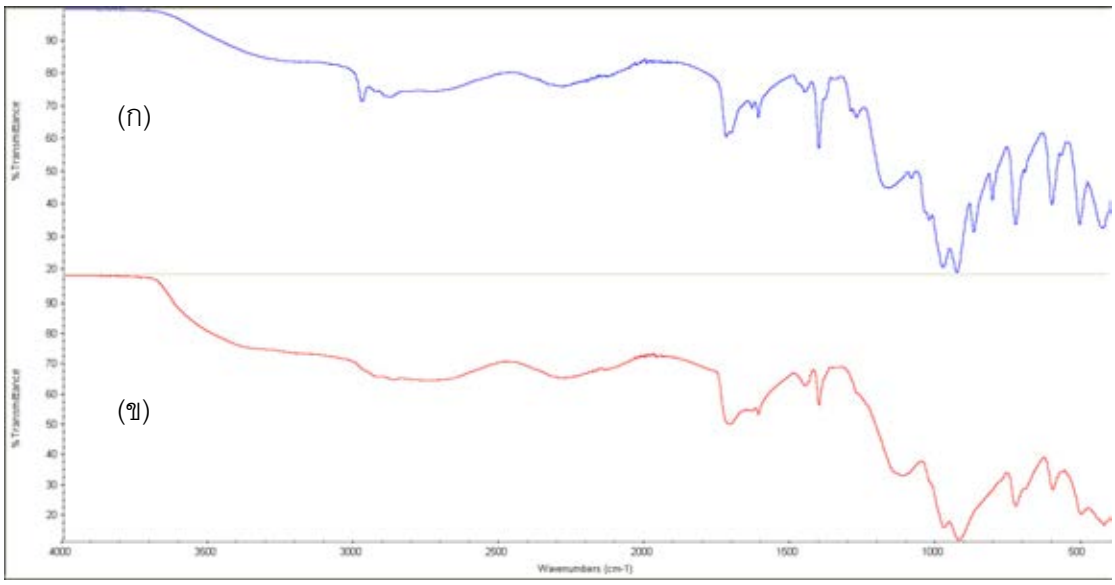
รูปที่ 5 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 0%P-containing acrylate+TPO ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



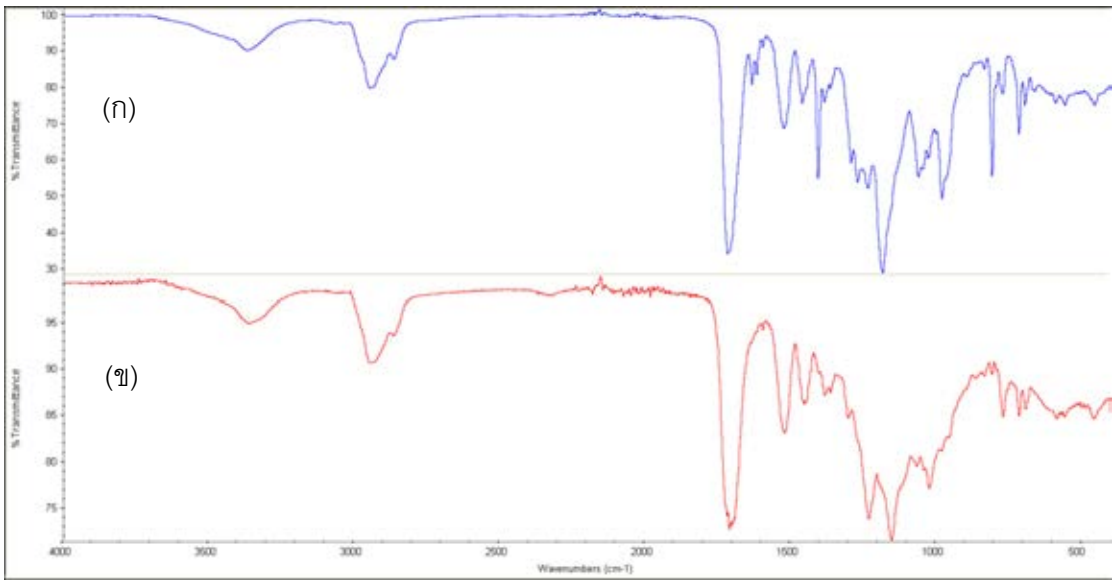
รูปที่ 6 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 10%P-containing acrylate+TPO ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



