บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

สารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่เตรียมได้ทุกสูตรมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น ซึ่งเมื่อนำไปเคลือบลงบนผ้าฝ้ายแล้วพบว่าส่วนใหญ่ทำให้ได้ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ค่อนข้างเรียบ และให้สัมผัสนุ่ม ยกเว้นผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร B4 และสูตร C4 โดยการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร B4 เป็นสูตรเดียวที่ใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเป็นสารฟู พบว่าผ้าฝ้ายมีพื้นผิวที่เรียบ แต่ให้สัมผัสที่กระด้าง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างการอบผนึก ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร C4 ซึ่งใช้ 100% อะคริลิกอิมัลชันเป็นสารยึด พบว่าผ้าฝ้ายมีพื้นผิวที่ค่อนข้างหยาบและให้สัมผัสที่ค่อนข้างกระด้าง ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจาก 100% อะคริลิกอิมัลชันมีองค์ประกอบที่ทำให้เมื่อเคลือบบนผ้าแล้วทำให้ผ้าแข็ง

ลักษณะของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่เตรียมได้ รวมทั้งลักษณะพื้นผิวและสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบ สรุปไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

สูตร	สีของสารเคลือบผิว	ลักษณะพื้นผิวและสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบ
A1	สีขาวขุ่น	เรียบและนุ่ม
A2	สีขาวขุ่น	เรียบและนุ่ม
B1	สีขาวขุ่น	ค่อนข้างเรียบและนุ่ม
B2	สีขาวขุ่น	หยาบแต่ค่อนข้างนุ่ม
B3	สีขาวขุ่น	ค่อนข้างเรียบและนุ่ม
B4	สีขาวขุ่น	เรียบแต่แข็งกระด้าง
C1	สีขาวขุ่น	ค่อนข้างเรียบและนุ่ม
C2	สีขาวขุ่น	เรียบและค่อนข้างนุ่ม
C3	สีขาวขุ่น	เรียบและค่อนข้างนุ่ม
C4	สีขาวขุ่น	ค่อนข้างหยาบและค่อนข้างแข็งกระด้าง

A1: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 10%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

A2: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B2: pentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B3: dipentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B4: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine formaldehyde resin 15% และ EVA copolymer 15%

C1: (3%) แป้ง 5%, APP powder 5%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C2: (3%) แป้ง 5%, APP powder 10%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C4: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ 100% acrylic emulsion 25%

4.2 ผลขององค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ต่อสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายจากการศึกษาพฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวองศา 45

4.2.1 ผลของแหล่งกรด

4.2.1.1 ผลของชนิดของแหล่งกรด

จากการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกัน ซึ่งได้แก่ แอมโมเนียมฟอสเฟต (สูตร A1 และสูตร A2) และแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตในรูปสารละลาย (สูตร B1) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ (สูตร UN และสูตร UNE740) เมื่อนำมาจุดไฟจะติดไฟทันที และเกิดการลุกลามของเปลวไฟอย่างรุนแรงและรวดเร็วด้วยอัตราเร็ว 0.84 และ 0.81 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และผ้าจะถูกเผาไหม้จนหมดเหลือแต่เถ้า ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทุกสูตรก่อนการซักจะมีสมบัติหน่วงไฟใกล้เคียงกันและดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ กล่าวคือติดไฟช้า และมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟที่ต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อยและมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เองเมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดถ่านคาร์บอนหรือชาร์ (char) หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้นคือมีความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร A1, A2 และ B1 เท่ากับ 1.8, 0.9 และ 0.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการที่ผ้าฝ้ายหลังเคลือบด้วยสูตรสารเคลือบผิวทุกสูตรมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีก่อนการซัก แสดงให้เห็นว่าก่อนการซัก ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์จะมีสมบัติหน่วงไฟที่ดี ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อผ้าฝ้ายติดไฟ ความร้อนจะทำให้แอมโมเนียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเกิดการสลายตัวให้กรดฟอสฟอริก ซึ่งจะไปเอสเทอริฟายหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส เกิดเป็นชั้นของชาร์ปกคลุมพื้นผิวของเซลลูโลส ป้องกันไม่ให้เปลวไฟและแก๊สออกซิเจนสัมผัสกับเซลลูโลส นอกจากนี้ไอน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ยังช่วยเจือจางแก๊สที่ติดไฟง่ายให้มีปริมาณลดลงอีกด้วย

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด (สูตร A1 และสูตร A2) มาซักล้าง พบว่าผ้าฝ้ายมีสมบัติหน่วงไฟที่ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบก่อนการซัก แต่สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ โดยผ้าฝ้ายจะติดไฟภายใน 3 วินาที เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณมาก มีกลิ่นเหม็น เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะลุกลามไปอย่างช้าๆ ด้วยอัตราเร็ว 0.37 และ 0.27 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.2

และรูปที่ 4.1) เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่ยาวคือ มีความยาวเท่ากับ 13.5 และ 12.7 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.2) สำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด (สูตร B1) พบว่าเมื่อนำไปซักล้าง ผ้าฝ้ายยังมีสมบัติหน่วงไฟที่ดี ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ผ้าฝ้ายติดไฟช้า และมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ (ดูตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1) เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เอง เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้น คือมีความยาวของชาร์เท่ากับ 0.9 เซนติเมตร (ดูตารางที่ 4.2)

พฤติกรรมการติดไฟของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน และลักษณะของผ้าฝ้ายหลังการทดสอบสมบัติหน่วงไฟ แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ก่อนการซักผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ ไม่ว่าจะใช้แหล่งกรดตัวใดก็ตามจะมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ แต่เมื่อนำไปซักล้าง ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเป็นแหล่งกรดมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าแอมโมเนียมฟอสเฟตจึงละลายน้ำได้น้อยกว่า นั่นคือแหล่งกรดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าก็คือ แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต ดังนั้นในการดัดแปรและพัฒนาสูตรสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สูตรต่อไปสำหรับงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้แอมโมเนียม-พอลิฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด

ตารางที่ 4.2 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก

สูตร	Flame spread rate (เซนติเมตรต่อวินาที)		ความยาวของชาร์ (เซนติเมตร)	
	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
UN	0.84	0.76	BEL	BEL
UNE740	0.81	0.78	BEL	BEL
A1	n.d.[a]	0.37	1.8	13.5
A2	n.d.[a]	0.27	0.9	12.7
B1	n.d.[a]	n.d.[a]	0.8	0.9

n.d.: not detectable (เปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้)

a: เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

BEL: Burning entire length (ผ้าเกิดการลุกไหม้จนหมด)

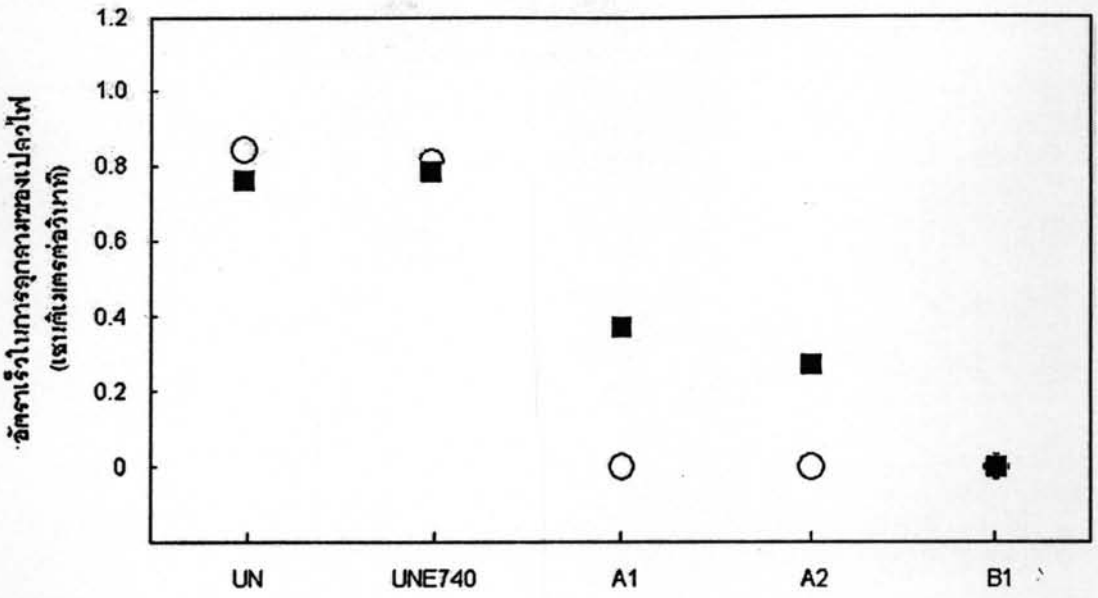
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

A1: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 10%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

A2: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%



รูปที่ 4.1 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซัก

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

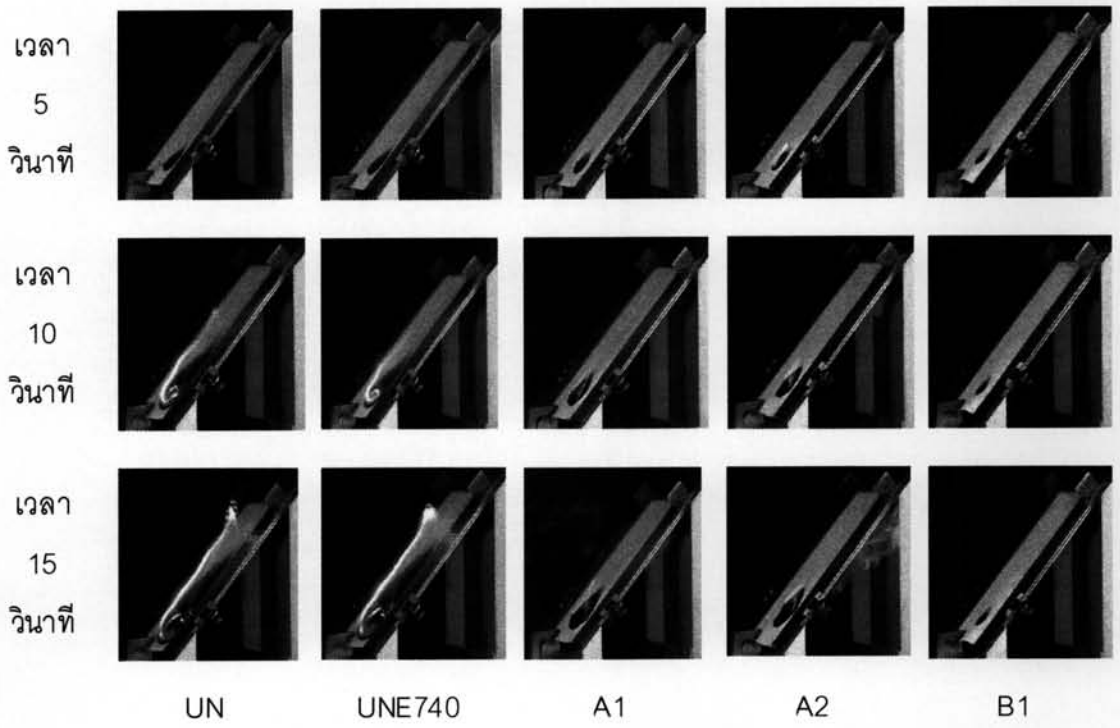
A1: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 10%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

A2: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

โดยที่ ○ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบก่อนซัก

■ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบหลังซัก



รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน

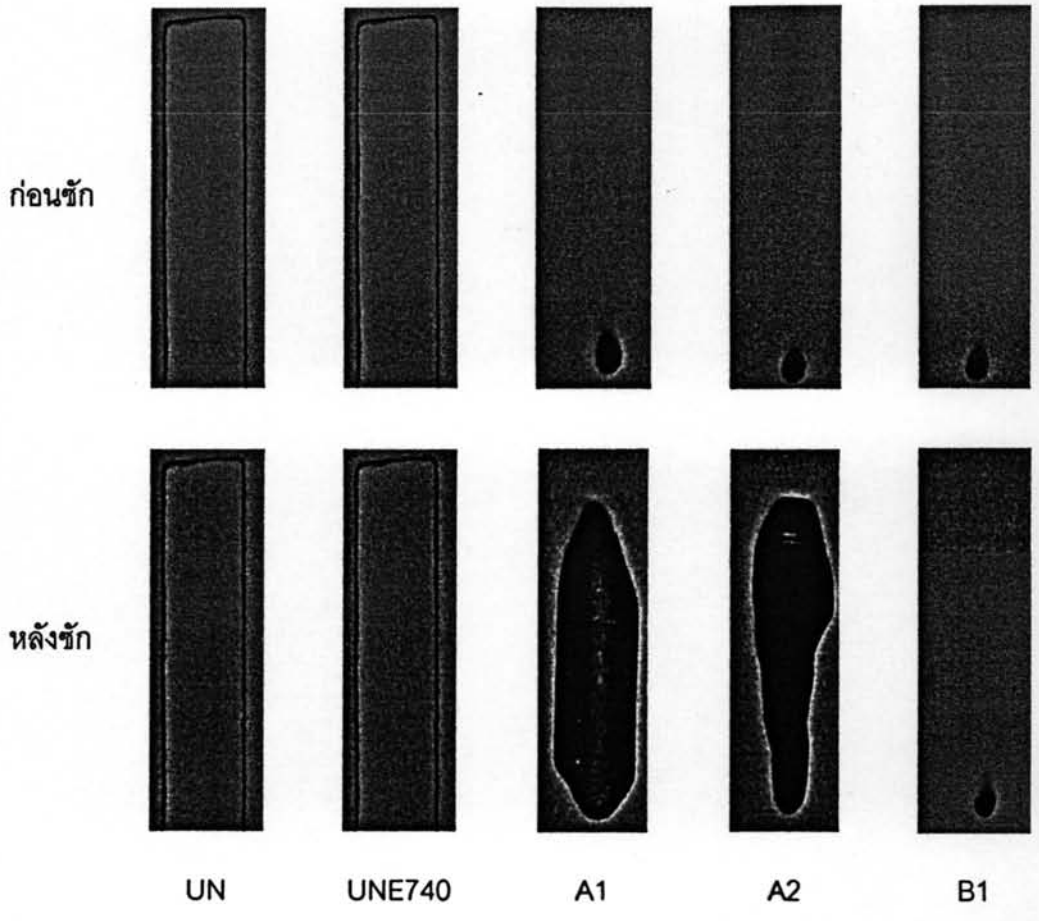
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

A1: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 10%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

A2: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid: NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%



รูปที่ 4.3 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

A1: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 10%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

A2: (3%) แป้ง 5%, ammonium phosphate 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

4.2.1.2 ผลของปริมาณแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต

จากการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สูตรที่มีปริมาณของผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตซึ่งเป็นแหล่งกรดแตกต่างกัน (ปริมาณ 5, 10 และ 15 ส่วนโดยน้ำหนัก; สูตร C1, C2 และ C3 ตามลำดับ) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทุกสูตรก่อนการซัก จะมีสมบัติหน่วงไฟใกล้เคียงกันและดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบติดไฟช้า และมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟที่ต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เอง เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้นคือมีความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร C1, C2 และ C3 เท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.8 เซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการใช้ผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตในสารเคลือบผิวที่ปริมาณต่างกันก่อนการซัก ไม่มีผลต่อสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้าย

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบทุกสูตรมาซักล้าง พบว่าผ้าฝ้ายมีสมบัติหน่วงไฟลดลง แต่ยังสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต 5 และ 10 ส่วนโดยน้ำหนัก (สูตร C1 และ C2 ตามลำดับ) จะติดไฟภายใน 3 วินาที เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณมาก และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟที่เกิดขึ้นลุกลามไปอย่างช้าๆ ด้วยอัตราเร็ว 0.24 และ 0.23 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (ดูตารางที่ 3.4 และรูปที่ 4.4) เกิดชาร์ปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่ยาวคือมีความยาวเท่ากับ 13.0 และ 13.5 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.3) สำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตรที่ใช้ผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต 15 ส่วนโดยน้ำหนัก (สูตร C3) พบว่าเมื่อนำไปซักล้างผ้าฝ้ายยังมีสมบัติหน่วงไฟที่ดี ซึ่งจะเห็นได้จากผ้าฝ้ายจะติดไฟช้า และมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟที่ช้ามาก ด้วยอัตราเร็ว 0.11 เซนติเมตรต่อวินาที (ดูตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4) นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เอง เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้นคือมีความยาวของชาร์เท่ากับ 3.5 เซนติเมตร (ดูตารางที่ 4.3)

พฤติกรรมการติดไฟของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน และลักษณะของผ้าฝ้ายหลังการทดสอบสมบัติหน่วงไฟ แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่า หลังการซักผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่มีปริมาณผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตสูงกว่าจะให้สมบัติหน่วงไฟที่ดีกว่า แต่ทั้งนี้ต้องมีการใช้ปริมาณผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตที่มากกว่า 10 ส่วนโดยน้ำหนัก จึงสามารถให้ประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่ดี

ตารางที่ 4.3 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก

สูตร	Flame spread rate (เซนติเมตรต่อวินาที)		ความยาวของชาร์ (เซนติเมตร)	
	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
UN	0.84	0.76	BEL	BEL
UNE740	0.81	0.78	BEL	BEL
C1	n.d.[a]	0.24	0.7	13.0
C2	n.d.[a]	0.23	0.8	13.5
C3	n.d.[a]	0.11[b]	0.8[b]	3.5[b]

n.d.: not detectable (เปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้)

a: เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

b: เปลวไฟของชิ้นตัวอย่างเคลื่อนที่ไม่ถึง stop cord แต่สามารถดับได้เอง

BEL: Burning entire length (ผ้าเกิดการลุกไหม้จนหมด)

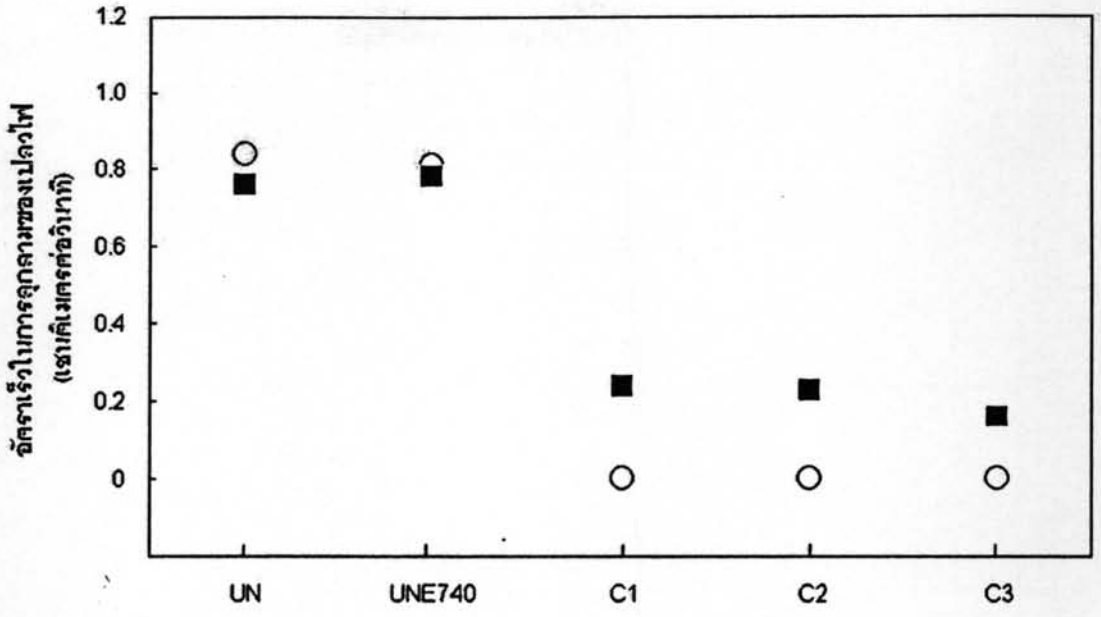
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

C1: (3%) แป้ง 5%, APP powder 5%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C2: (3%) แป้ง 5%, APP powder 10%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%



รูปที่ 4.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซัก

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

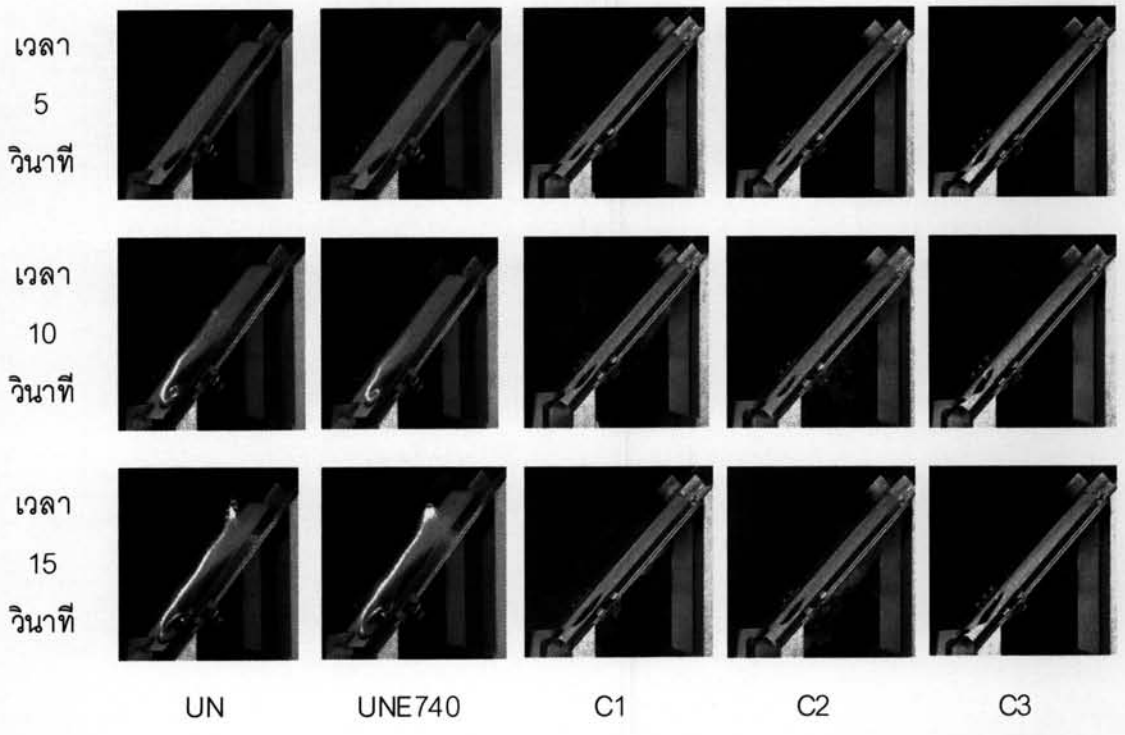
C1: (3%) แป้ง 5%, APP powder 5%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C2: (3%) แป้ง 5%, APP powder 10%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

โดยที่ ○ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบก่อนซัก

■ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบหลังซัก



รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน

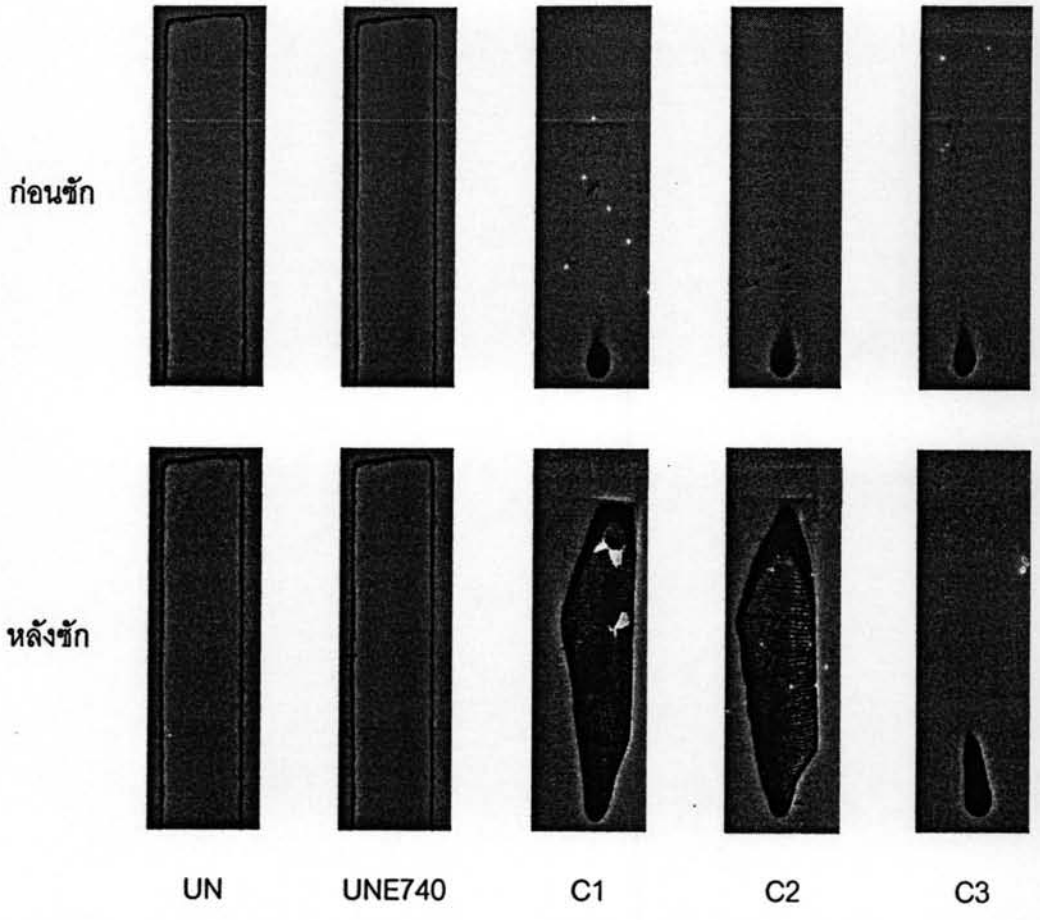
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

C1: (3%) แป้ง 5%, APP powder 5%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C2: (3%) แป้ง 5%, APP powder 10%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%



รูปที่ 4.6 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

C1: (3%) แป้ง 5%, APP powder 5%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C2: (3%) แป้ง 5%, APP powder 10%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

4.2.2 ผลของชนิดของแหล่งคาร์บอน

จากการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันซึ่งได้แก่ สตอกแป้งความเข้มข้นร้อยละ3 (สูตร B1) เพนตะเอริไทรทอล (สูตร B2) และไดเพนตะเอริไทรทอล (สูตร B3) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทุกสูตรทั้งก่อนและหลังการซัก จะมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟที่ต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เองเมื่อนำแหล่งต้นไฟออก (ดูตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7) เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้นคือมีความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร B1, B2 และ B3 ก่อนการซัก เท่ากันคือเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร B1, B2 และ B3 หลังการซัก เท่ากับ 0.9, 1.3 และ 1.2 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.4)

พฤติกรรมการติดไฟของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน และลักษณะของผ้าฝ้ายหลังการทดสอบสมบัติหน่วงไฟ แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง ทำให้สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ไม่ว่าจะใช้แหล่งคาร์บอนตัวใดก็ตาม จะมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบทั้งก่อนและหลังการซักซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากสารประกอบที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน มีปริมาณคาร์บอนและปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดชาร์ปริมาณใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติในการหน่วงไฟใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก

สูตร	Flame spread rate (เซนติเมตรต่อวินาที)		ความยาวของชาร์ (เซนติเมตร)	
	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
UN	0.84	0.76	BEL	BEL
UNE740	0.81	0.78	BEL	BEL
B1	n.d.[a]	n.d.[a]	0.8	0.9
B2	n.d.[a]	n.d.[a]	0.8	1.3
B3	n.d.[a]	n.d.[a]	0.8	1.2

n.d.: not detectable (เปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้)

a: เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

BEL: Burning entire length (ผ้าเกิดการลุกไหม้จนหมด)

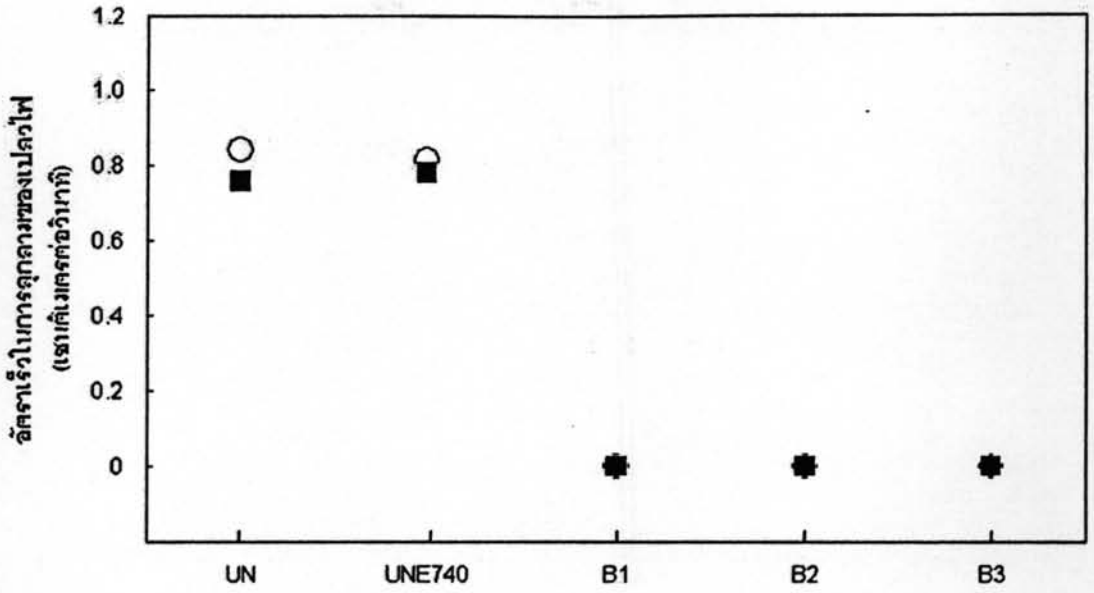
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B2: pentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B3: dipentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%



รูปที่ 4.7 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซัก

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

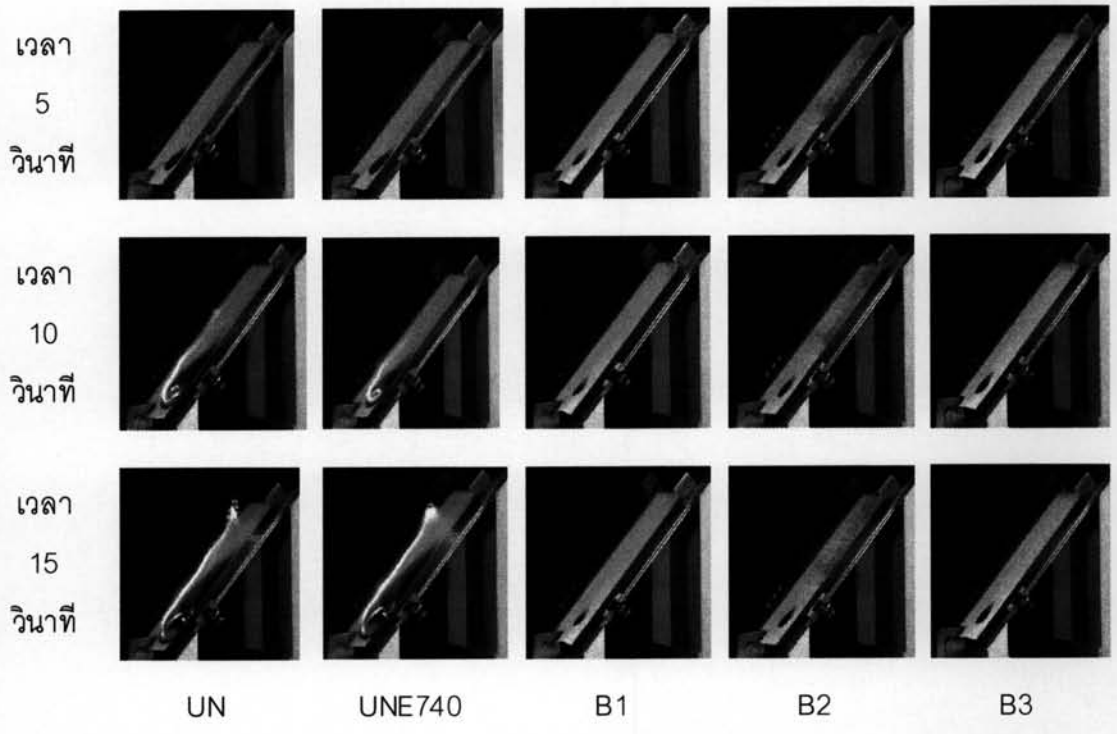
B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B2: pentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B3: dipentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

