บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 พฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา

4.1.1 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังการซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซาน ที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 64

โดยที่ untreated cotton คือ ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ

P คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริก 0.867 โมลาร์

C คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซาน

PC คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและไคโทซาน

PCX25 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 25

PCX50 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 50

PCX75 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 75

PCX100 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 100

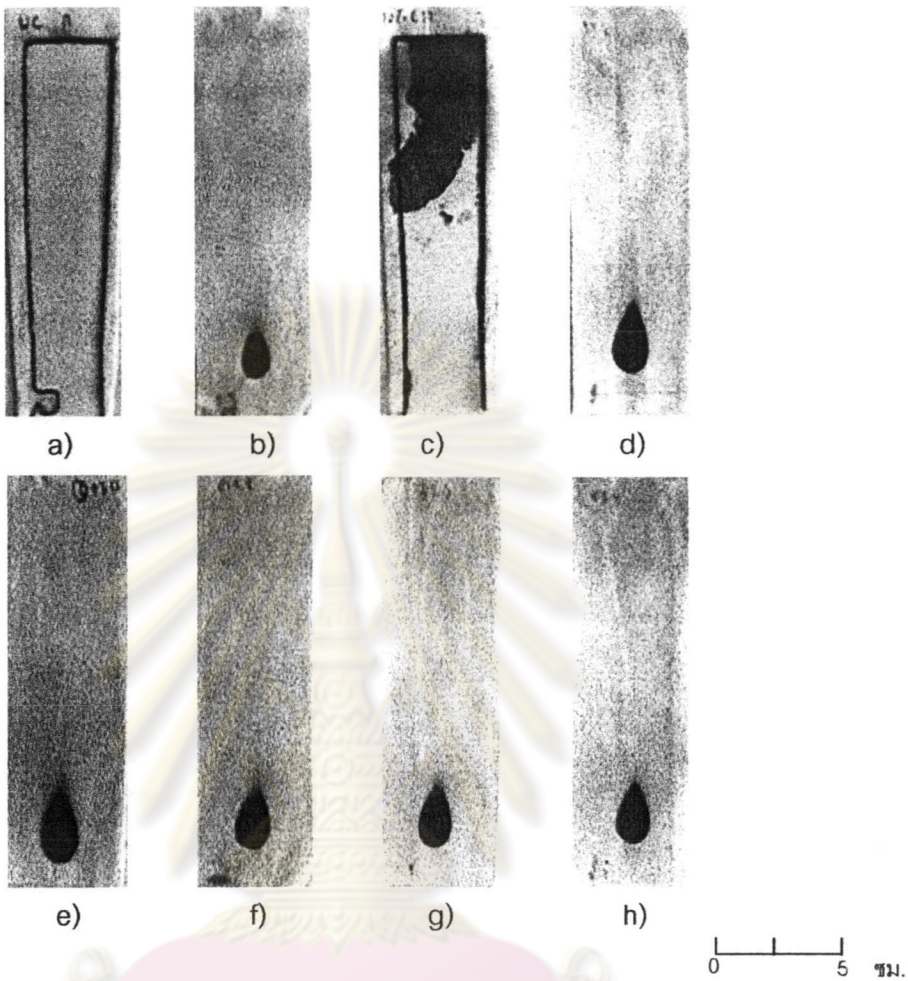
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซัก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆก่อนซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแสดงไว้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
untreated cotton	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรงไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟไหม้ผ้าหมด เกิดเถ้าเบาสีเทาเล็กน้อย
P	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งเปลวไฟออกไป ไฟดับทันที
C	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรงไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟไหม้ผ้าหมด เกิด char เล็กน้อย
PC	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PCX25	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PCX50	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PCX75	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PCX100	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