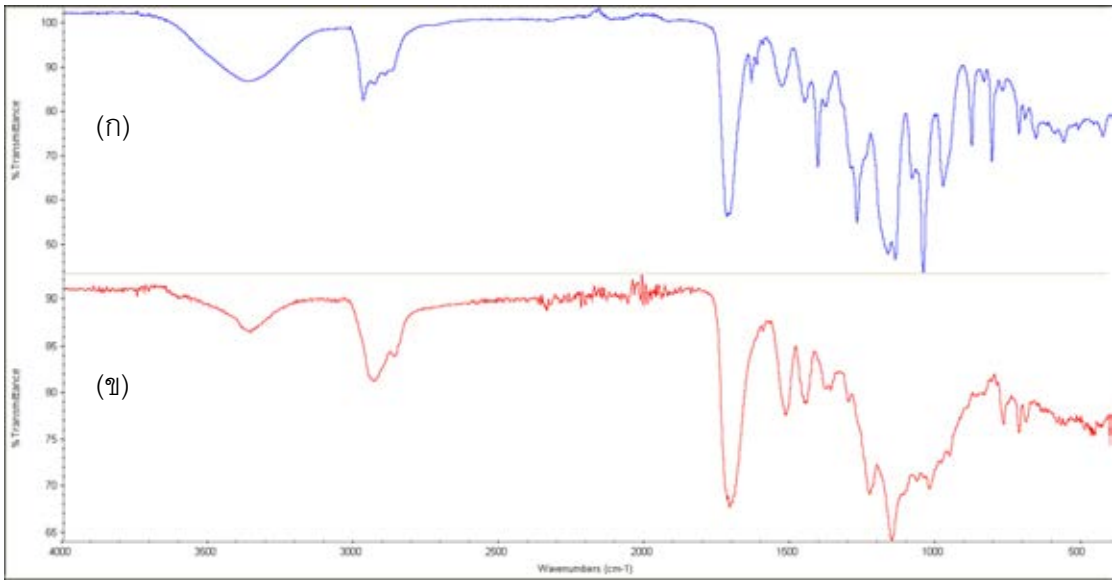
รูปที่ 7 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 30%P-containing acrylate+TPO ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



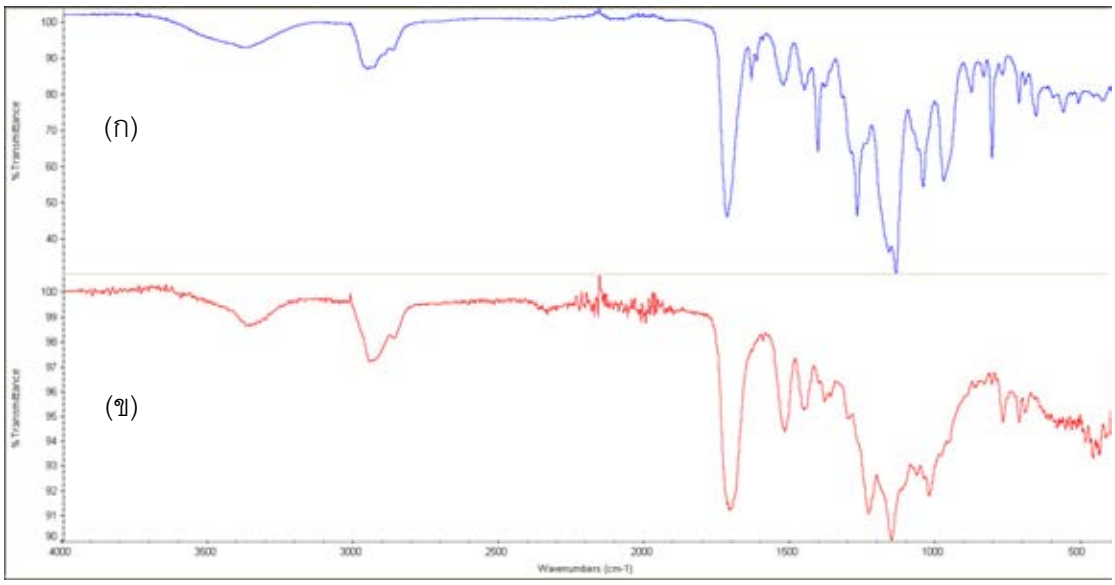
รูปที่ 8 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 50%P-containing acrylate+TPO ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