โดยที่ ○ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบก่อนซัก

■ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบหลังซัก



รูปที่ 4.8 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน

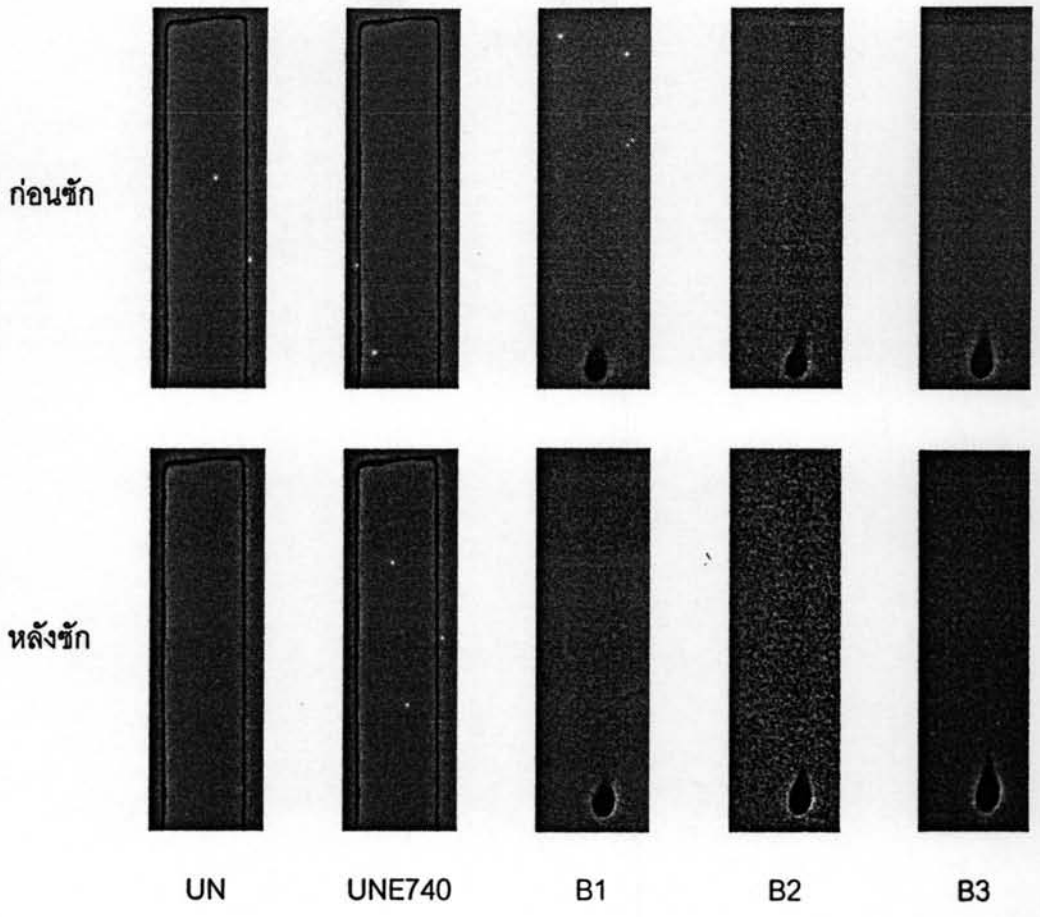
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid: NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B2: pentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B3: dipentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%



รูปที่ 4.9 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B2: pentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B3: dipentaerythritol 5%, APP (polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

4.2.3 ผลของชนิดของสารฟู

จากการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่สารฟูแตกต่างกัน ซึ่งได้แก่ ผงเมลามีน (สูตร B1) และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (สูตร B4) ได้ผลดังแสดงในดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทุกสูตรก่อนการซัก จะมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟที่ต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เองเมื่อนำแหล่งต้นไฟออก (ดูตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10) เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้นคือมีความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร B1 และ B4 เท่ากับ 0.8 และ 1.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้ผงเมลามีนเป็นสารฟู (สูตร B1) มาซักล้าง พบว่าผ้าฝ้ายผ้าฝ้ายยังมีสมบัติหน่วงไฟที่ดี ซึ่งจะเห็นได้จากผ้าฝ้ายติดไฟช้า และมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ (ดูตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10) เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เอง เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้น คือมีความยาวของชาร์เท่ากับ 0.9 เซนติเมตร (ดูตารางที่ 4.5) สำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตรที่ใช้เมลามีนฟอร์มัลไฮด์เรซินเป็นสารฟู (สูตร B4) พบว่าผ้าฝ้ายมีสมบัติหน่วงไฟที่ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบก่อนการซัก แต่สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ โดยผ้าฝ้ายจะติดไฟภายใน 3 วินาที เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณมาก มีกลิ่นเหม็น เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะลุกลามไปอย่างช้าๆ ด้วยอัตราเร็ว 0.25 เซนติเมตรต่อวินาที (ดูตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10) เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่ยาว คือมีความยาวเท่ากับ 12.5 เซนติเมตร (ดูตารางที่ 4.5)

พฤติกรรมการติดไฟของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน และลักษณะของผ้าฝ้ายหลังการทดสอบสมบัติหน่วงไฟ แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่ใช้ผงเมลามีนมีสมบัติหน่วงไฟดีกว่าใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน เป็นผลมาจากเมื่อผ้าฝ้ายติดไฟ ความร้อนจะทำให้ผงเมลามีนเกิดการสลายตัวได้เป็นแก๊สแอมโมเนียที่ไม่ติดไฟ ทำให้เกิดการพองตัวเป็นโฟมได้ดีกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะ

หลอมเหลวเป็นชั้นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวผ้าฝ้าย นอกจากนี้ผงเมลามีนยังมีปริมาณไนโตรเจนปฐมภูมิ (primary nitrogen) สูงกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเสริม (synergist) ให้กับแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตในการทำให้เกิดชาร์เพิ่มขึ้นโดยไนโตรเจนจะทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ส่งผลให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างฟอสฟอรัสและไนโตรเจน และเมื่อฟอสฟอรัสสลายตัวกลายเป็นกรดฟอสฟอริกแล้วจะช่วยให้กรดฟอสฟอริกสามารถทำปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันกับเซลลูโลสได้ง่ายขึ้นเนื่องจากสภาพความเป็นบวก (electrophilicity) ของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น สามารถขจัดน้ำออกไปจากหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมีอยู่ปริมาณมากของเซลลูโลสและแหล่งคาร์บอนเกิดเป็นชั้นชาร์ปกคลุมพื้นผิวของเซลลูโลส ป้องกันไม่ให้เปลวไฟและแก๊สออกซิเจนสัมผัสกับเซลลูโลสและไอน้ำที่เกิดขึ้นยังช่วยเจือจางแก๊สที่ติดไฟง่ายให้ลดลงอีกด้วย สามารถปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนและแอมโมเนียมาเจือจางแก๊สที่ติดไฟ

ตารางที่ 4.5 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก

สูตร	Flame spread rate (เซนติเมตรต่อวินาที)		ความยาวของชาร์ (เซนติเมตร)	
	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
UN	0.84	0.76	BEL	BEL
UNE740	0.81	0.78	BEL	BEL
B1	n.d.[a]	n.d.[a]	0.8	0.9
B4	n.d.[a]	0.25	1.3	12.5

n.d.: not detectable (เปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้)

a: เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

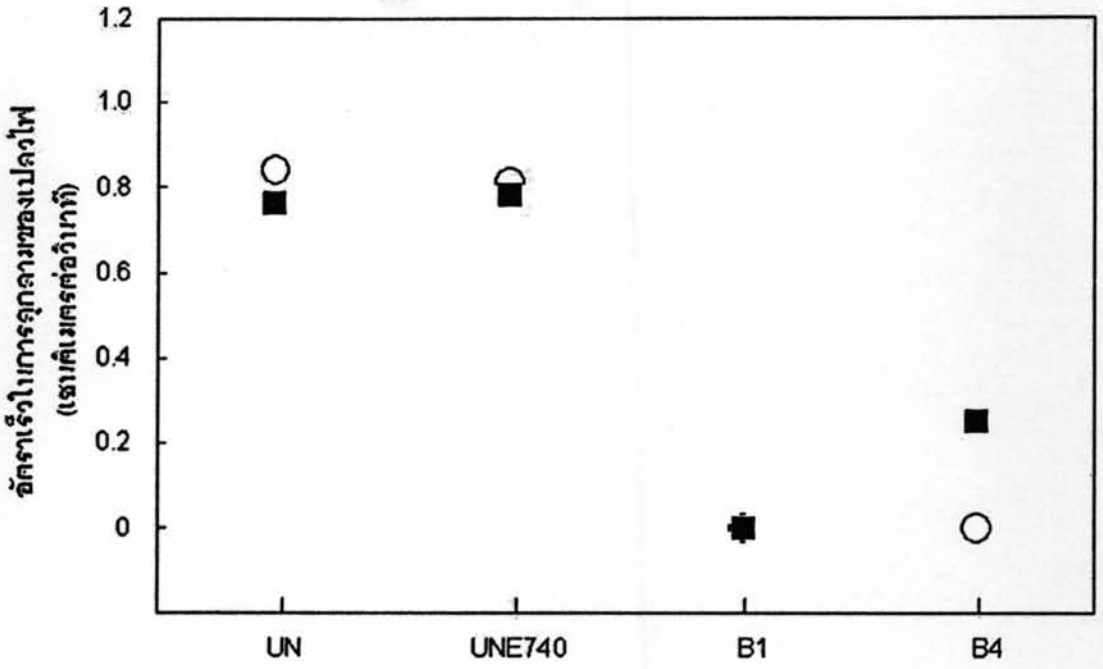
BEL: Burning entire length (ผ้าเกิดการลุกไหม้จนหมด)

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B4: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine formaldehyde resin 15% และ EVA copolymer 15%



รูปที่ 4.10 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซัก

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

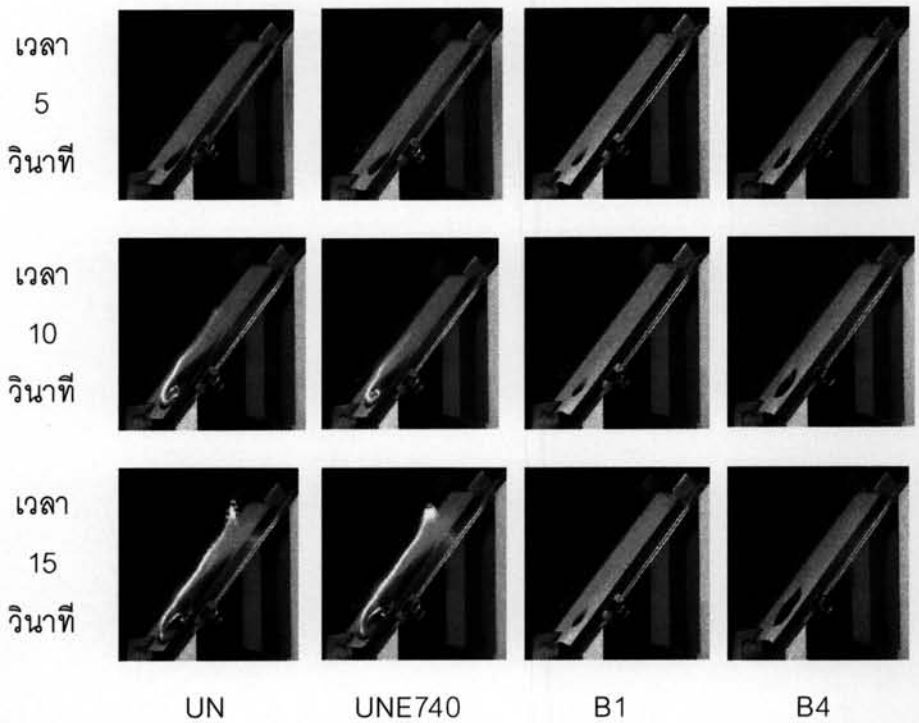
UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B4: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine formaldehyde resin 15% และ EVA copolymer 15%

โดยที่ ○ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบก่อนซัก

■ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบหลังซัก



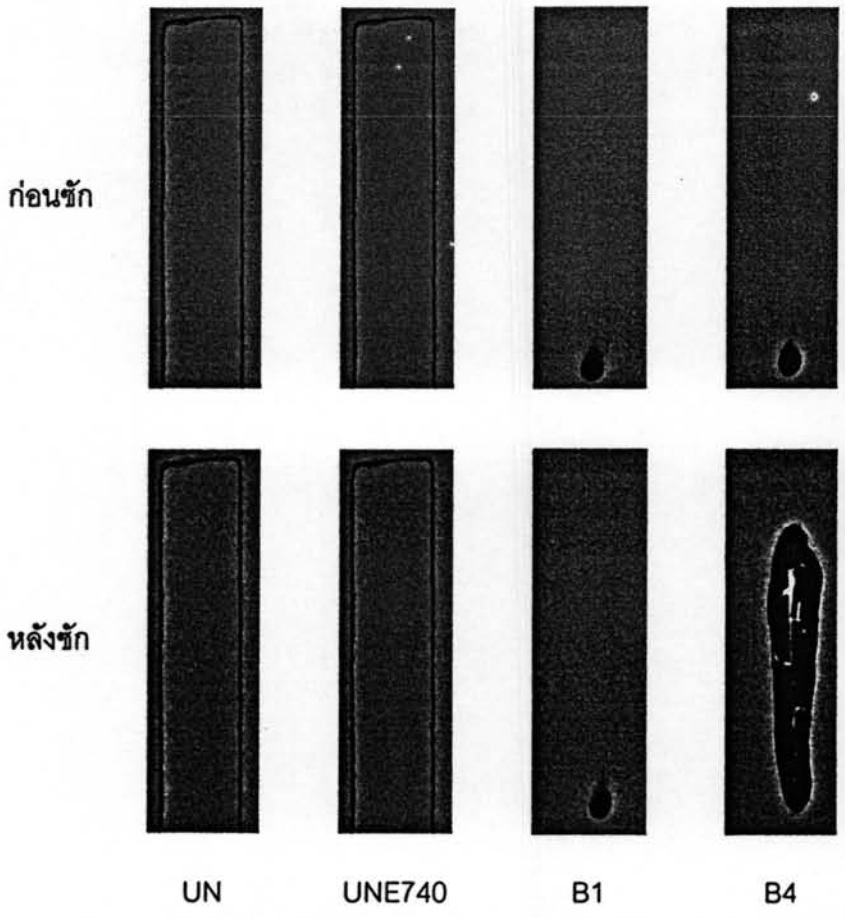
รูปที่ 4.11 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B4: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine formaldehyde resin 15% และ EVA copolymer 15%



รูปที่ 4.12 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

B4: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine formaldehyde resin 15% และ EVA copolymer 15%

4.2.4 ผลของชนิดของสารยึด

จากการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่ใช้สารยึดแตกต่างกัน ซึ่งได้แก่ เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (สูตร B1) อะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สูตร C3) และ 100% อะคริลิกอิมัลชัน (สูตร C4) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.13 โดยพบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทุกสูตรทั้งก่อนและหลังการซัก จะมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟที่ต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เกิดควันสีน้ำตาลปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้เปลวไฟสามารถดับได้เองเมื่อนำแหล่งต้นไฟออก (ดูตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.13) เกิดชาร์หลงเหลืออยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับความยาวของชาร์ที่สั้นคือ มีความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร B1, C3 และ C4 ก่อนการซัก เท่ากับ 0.8, 0.8 และ 0.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร B1, C3 และ C4 หลังการซัก เท่ากับ 0.9, 3.5 และ 0.8 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.6)

พฤติกรรมการติดไฟของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน และลักษณะของผ้าฝ้ายหลังการทดสอบสมบัติหน่วงไฟ แสดงไว้ในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า สมบัติหน่วงไฟของสารเคลือบผิวที่ใช้สารยึดเป็นเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ 100% อะคริลิกอิมัลชัน และอะคริลิกโคพอลิเมอร์ มีสมบัติหน่วงไฟที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากให้ฟิล์มที่สามารถเกาะยึดกับผืนผ้าและอนุภาคขององค์ประกอบต่างๆ ของสารเคลือบผิวได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบที่เป็นพื้นผิวและสัมผัสปรากฏว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์จะให้พื้นผิวและสัมผัสที่นุ่มกว่า ดังนั้นเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์จึงเป็นสารยึดที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.6 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก

สูตร	Flame spread rate (เซนติเมตรต่อวินาที)		ความยาวของชาร์ (เซนติเมตร)	
	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
UN	0.84	0.76	BEL	BEL
UNE740	0.81	0.78	BEL	BEL
B1	n.d.[a]	n.d.[a]	0.8	0.9
C3	n.d.[a]	0.11[b]	0.8[b]	3.5[b]
C4	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5	0.8

n.d.: not detectable (เปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้)

a: เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

b: เปลวไฟของชิ้นตัวอย่างเคลื่อนที่ไม่ถึง stop cord แต่สามารถดับได้เอง

BEL: Burning entire length (ผ้าเกิดการลุกไหม้จนหมด)

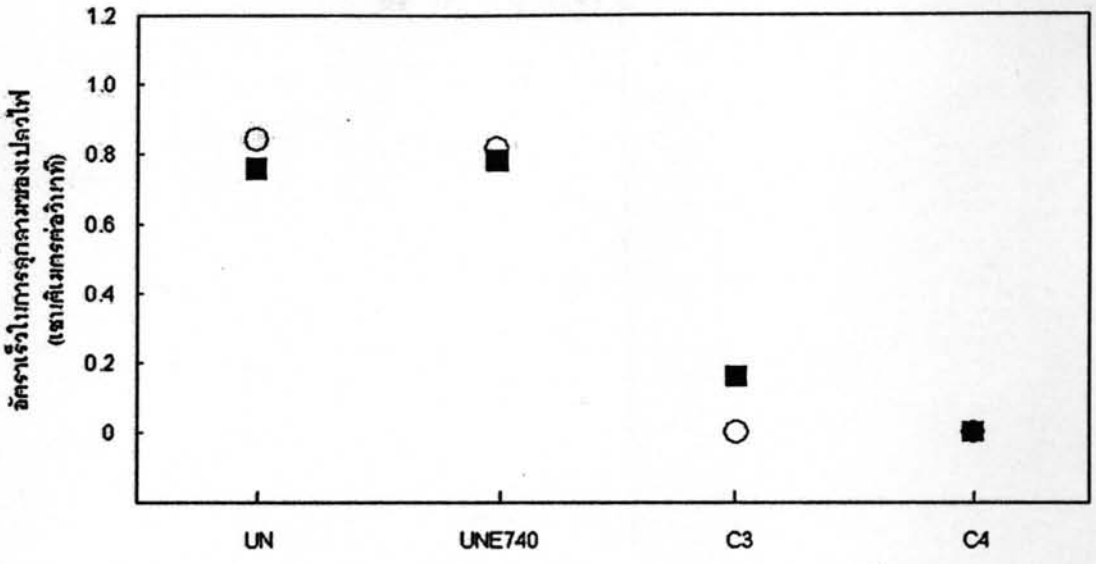
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C4: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ 100% acrylic emulsion 25%



รูปที่ 4.13 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซัก

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

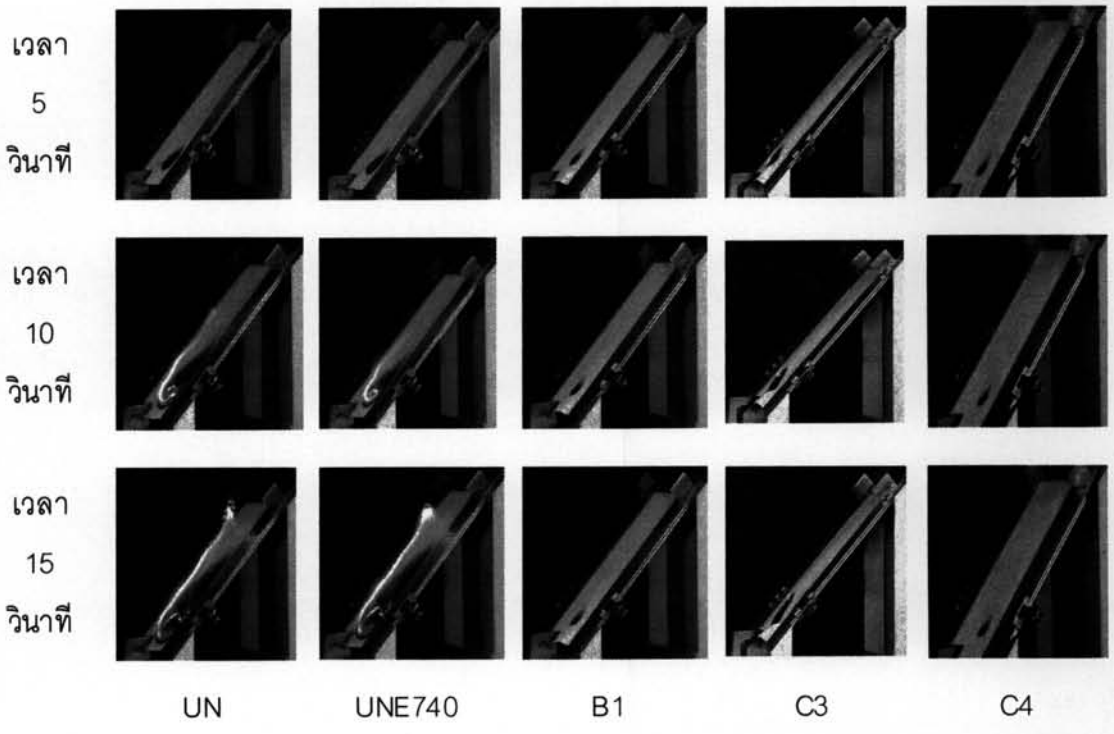
B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C4: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ 100% acrylic emulsion 25%

โดยที่ ○ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบก่อนซัก

■ คือ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบหลังซัก



รูปที่ 4.14 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน

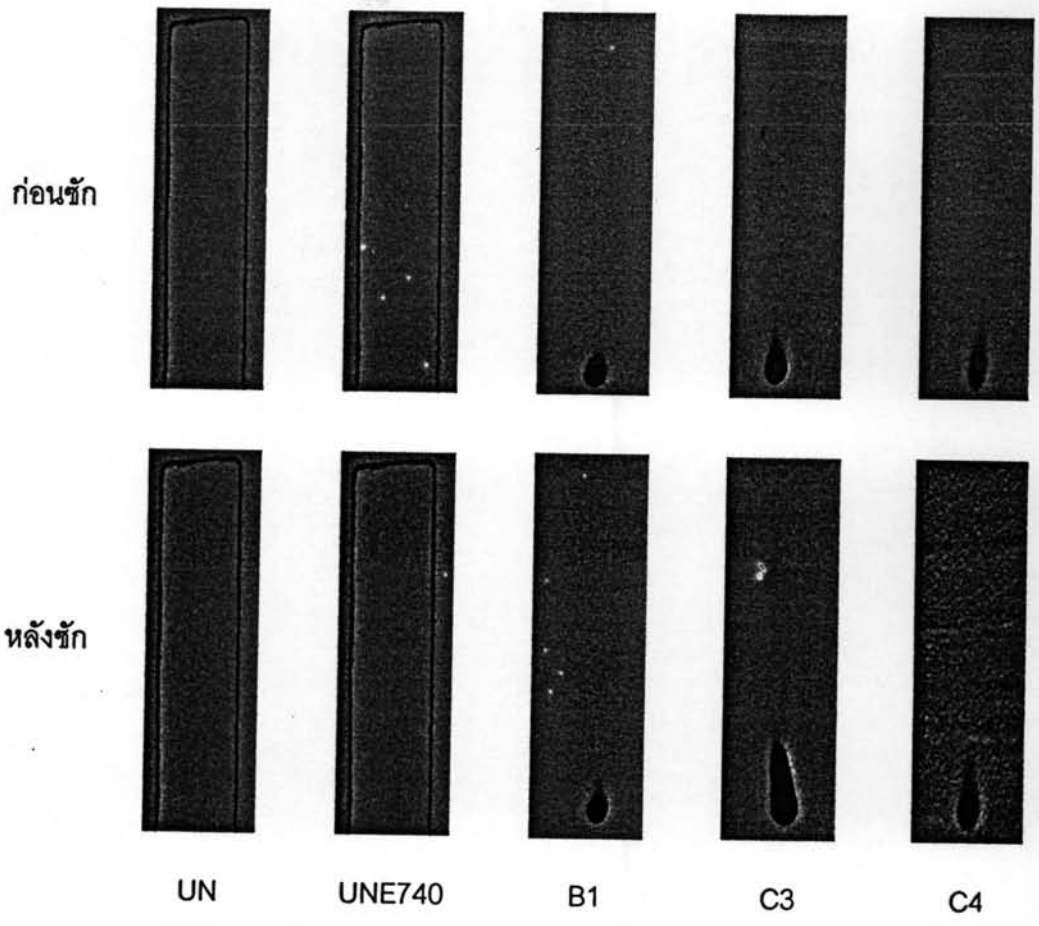
UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C4: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ 100% acrylic emulsion 25%



รูปที่ 4.15 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ

UN: ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์

UNE740: ผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก

B1: (3%) แป้ง 5%, APP(polyphosphoric acid:NH_4OH เป็น 1:1) 20%, melamine powder 15% และ EVA copolymer 15%

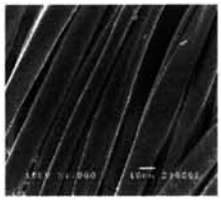
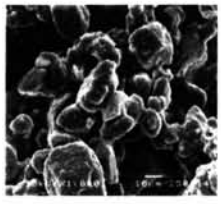
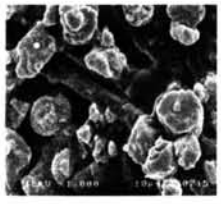
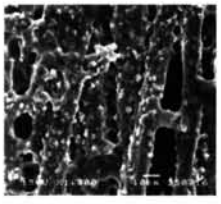
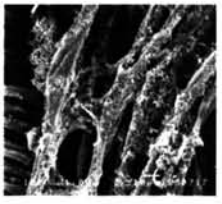
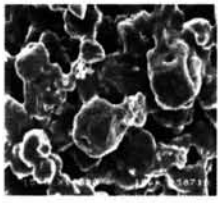
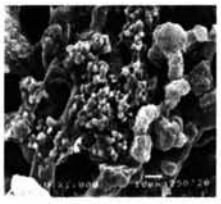
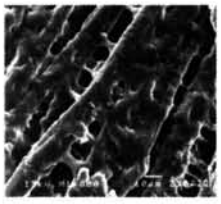
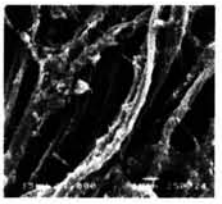
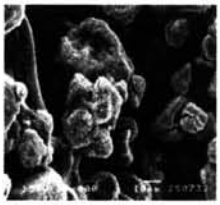
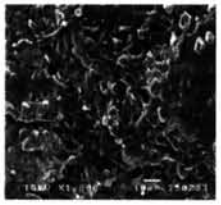
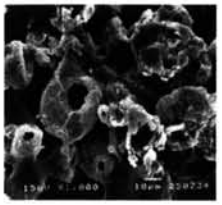
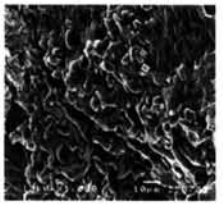
C3: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ all acrylic copolymer 25%

C4: (3%) แป้ง 5%, APP powder 15%, melamine powder 15% และ 100% acrylic emulsion 25%

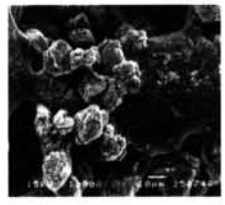
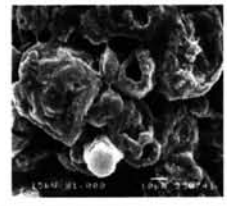
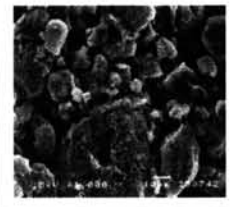
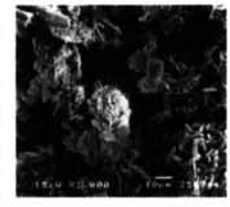
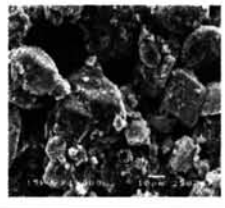
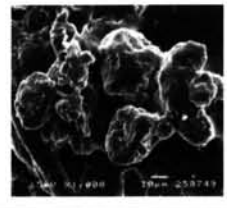
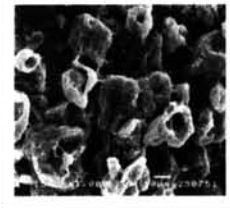
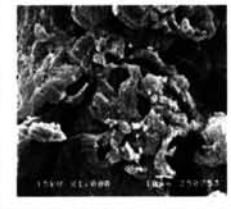
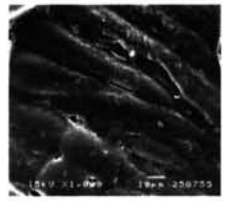
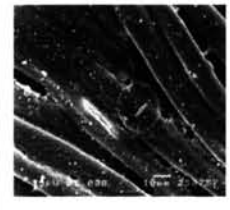
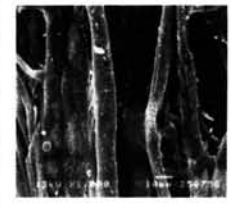
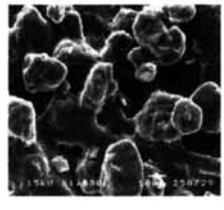
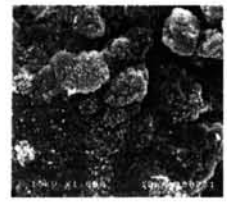
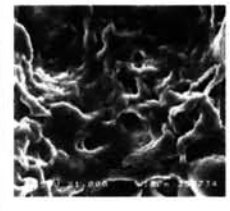
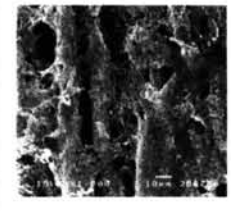
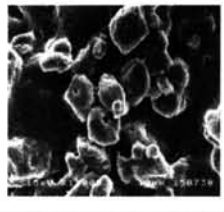
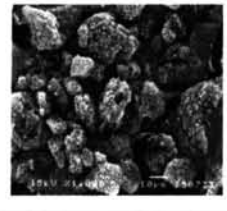
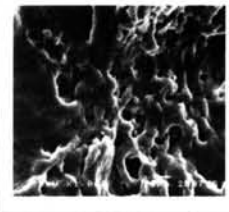
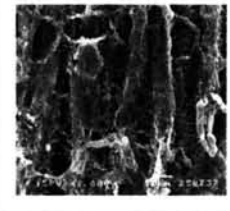
4.3 การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทั้งก่อนและหลังการซักล้างไปตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