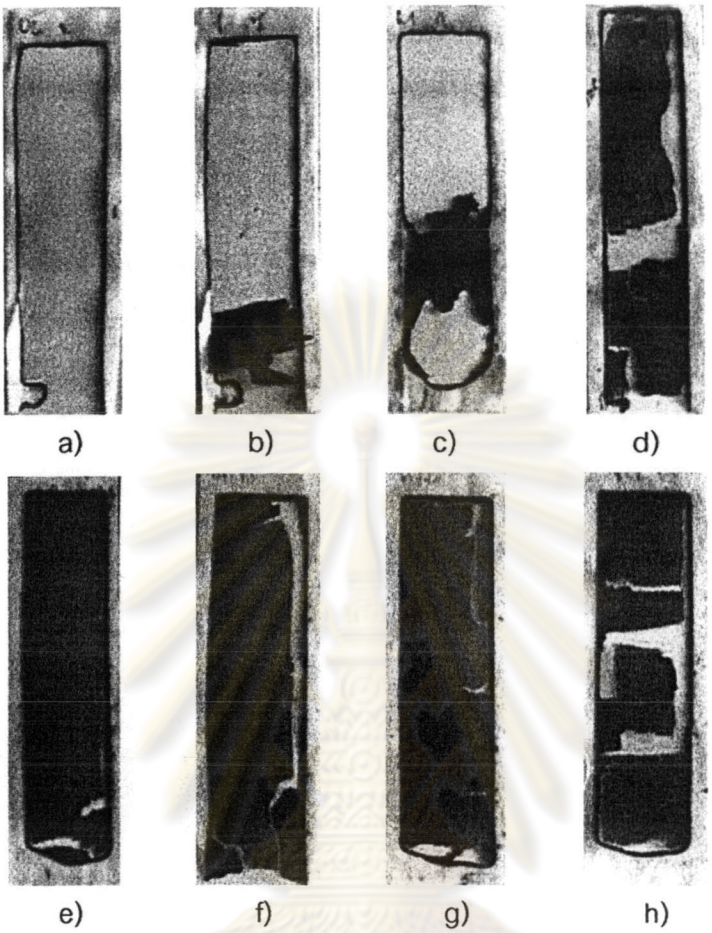


รูปที่ 4.1 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆก่อนซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา a) untreated cotton b) สูตร P c) สูตร C d) สูตร PC e) สูตร PCX25 f) สูตร PCX50 g) สูตร PCX75 h) สูตร PCX100

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซัก ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆหลังซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแสดงไว้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
untreated cotton	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟไหม้ผ้าหมด เกิดเถ้าเบาสีเทาเล็กน้อย
P	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟไหม้ผ้าหมด เกิด char เล็กน้อย
C	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟไหม้ผ้าหมด เกิด char เล็กน้อย
PC	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้ไม่รุนแรง เคลื่อนที่แบบปากฉลามค่อยๆ ขยายเป็นวงกว้าง บริเวณฐานไฟมีสีส้ม เมื่อไฟไหม้ผ้าหมดเกิด char ทั่วบริเวณผ้าที่ถูกไฟไหม้
PCX25	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้ไม่รุนแรง เคลื่อนที่แบบปากฉลามค่อยๆ ขยายเป็นวงกว้าง บริเวณฐานไฟมีสีส้ม เมื่อไฟไหม้ผ้าหมดเกิด char ทั่วบริเวณผ้าที่ถูกไฟไหม้
PCX50	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้ไม่รุนแรง เคลื่อนที่แบบปากฉลามค่อยๆ ขยายเป็นวงกว้าง บริเวณฐานไฟมีสีส้ม เมื่อไฟไหม้ผ้าหมดเกิด char ทั่วบริเวณผ้าที่ถูกไฟไหม้
PCX75	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้ไม่รุนแรง เคลื่อนที่แบบปากฉลามค่อยๆ ขยายเป็นวงกว้าง บริเวณฐานไฟมีสีส้ม เมื่อไฟไหม้ผ้าหมดเกิด char ทั่วบริเวณผ้าที่ถูกไฟไหม้
PCX100	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้ไม่รุนแรง เคลื่อนที่แบบปากฉลามค่อยๆ ขยายเป็นวงกว้าง บริเวณฐานไฟมีสีส้ม เมื่อไฟไหม้ผ้าหมดเกิด char ทั่วบริเวณผ้าที่ถูกไฟไหม้



รูปที่ 4.2 **ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆหลังซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลาม ของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว** 45 **องศา** a) untreated cotton b) **สูตร** P c) **สูตร** C d) **สูตร** PC e) **สูตร** PCX25 f) **สูตร** PCX50 g) **สูตร** PCX75 h) **สูตร** PCX100

4.1.2 **อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว** 45 **องศา ของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังการซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซาน ที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน คือ ร้อยละ** 0, 25, 50, 75 **และ** 100 **ที่อุณหภูมิ** 31 **องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ** 64

จากผลการทดสอบอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซัก และความยาว char เมื่อเปลวไฟดับ หรือไฟไหม้ผ้าหมด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