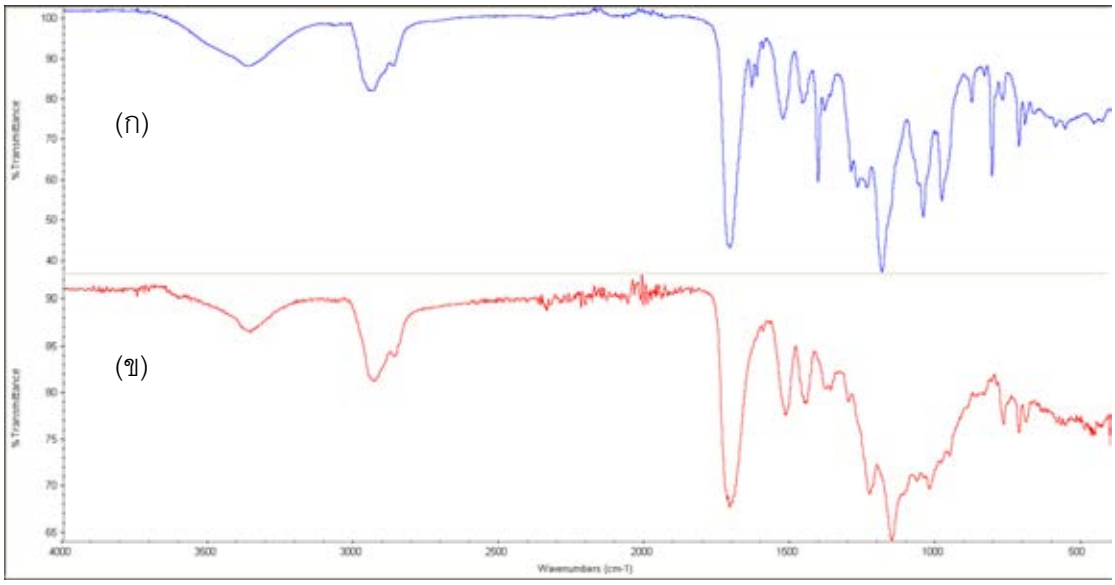
รูปที่ 9 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 15%TFEMA ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



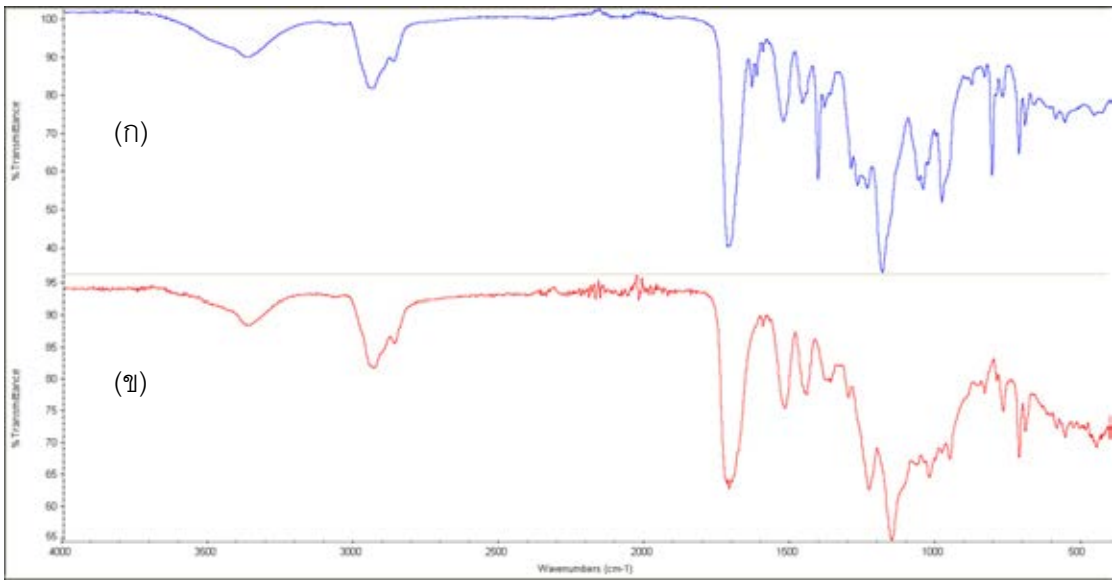
รูปที่ 10 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 25%TFEMA ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