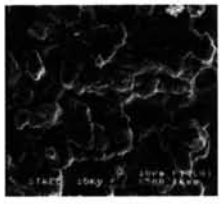
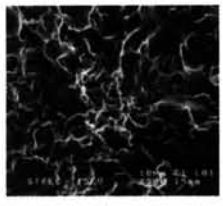
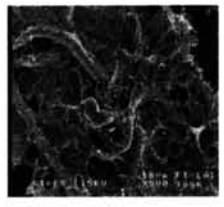
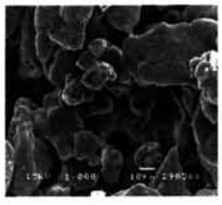
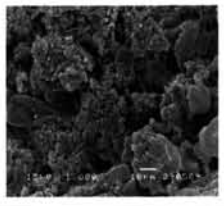
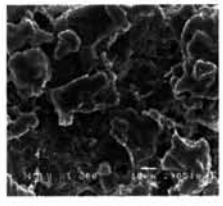
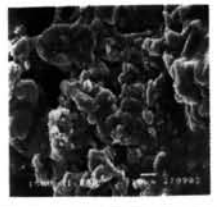
ตารางที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทั้งก่อนและหลังการซักล้าง ทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ (ที่กำลังขยาย 1000 เท่า)

สูตร	ภาพถ่ายผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวก่อนการซัก		ภาพถ่ายผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวหลังการซัก	
	ก่อนการเผาไหม้	หลังการเผาไหม้	ก่อนการเผาไหม้	หลังการเผาไหม้
UN		-	-	-
UNE740		-	-	-
A1				
A2				
B1				

ตารางที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทั้งก่อนและหลังการซักล้าง ทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ (ที่กำลังขยาย 1000 เท่า) (ต่อ)

สูตร	ภาพถ่ายผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวก่อนการซัก		ภาพถ่ายผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวหลังการซัก	
	ก่อนการเผาไหม้	หลังการเผาไหม้	ก่อนการเผาไหม้	หลังการเผาไหม้
B2				
B3				
B4				
C1				
C2				

ตารางที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทั้งก่อนและหลังการซักล้าง ทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ (ที่กำลังขยาย 1000 เท่า) (ต่อ)

สูตร	ภาพถ่ายผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวก่อนการซัก		ภาพถ่ายผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบผิวหลังการซัก	
	ก่อนการเผาไหม้	หลังการเผาไหม้	ก่อนการเผาไหม้	หลังการเผาไหม้
C3				
C4				

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ก่อนการซักและก่อนการเผาไหม้ พื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบทุกสูตร ยกเว้นผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร B4 (ใช้เมลามีนฟอร์มัล-ดีไฮด์เรซินเป็นสารฟู) มีอนุภาคของสารเคลือบผิวปกคลุมเส้นใยเป็นจำนวนมาก โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร B4 ไม่พบอนุภาคของสารเคลือบผิวเกาะติดที่พื้นผิวเส้นใย แต่จะมีฟิล์มเคลือบอยู่บนเส้นใย ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางกลายเป็นฟิล์มเคลือบอยู่บนเส้นใย และเมื่อนำผ้าฝ้ายไปเผาไหม้ จะเห็นได้ว่าพื้นผิวผ้าฝ้ายมีชาร์ปกคลุมพื้นผิวปริมาณมาก

เมื่อนำผ้าฝ้ายมาซักล้าง ได้ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาดังนี้

(1) ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด (สูตร A1 และสูตร A2) ก่อนการเผาไหม้ มีอนุภาคของสารเคลือบผิวที่พื้นผิวเส้นใยหลงเหลือน้อยมาก ทำให้สามารถมองเห็นพื้นผิวเส้นใย ซึ่งเป็นผลมาจากแอมโมเนียมฟอสเฟตละลายน้ำได้จึงหลุดออกไประหว่างการซักล้าง ซึ่งเมื่อนำผ้าฝ้ายไปเผาไหม้ จึงทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นชาร์ลดลง ทำให้ได้ชั้นชาร์ที่ค่อนข้างบางและไม่เกิดการพองตัวเป็นชั้นโฟม ในขณะที่ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต (สูตร B1)

ก่อนการเผาไหม้ ยังคงมีอนุภาคของสารเคลือบผิวที่พื้นผิวเส้นใยจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตสามารถทนน้ำได้ดีกว่าแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติหน่วงไฟ และเมื่อนำผ้าฝ้ายดังกล่าวไปเผาไหม้ จะมีชั้นชาร์ที่หนาเกิดขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วพื้นผิวเส้นใย ทำให้มีสมบัติหน่วงไฟได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร ที่ใช้แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต

(2) ก่อนการเผาไหม้ ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้เพนตะเอริไทรทอล และไดเพนตะเอริไทรทอล เป็นแหล่งคาร์บอน (สูตร B2 และสูตร B3 ตามลำดับ) ยังคงมีอนุภาคของสารเคลือบผิวที่พื้นผิวเส้นใยจำนวนมาก และเมื่อนำผ้าฝ้ายดังกล่าวไปเผาไหม้ จะมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่พื้นผิวชาร์ซึ่งเกาะอยู่บนพื้นผิวผ้าฝ้าย ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอน (สูตร B1) ยังคงมีอนุภาคของสารเคลือบผิวที่พื้นผิวเส้นใยหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน แต่เมื่อนำไปเผาไหม้ พบว่าชาร์ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากชาร์ของสารเคลือบผิวที่ใช้เพนตะเอริไทรทอล และไดเพนตะเอริไทรทอล กล่าวคือชาร์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นชั้นหนาปกคลุมอยู่ทั่วทั้งพื้นผิวเส้นใย แต่ไม่พบฟองอากาศหรือการพองตัวเป็นชั้นโฟม อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารเคลือบผิวทุกสูตรไม่ว่าจะใช้แป้ง เพนตะเอริไทรทอล หรือไดเพนตะเอริไทรทอล เป็นแหล่งคาร์บอน ยังคงให้ชั้นชาร์ที่หนาและปกคลุมพื้นผิวเส้นใย จึงทำให้ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวดังกล่าวมีสมบัติหน่วงไฟที่ดี

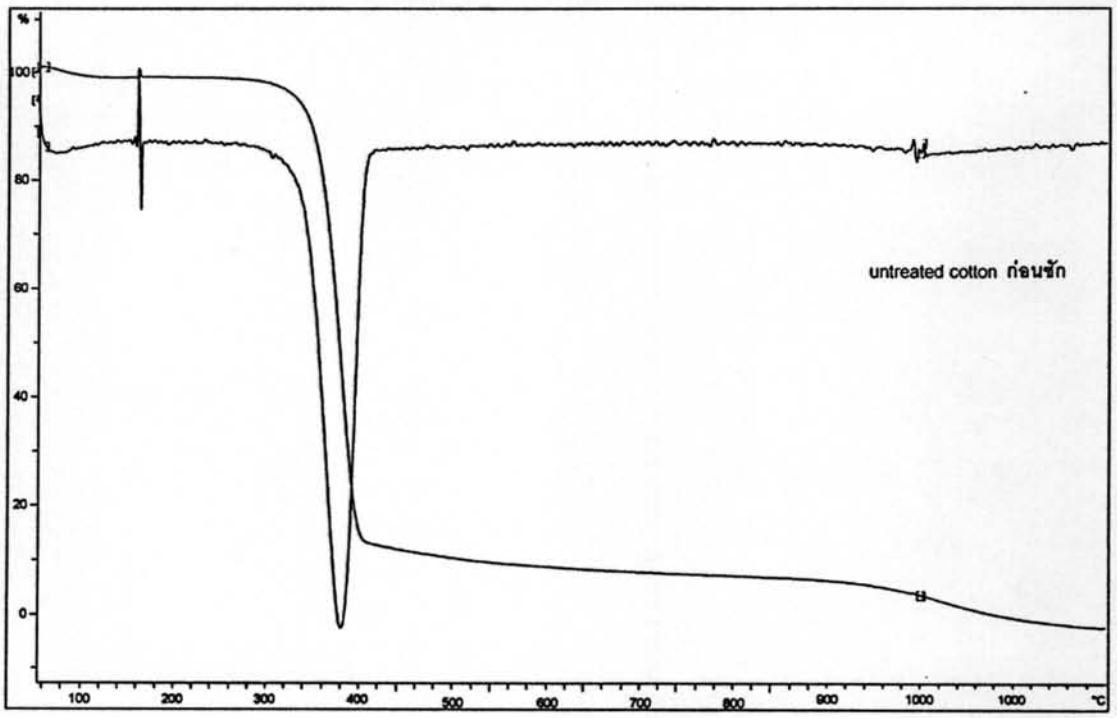
(3) ก่อนการเผาไหม้ ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเป็นสารฟู (สูตร B4) ไม่พบอนุภาคของสารเคลือบผิวเกาะอยู่ที่พื้นผิวเส้นใยแต่จะมีฟิล์มเคลือบอยู่ โดยที่ความหนาของฟิล์มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการซักล้าง ซึ่งเมื่อนำไปเผาไหม้ พบว่าชาร์เกิดขึ้นปริมาณน้อยมาก ในขณะที่ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ผงเมลามีนเป็นสารฟู (สูตร B1) ก่อนการเผาไหม้ พบอนุภาคของสารเคลือบผิวเกาะที่พื้นผิวเส้นใยหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก และเมื่อนำไปเผาไหม้ พบว่าเกิดชาร์ค่อนข้างหนาที่ไม่พองตัวเป็นชั้นโฟมปกคลุมอยู่ทั่วพื้นผิวเส้นใย ส่งผลให้ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ผงเมลามีนมีสมบัติหน่วงไฟดีกว่าสูตรที่ใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน

(4) ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณผงแอมโมเนียม-พอลิฟอสเฟตต่างกัน คือ 5, 10 และ 15 ส่วนโดยน้ำหนัก (สูตร C1, C2 และ C3 ตามลำดับ) ก่อนการเผาไหม้ พบอนุภาคของสารเคลือบผิวเล็กน้อยและพื้นผิวไม่เรียบ และเมื่อนำไปเผาไหม้ พบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต 5 และ 10 ส่วน

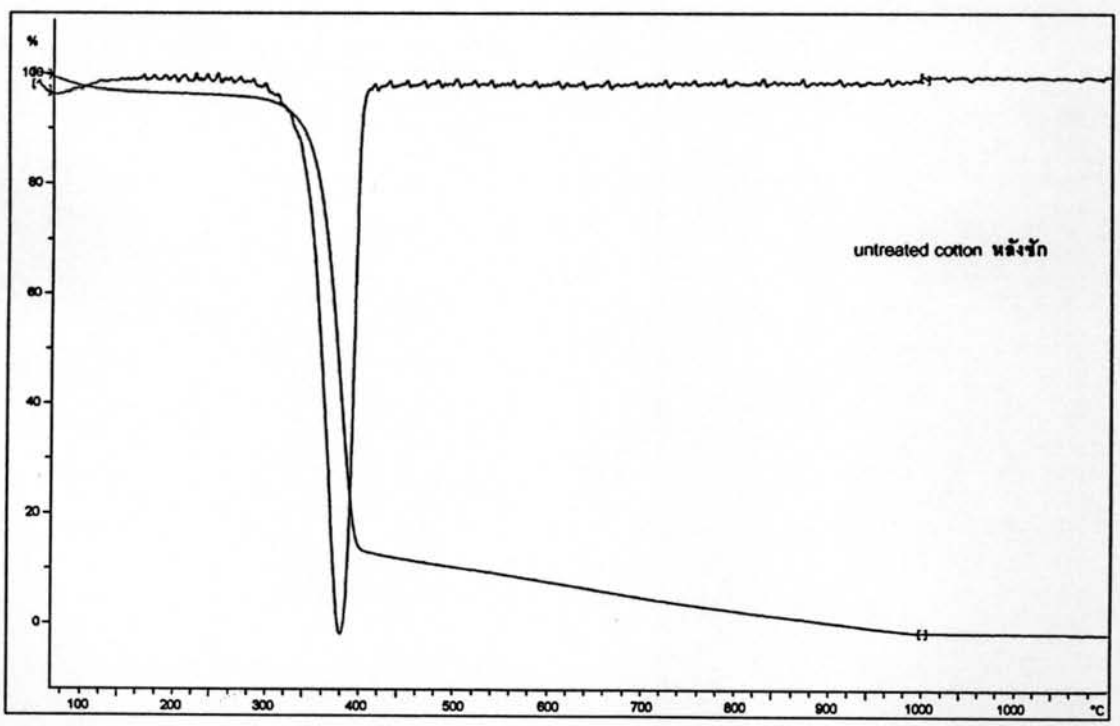
โดยน้ำหนัก เกิดชาร์ปกคลุมพื้นผิวเส้นใยอยู่เป็นจำนวนมาก และปริมาณชาร์ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ผงพอลิฟอสเฟต 15 ส่วนโดยน้ำหนัก

4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ ทั้งก่อนและหลังการซัก โดยเลือกผ้าฝ้ายที่มีสมบัติหน่วงไฟปานกลางหลังการซัก (ติดไฟช้า แต่ไม่สามารถดับได้ด้วยตัวเองเมื่อนำแหล่งต้นไฟออก; สูตร A1 และสูตร A2 ซึ่งใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด) และผ้าฝ้ายที่มีสมบัติการหน่วงไฟที่ดีหลังการซัก (ติดไฟช้า เปลวไฟสามารถดับได้ด้วยตัวเองเมื่อนำแหล่งต้นไฟออก; สูตร C3 และสูตร C4 ซึ่งใช้ผงแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด) โดยใช้เทคนิค TGA ตั้งแต่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสถึง 1000 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศที่มีไนโตรเจน แสดงดังรูปที่ 4.16–4.23 และตารางที่ 4.8

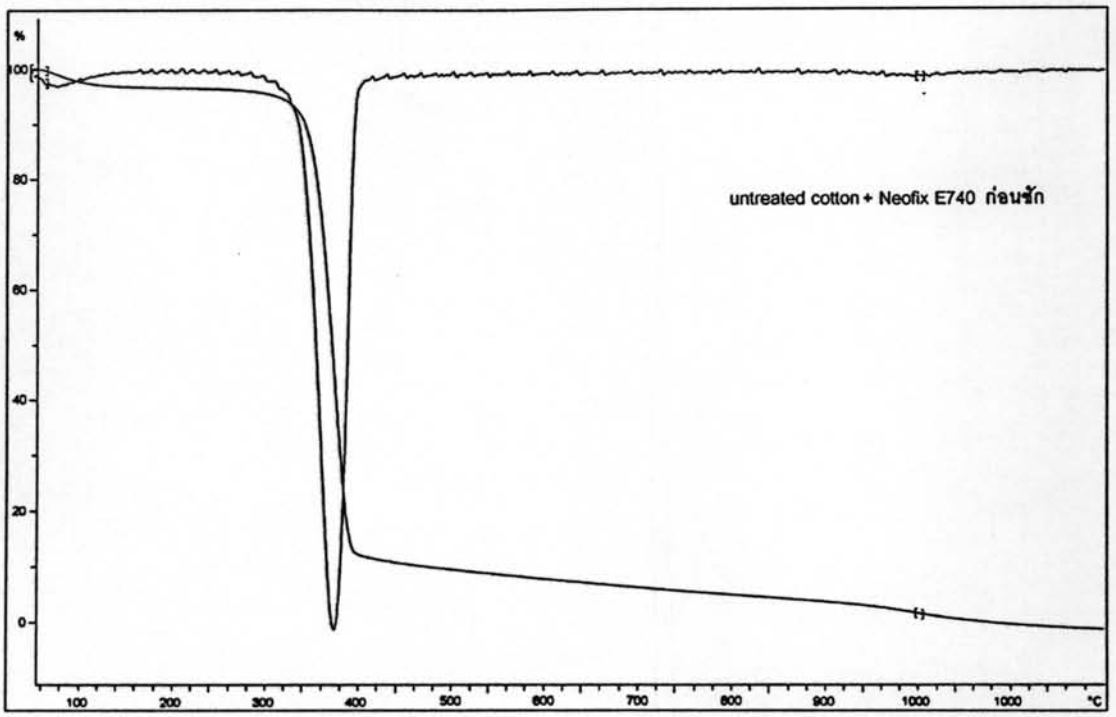


(ก)

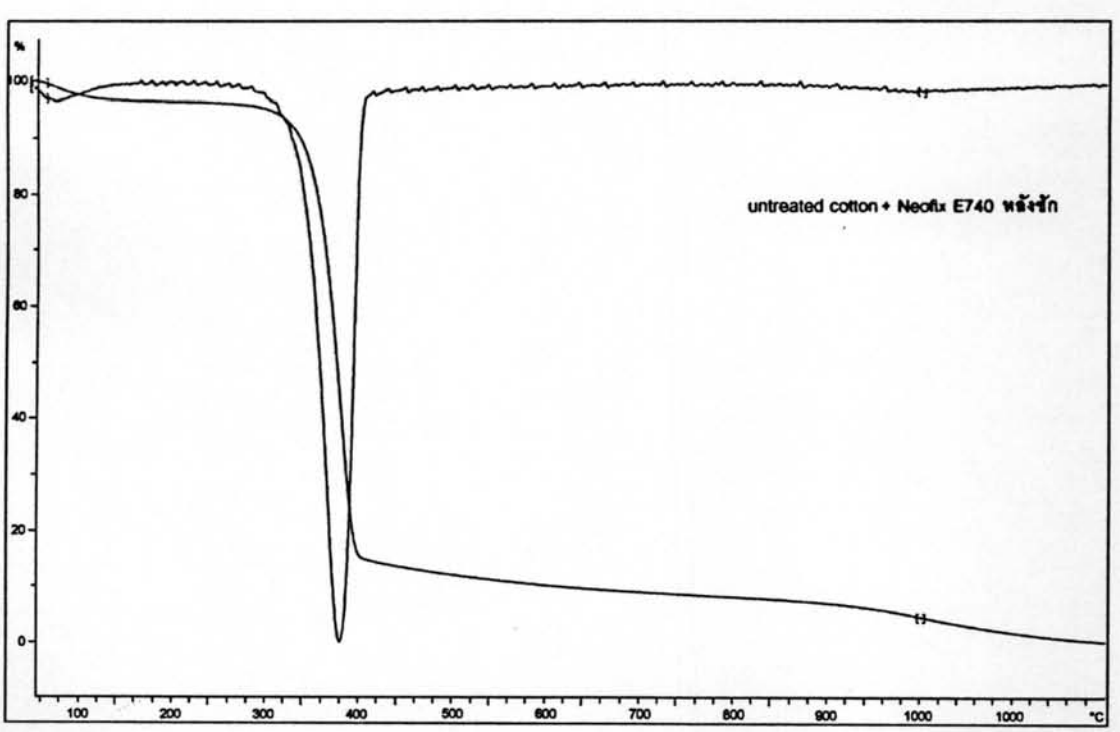


(ข)

รูปที่ 4.16 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ (ก) ก่อนซัก และ (ข) หลังซัก

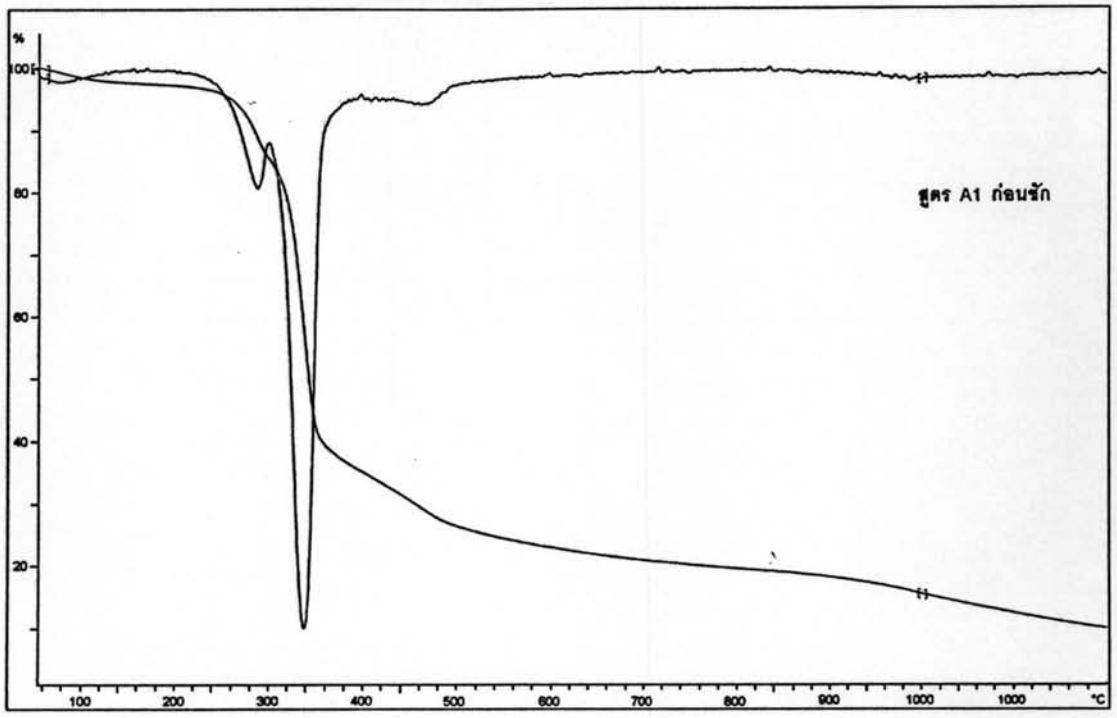


(ก)

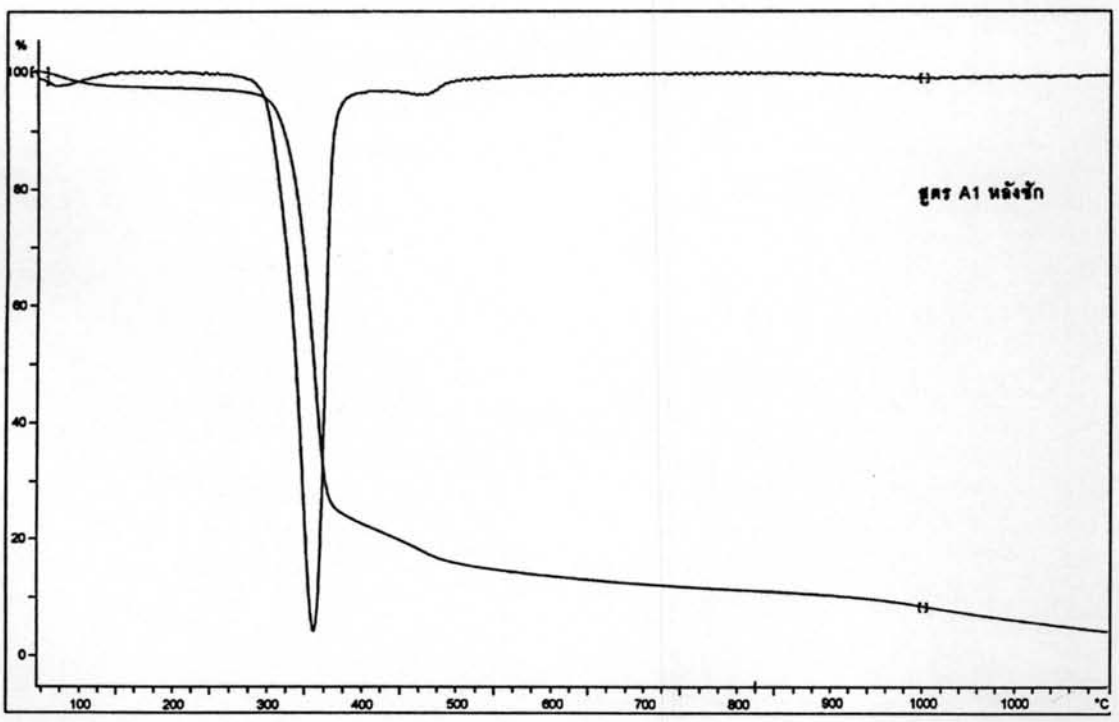


(ข)

รูปที่ 4.17 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก Neofix E740 (ก) ก่อนซัก และ (ข) หลังซัก

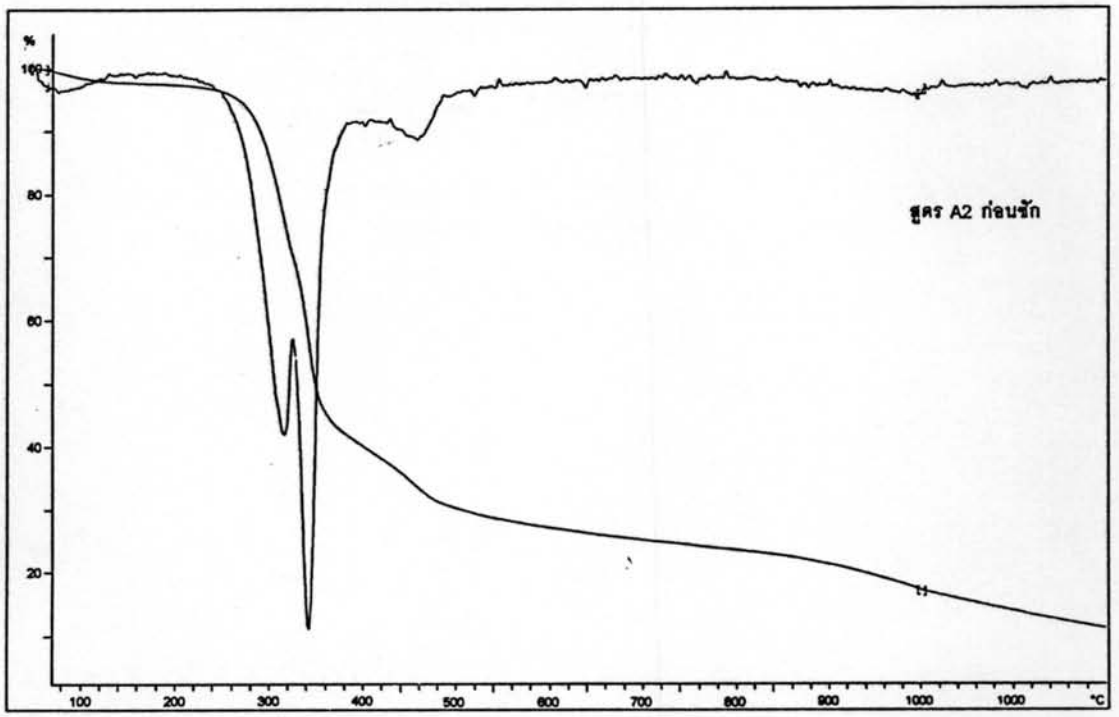


(ก)

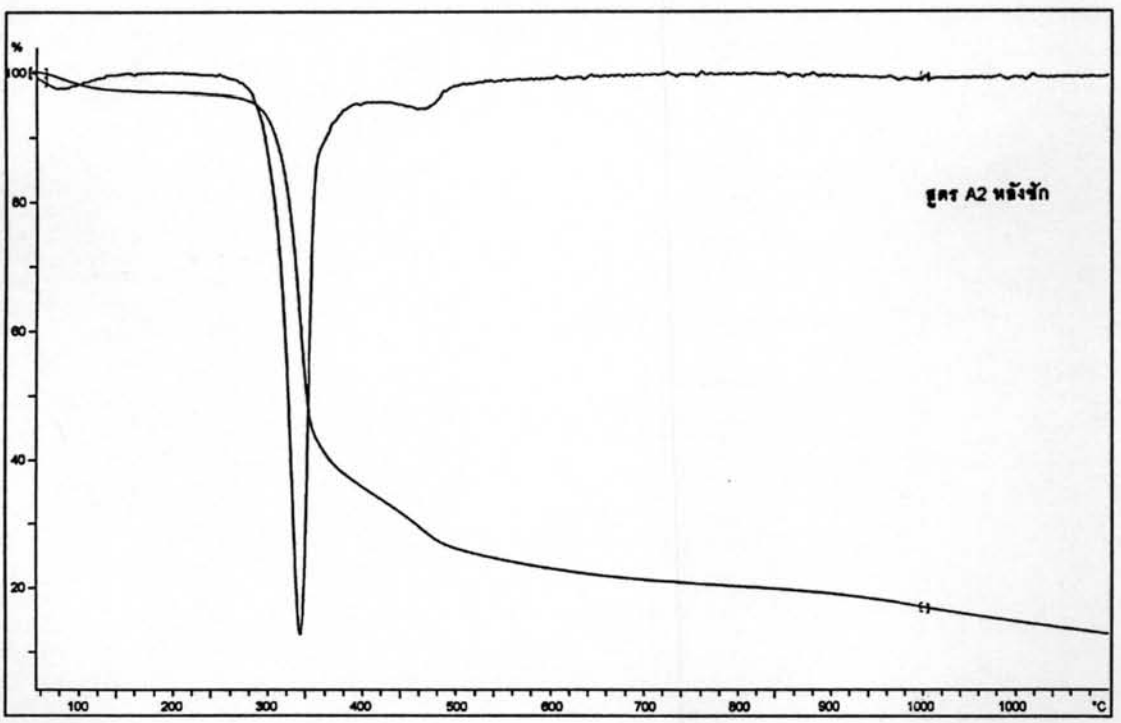


(ข)

รูปที่ 4.18 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร A1 (ก) ก่อนซัก และ (ข) หลังซัก

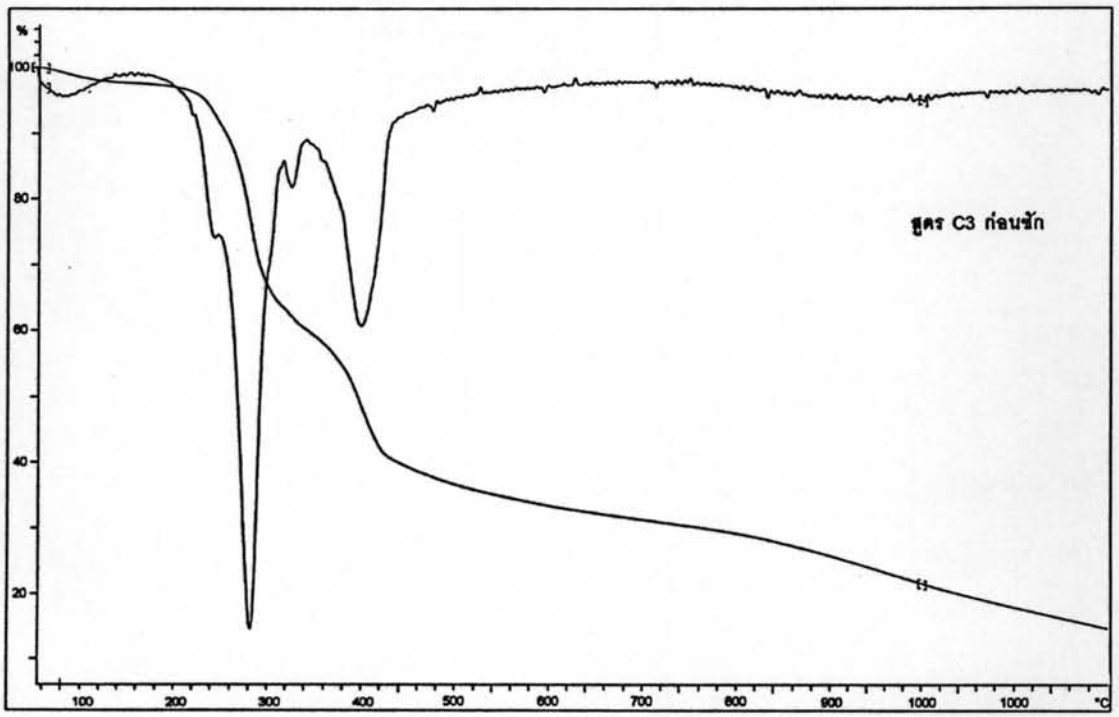


(ก)