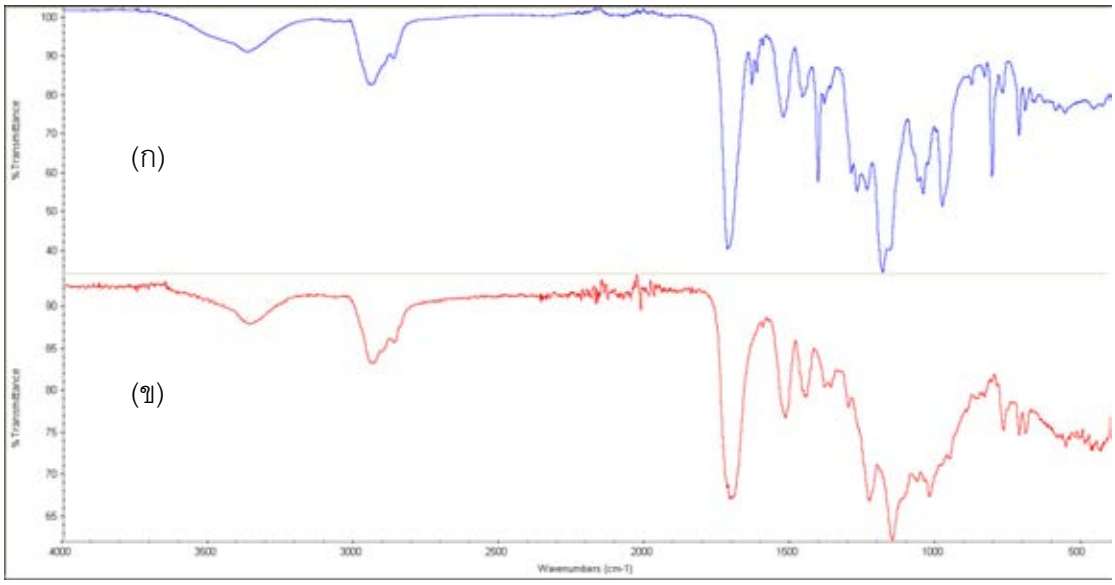
รูปที่ 11 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 35%TFEMA ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



รูปที่ 12 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 15%TFEA ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



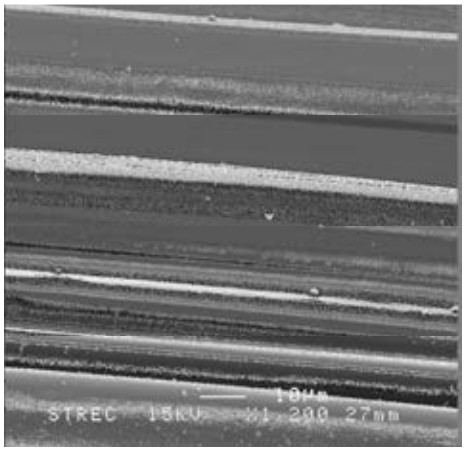
รูปที่ 13 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 25%TFEA ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)



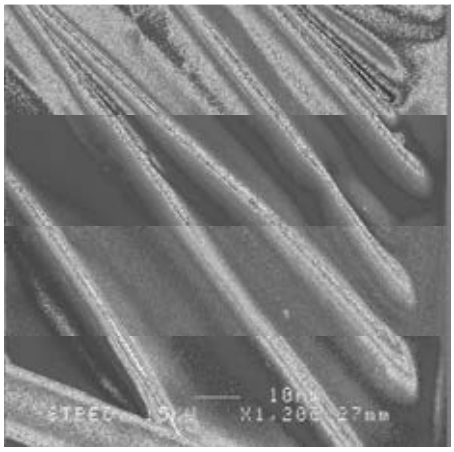
รูปที่ 14 ATR-IR สเปกตรัมของสูตร 35%TFEA ก่อนทำการบ่ม (ก) และหลังทำการบ่ม (ข)

ภาคผนวก ข

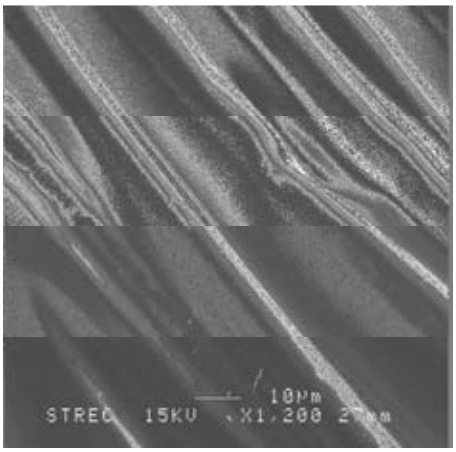
รูปที่ ข-1 ภาพ SEM ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ (กำลังขยาย 1,200 เท่า)



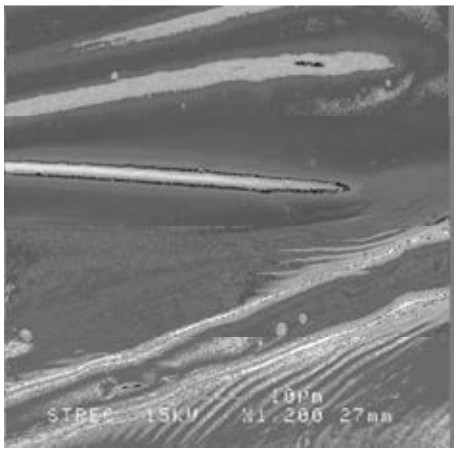
(ก) 0%P-containing acrylate+1173



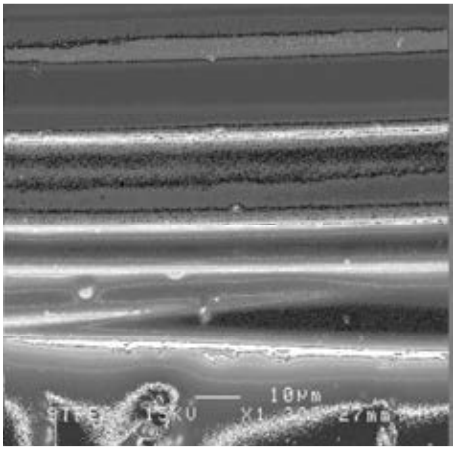
(ข) 10%P-containing acrylate+1173



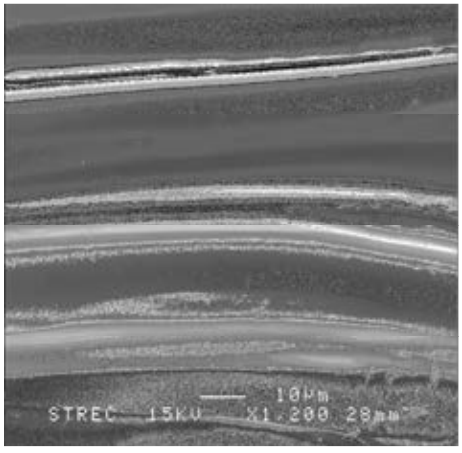
(ค) 30%P-containing acrylate+1173



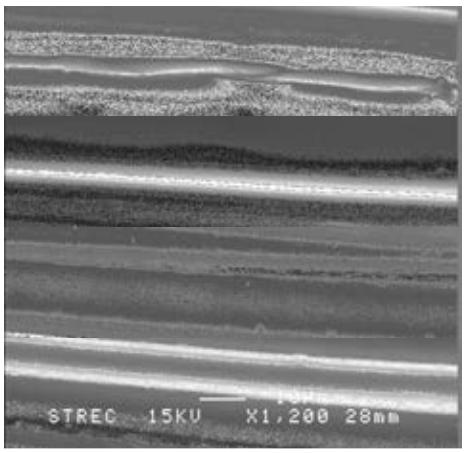
(ง) 50%P-containing acrylate+1173



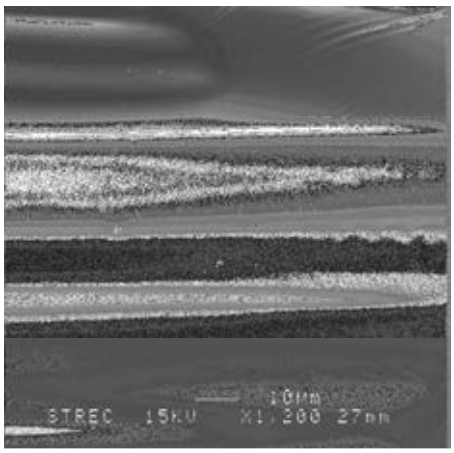
(จ) 0%P-containing acrylate+TPO



(ฉ) 0%P-containing acrylate+TPO



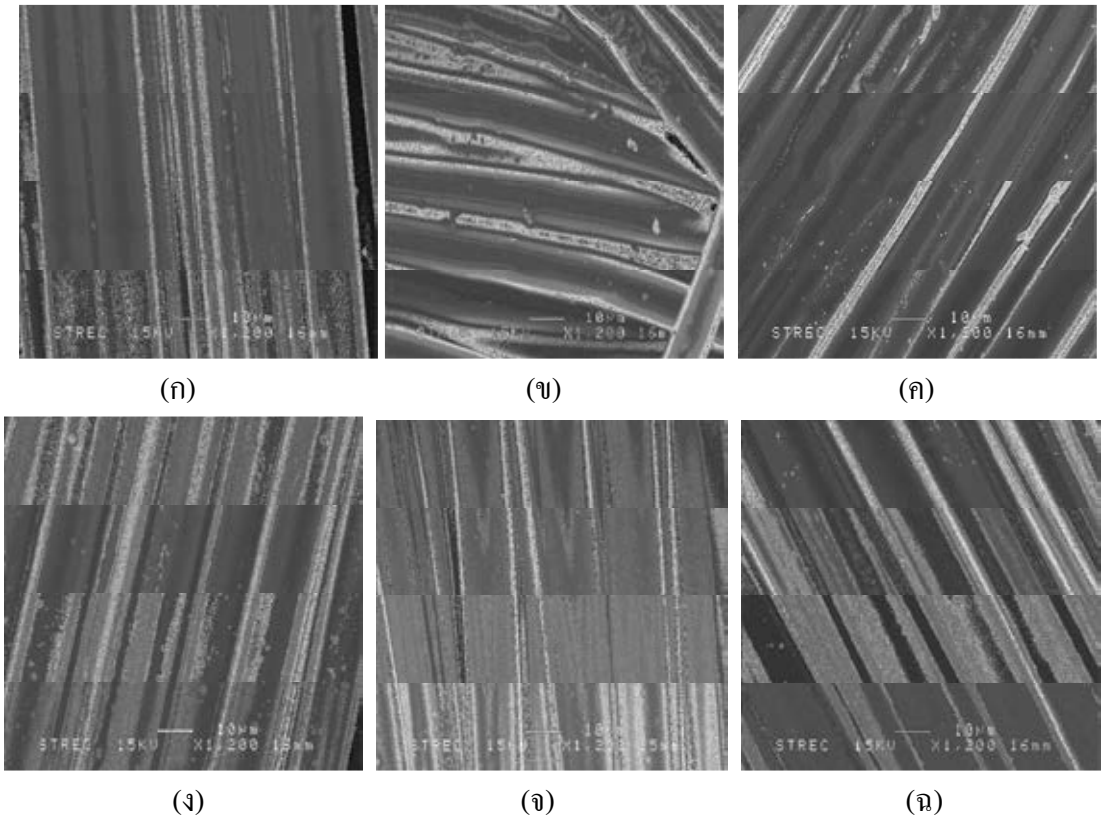
(ข) 30%P-containing acrylate+TPO



(ข) 50%P-containing acrylate+TPO

รูปที่ ข-2 ภาพ SEM ของผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสะท้อนน้ำ

(กำลังขยาย 1,200 เท่า)



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ) (ฉ)

(ก) 15%TFEMA-containing acrylate

(ข) 25%TFEMA-containing acrylate

(ค) 35%TFEMA-containing acrylate

(ง) 15%TFEA-containing acrylate

(จ) 25%TFEA-containing acrylate

(ฉ) 35%TFEA-containing acrylate

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววัชรินทร์พร พรหมสุข เกิดวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2551 หลังจากนั้นเข้าทำงานด้านวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านบรรจุภัณฑ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เป็นเวลา 1 ปี และ 5 เดือน และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรพอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2555 รวมระยะเวลา 2 ปี