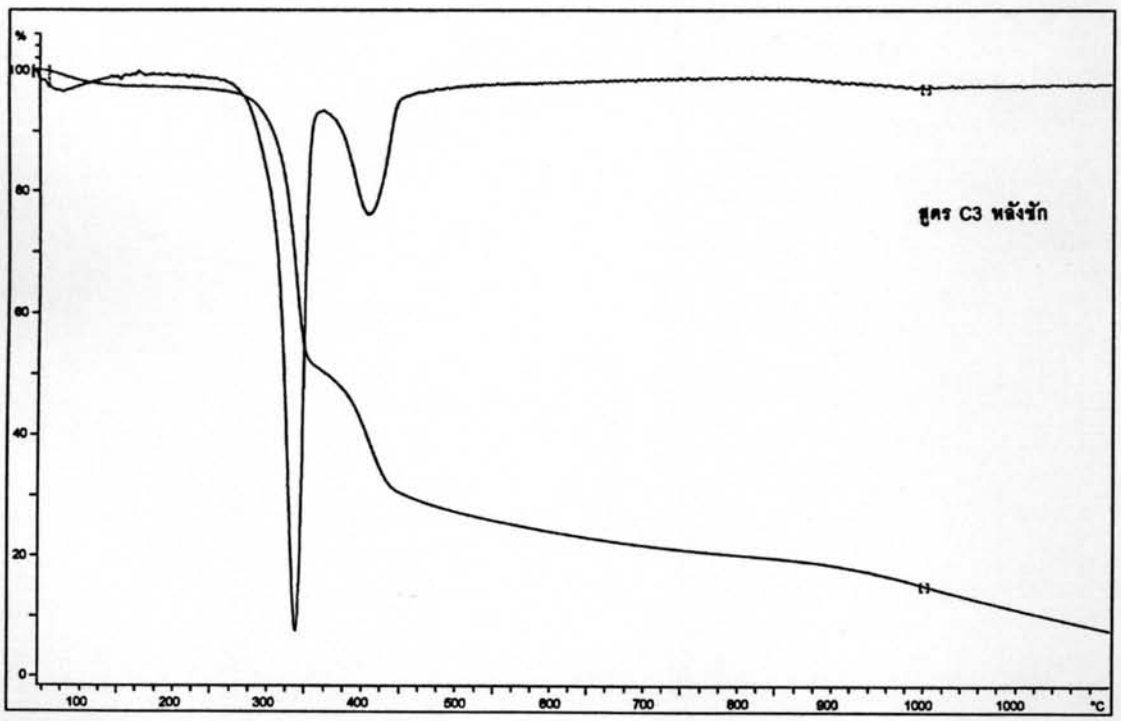


(ข)

รูปที่ 4.19 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร A2 (ก) ก่อนซัก และ (ข) หลังซัก

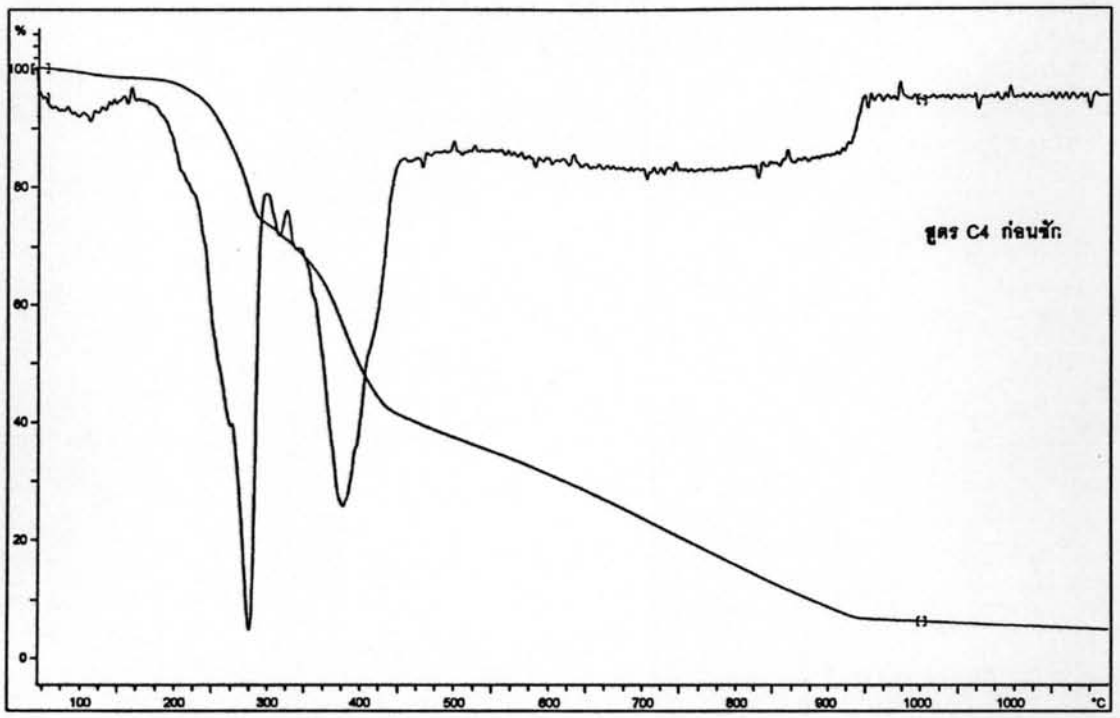


(ก)

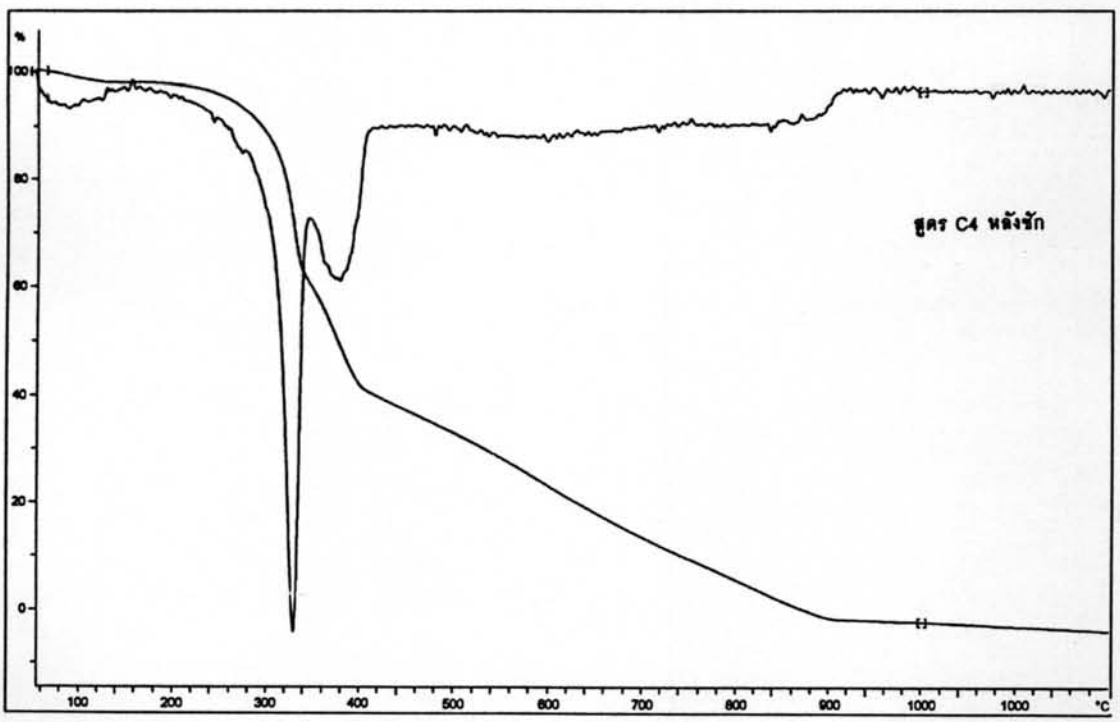


(ข)

รูปที่ 4.20 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร C3 (ก) ก่อนซัก และ (ข) หลังซัก

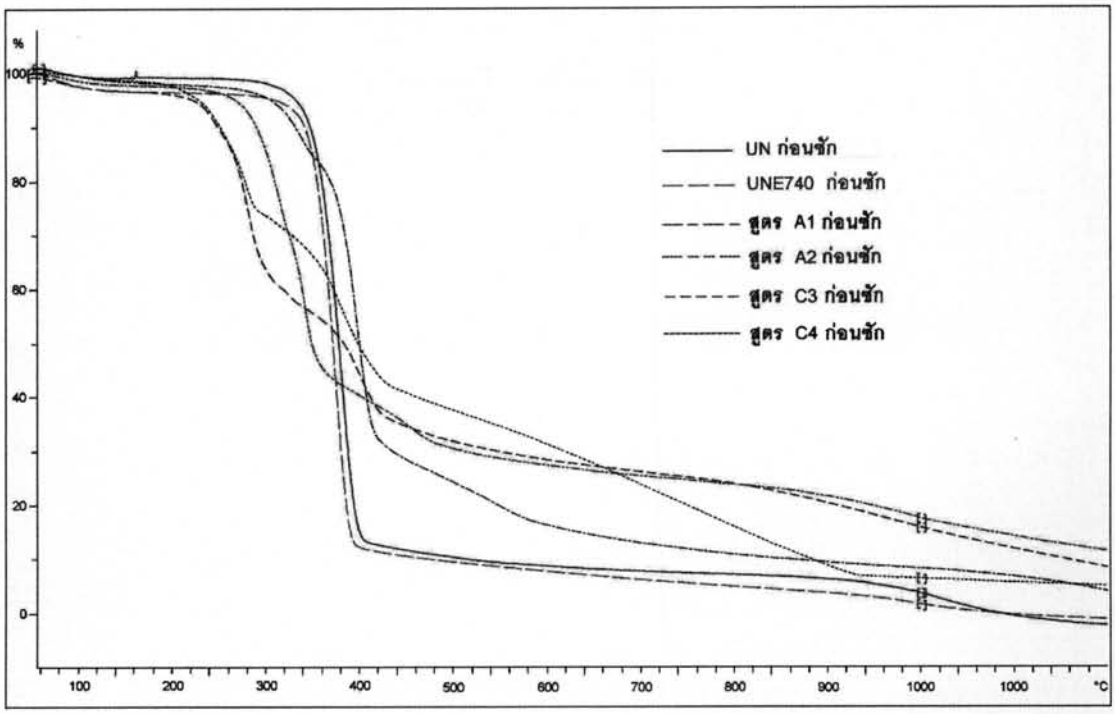


(ก)

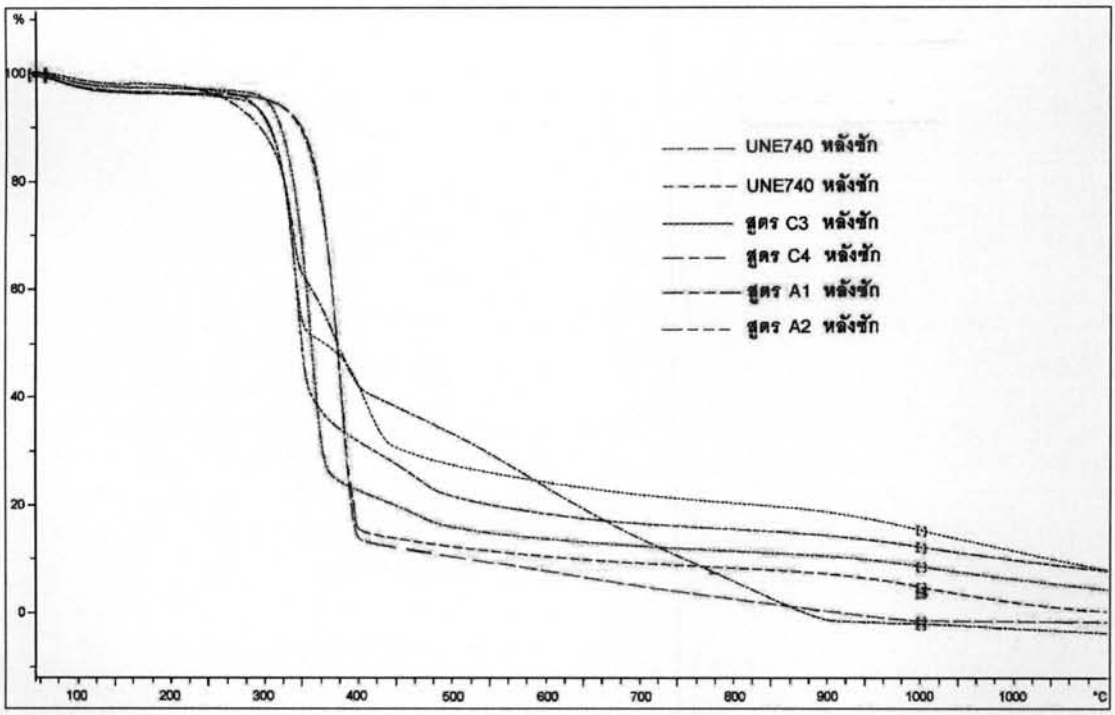


(ข)

รูปที่ 4.21 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร C4 (ก) ก่อนซัก และ (ข) หลังซัก



รูปที่ 4.22 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ก่อนซัก



รูปที่ 4.23 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์หลังซัก

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัว การสูญเสียน้ำหนัก อุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุดและปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ ทั้งก่อนและหลังซัก

สูตรการตกแต่ง	TDOP1 (°C)	MDRP1 (°C)	TDEP1 (°C)	Wt loss 1 (%)	TDOP2 (°C)	MDRP2 (°C)	TDEP2 (°C)	Wt loss 2 (%)	TDOP3 (°C)	MDRP3 (°C)	TDEP3 (°C)	Wt loss 3 (%)	Residue (%)	Residue 1000 °C(%)
UN ก่อนซัก	355	380	395	81.71	-	-	-	-	-	-	-	-	18.29	0
UN หลังซัก	354	380	393	82.27	-	-	-	-	-	-	-	-	17.73	0
UNE740 ก่อนซัก	351	375	387	82.30	-	-	-	-	-	-	-	-	17.70	0
UNE740 หลังซัก	352	380	393	81.25	-	-	-	-	-	-	-	-	18.75	0
A1 ก่อนซัก	265	286	293	12.81	322	340	349	43.92	437	470	497	16.89	26.38	9.90
A1 หลังซัก	324	350	360	70.41	476	478	480	13.22	-	-	-	-	16.38	3.94
A2 ก่อนซัก	287	315	320	27.74	334	342	352	24.58	451	459	484	16.66	31.02	11.15
A2 หลังซัก	314	335	344	53.70	454	464	499	20.47	-	-	-	-	25.84	12.61
C3 ก่อนซัก	250	278	291	3.31	372	390	409	51.95	-	-	-	-	44.74	21.38
C3 หลังซัก	306	325	333	39.23	385	400	416	25.44	-	-	-	-	35.33	10.88
C4 ก่อนซัก	246	280	288	24.67	358	382	417	30.71	644	760	886	35.25	9.38	4.72
C4 หลังซัก	306	330	336	36.58	375	380	398	21.11	578	720	806	37.36	4.95	4.95

TDOP หรือ Thermal Degradation Onset Point คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่วัสดุเกิดการสลายตัวด้วยความร้อน

MDRP หรือ Maximum Degradation Rate Point คือ อุณหภูมิที่วัสดุมีอัตราการสลายตัวด้วยความร้อนสูงที่สุด

TDEP หรือ Thermal Degradation Endset Point คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่วัสดุเกิดการสลายตัวด้วยความร้อน

จากรูปที่ 4.16 (ก) ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบก่อนการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียว กราฟ TGA มีความชันมาก แสดงว่าผ้าฝ้ายมีอัตราการสลายตัวที่เร็ว โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 355 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 81.71 โดยผ้าฝ้ายจะเกิดการสลายตัวเป็น laevoglucosan ที่สลายตัวต่อไปได้แก๊สที่ติดไฟง่าย และมีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 18.29 สำหรับรูปที่ 4.16 (ข) แสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์หลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวเช่นกันคือผ้าฝ้ายมีอัตราการสลายตัวที่เร็วโดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 354 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 82.27 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 17.73

จากรูปที่ 4.17 (ก) ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก Neofix E740 ก่อนการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวเช่นเดียวกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว กราฟ TGA มีความชันมากแสดงว่าผ้าฝ้ายดังกล่าวมีอัตราการสลายตัวที่เร็ว โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 351 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 82.30 โดยผ้าฝ้ายจะเกิดการสลายตัวเป็น laevoglucosan ที่สลายตัวต่อไปได้แก๊สที่ติดไฟง่าย มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 17.70 สำหรับรูปที่ 4.17 (ข) แสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก Neofix E740 หลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวเช่นกัน กราฟ TGA มีความชันมากแสดงว่าผ้าฝ้ายดังกล่าวมีอัตราการสลายตัวที่เร็ว โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 352 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 81.25 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 18.75 แสดงว่าสารประกอบแคทไอออนิก Neofix E740 ไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของผ้าฝ้าย

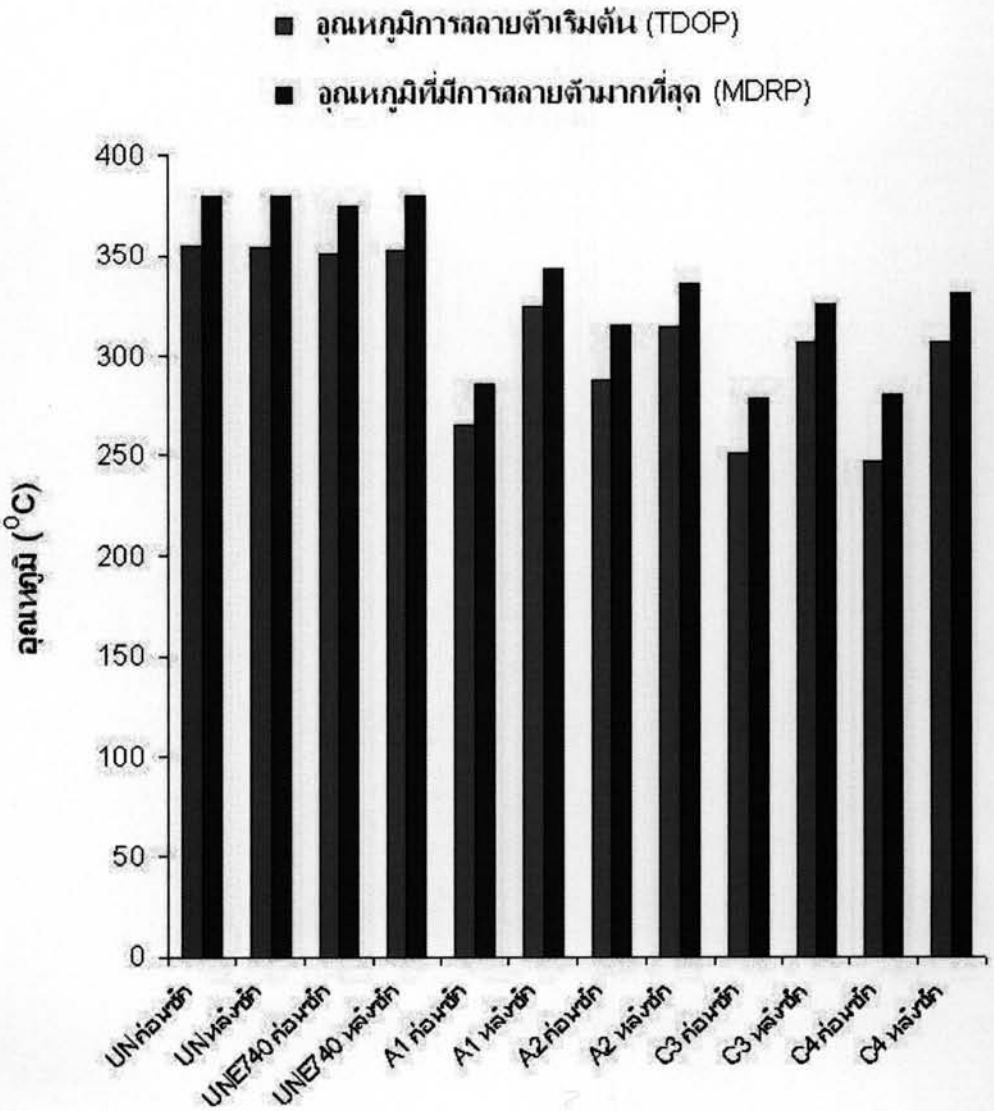
จากรูปที่ 4.18 (ก) ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร A1 ก่อนการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 286 และ 340 องศาเซลเซียส โดยผ้าฝ้ายเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 265 องศาเซลเซียส และมี

อัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 286 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 12.81 ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 34.93 ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากโมเลกุลของเซลลูโลสหรือแหล่งคาร์บอนมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สแอมโมเนีย และเกิดชาร์ ซึ่งแก๊สแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะช่วยให้ผ้าฝ้ายสลายตัวได้ง่ายขึ้น โดยแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลได้ไกลโคซิลามีน (glycocylamine) และเกิดการขจัดน้ำออกไปจากโมเลกุลเซลลูโลสหรือแหล่งคาร์บอนเกิดชั้นชาร์ สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์ สำหรับรูปที่ 4.18 (ข) แสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร A1 หลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอนเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิ 350 และ 478 องศาเซลเซียส โดยผ้าฝ้ายเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 324 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 70.41 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 22.26 สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 478 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์

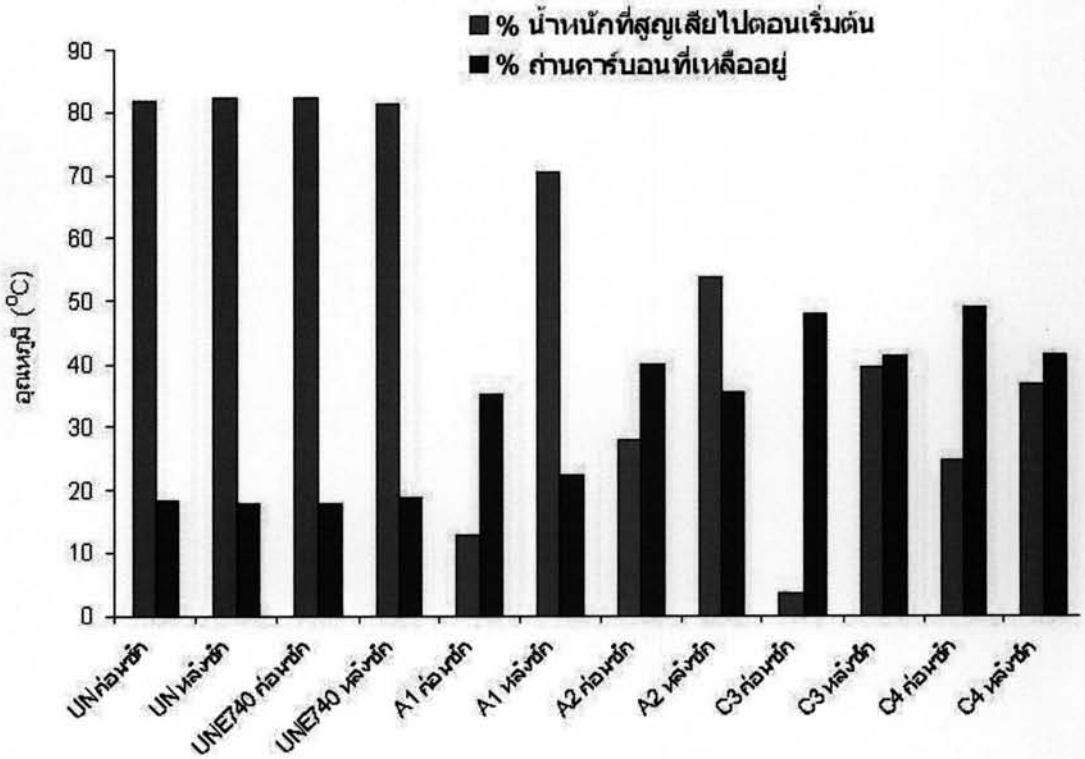
จากรูปที่ 4.19 (ก) ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร A2 ก่อนการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 315 และ 342 องศาเซลเซียส โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 287 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 315 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 27.74 มีปริมาณถ่านชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 40.00 โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 342 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์ สำหรับรูปที่ 4.19 (ข) แสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร A2 หลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอนที่อุณหภูมิ 335 และ 464 องศาเซลเซียส โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 314 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 335 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 53.70 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 35.30 สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 464 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์

จากรูปที่ 4.20 (ก) ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร C3 ก่อนการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 278 และ 390 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 278 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 3.31 ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณชาร์เหลืออยู่สูงถึงประมาณร้อยละ 47.99 โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์ สำหรับรูปที่ 4.20 (ข) แสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร C3 หลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอนเช่นเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 325 และ 400 องศาเซลเซียส ผ้าฝ้ายเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 306 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 39.23 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 41.12 สำหรับการสลายตัว ขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์

จากรูปที่ 4.21 (ก) ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร C4 ก่อนการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 280 และ 382 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 246 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 24.67 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 48.90 โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 382 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์ สำหรับรูปที่ 4.21 (ข) แสดงเทอร์โมแกรมของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสูตร C4 หลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 330 และ 380 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 306 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 36.58 มีปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 41.37 สำหรับการสลายตัวขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส เป็นขั้นตอนที่ผ้าฝ้ายสลายตัวต่อไปเกิดชาร์



รูปที่ 4.24 อุณหภูมิของการสลายตัวเริ่มต้น (TDOP) และอุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุด (MDRP)



รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปในตอนเริ่มต้นและปริมาณชาร์ที่เหลืออยู่

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ สรุปได้ว่า

(1) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก มีการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 380 องศาเซลเซียส ได้ laevoglucosan ที่สลายตัวต่อไปเป็นแก๊สที่ติดไฟง่าย มีปริมาณชาร์หรือสารตกค้างหลงเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 20

(2) ก่อนการซัก ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบ (380 องศาเซลเซียส) เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกจากโมเลกุลของเซลลูโลสและแหล่งคาร์บอนได้ชาร์เกิดขึ้น ทำให้ผ้าฝ้ายดังกล่าวมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายในข้อ 4.2 โดยขั้นตอนการสลายตัวของผ้าฝ้ายเป็นดังนี้ [15]

ก. แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 246 องศาเซลเซียสและสารประกอบพอลิออลเกิดปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชัน (phosphorylation)

ข. หลังเกิดปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันจะได้ cyclic phosphate ester ซึ่งจะมีการขจัดน้ำและปล่อยแก๊สแอมโมเนียออกมา แต่ยังมีสารประกอบพอลิออลบางส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่

ค. ที่อุณหภูมิ 280-360 องศาเซลเซียส พอลิออลฟอสเฟต (polyol phosphate) จะเกิดการสลายตัวกลายเป็นชาร์รวมทั้งเกิดกรดพอลิฟอสฟอริก ไอน้ำ และแก๊สแอมโมเนียเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากกรดฟอสฟอริกไปเป็นกรดพอลิฟอสฟอริกจะทำให้ได้ไอน้ำออกมา

(3) อย่างไรก็ตาม ภายหลังการซัก พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบก่อนการซักเล็กน้อย แต่ก็ยังคงสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้เคลือบ (380 องศาเซลเซียส) และมีชาร์เกิดขึ้น

4.5 การเปลี่ยนแปลงของสีของผ้าฝ้ายภายหลังการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวระบบอินทูเมสเซนต์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของผ้าฝ้ายภายหลังการเคลือบ ได้ผลดังตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงค่าความขาวและค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 0 และ 3 เดือน โดยค่าความขาว (WI-CIE) และค่าความเหลือง (YI-ASTM) ของผ้าผืนเดียวกัน ทั้งก่อนและหลังการซัก จะได้ค่าที่ตรงกันข้ามกันโดยผ้าที่มีความขาวมากกว่าจะมีค่า WI สูง แต่จะมีค่า YI ต่ำกว่า และในทำนองเดียวกันผ้าที่มีความเหลืองมากกว่าจะมีค่า WI ต่ำ แต่จะมีค่า YI สูงกว่า ซึ่งจากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า

(1) ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สูตรที่ใช้เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์เป็นสารยึด (สูตร A1, A2, B1, B2 และ B3) มีความขาวที่ใกล้เคียงกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบทั้งก่อนและหลังการซัก และเมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน ค่าความขาวและความเหลืองที่วัดได้ก็ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

(2) ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สูตรที่ใช้อะคริลิกโคพอลิเมอร์ เป็นสารยึด (สูตร C1, C2 และ C3) พบว่าภายหลังการเคลือบผ้าฝ้ายมีความเหลืองสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบทั้งก่อนและหลังการซัก แต่เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน

ค่าความขาวและความเหลืองของผ้าฝ้ายไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ 100% อะคริลิกอิมัลชันเป็นสารยึด พบว่าภายหลังการเคลือบผ้าฝ้ายยังคงมีความขาวที่ใกล้เคียงกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบทั้งก่อนและหลังการซัก และเมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน ค่าความขาวและความเหลืองที่วัดได้ก็ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

(3) ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สูตรที่ใช้แอมโมเนียมฟอสเฟต หรือแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด ทั้งในรูปของสารละลายและผง (สูตร B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3 และ C4) หากใช้เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ หรือใช้ 100% อะคริลิกอิมัลชันเป็นสารยึด พบว่าไม่ทำให้ผ้าฝ้ายเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี แต่ถ้าใช้อะคริลิกโคพอลิเมอร์เป็นสารยึดจะทำให้ผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบมีค่าความเหลืองเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าภาวะที่ใช้ในการอบผนึกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ไม่ได้ทำให้เกลือฟอสเฟตเกิดการสลายตัวเป็นกรดที่ส่งผลให้ผ้ามีความเหลืองเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเหลืองที่เกิดขึ้นภายหลังการเคลือบจึงไม่ได้มีสาเหตุมาจากการใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต

(4) ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์สูตรที่ใช้ผงเมลามีน หรือเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินเป็นสารฟู หากใช้เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์เป็นสารยึดพบว่า ไม่ทำให้ผ้าฝ้ายเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี แสดงให้เห็นว่าผงเมลามีนและเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินไม่ได้เป็นสาเหตุที่ทำให้ผ้าเกิดการเหลือง

จากผลการทดสอบ ทำให้สรุปได้ว่าภาวะที่ใช้ในการอบผนึกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากแอมโมเนียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตทั้งในรูปสารละลายและผงไม่เกิดการสลายตัวเป็นกรดที่จะส่งผลให้ผ้ามีความเหลืองภายหลังการเคลือบ แต่องค์ประกอบสำคัญของสารเคลือบผิวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของผ้าภายหลังการเคลือบคือสารยึด นั่นคือการใช้เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ และ 100% อะคริลิกอิมัลชันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของผ้า ในขณะที่การใช้อะคริลิกโคพอลิเมอร์ทำให้ผ้าภายหลังการเคลือบผิวมีความเหลืองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 ค่าความขาวและค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 0 และ 3 เดือน

สูตร	ค่าความขาวและค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์							
	ทิ้งไว้เป็นเวลา 0 เดือน				ทิ้งไว้เป็นเวลา 3 เดือน			
	WI-CIE		YI-ASTM		WI-CIE		YI-ASTM	
	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
UN	66.87	68.68	3.14	3.00	65.21	-	3.77	-
UNE740	69.27	69.64	1.74	2.05	66.16	-	3.19	-
A1	72.81	71.37	3.71	2.50	68.48	-	5.28	-
A2	72.44	72.83	3.90	3.19	68.99	-	5.03	-
B1	72.71	79.86	5.59	2.81	68.41	75.16	5.64	4.23
B3	72.15	75.71	6.54	4.85	75.30	75.72	5.70	5.06
B4	59.02	66.39	4.93	4.30	64.88	-	3.78	-
C1	39.32	49.73	15.71	11.68	34.87	-	16.73	-
C2	43.18	49.30	14.37	11.53	36.11	-	16.08	-
C3	26.99	31.94	19.89	17.79	32.87	4.51	17.25	26.57
C4	70.89	72.11	6.43	5.37	71.52	67.75	5.99	7.09