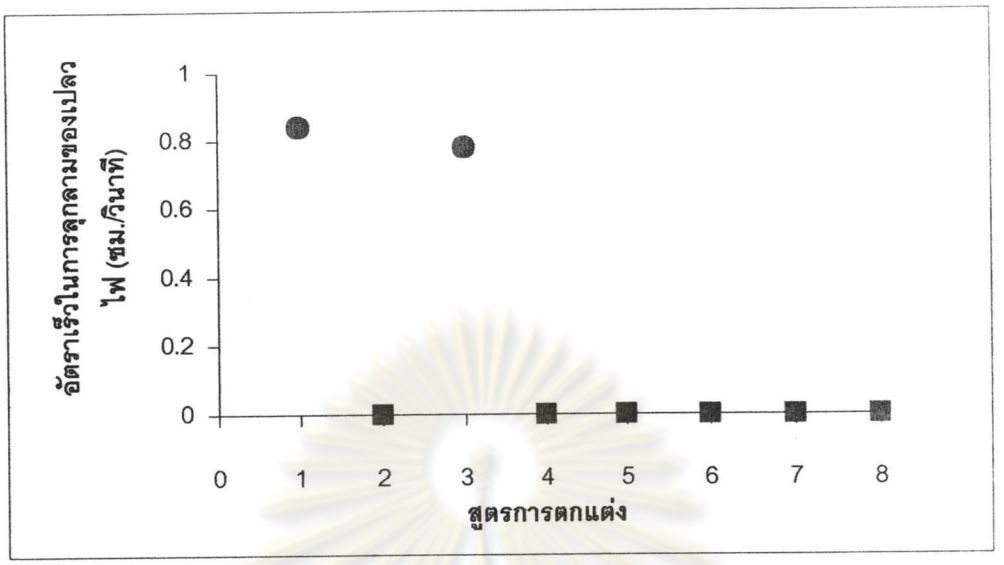
ตารางที่ 4.3 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

สูตรการตกแต่ง	% add-on ก่อนซัก	เวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord (วินาที)	Flame spread rate (ซม./วินาที)	ความยาว char (ซม.)
untreated cotton	-	15.2	0.84	BEL
P	3.23	n.d.[a]	n.d.[a]	2
C	2.94	16.2	0.78	BEL
PC	6.53	n.d.[a]	n.d.[a]	2.9
PCX25	6.78	n.d.[a]	n.d.[a]	2.7
PCX50	6.84	n.d.[a]	n.d.[a]	2.5
PCX75	6.87	n.d.[a]	n.d.[a]	2.5
PCX100	6.90	n.d.[a]	n.d.[a]	2.5

nd : not detectable (ไม่สามารถวัดได้) a : เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

BEL : burning entire length (ไฟไหม้ทั่วบริเวณผ้า)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

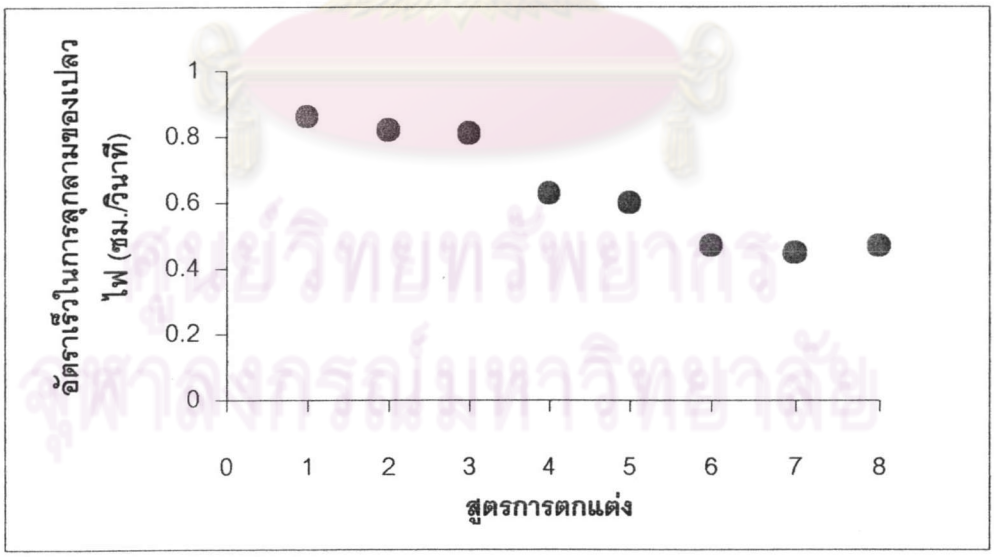
โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ P
สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PC
สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PCX50
สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PCX100
● เกิดการลุกลามของเปลวไฟ ■ ไม่เกิดการลุกลามของเปลวไฟ

จากผลการทดสอบอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซัก และความยาว char เมื่อเปลวไฟดับ หรือไฟไหม้ผ้าหมด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

สูตรการตกแต่ง	% add-on หลังซัก	เวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord (วินาที)	Flame spread rate (ซม./วินาที)	ความยาว char (ซม.)
untreated cotton	-	14.8	0.86	BEL
P	1.24	15.4	0.82	BEL
C	2.67	15.6	0.81	BEL
PC	3.31	20.2	0.63	12.7
PCX25	3.48	21.0	0.60	12.7
PCX50	3.52	26.8	0.47	12.7
PCX75	3.56	28.0	0.45	12.7
PCX100	3.50	27.2	0.47	12.7

BEL : burning entire length (ไฟไหม้ทั่วบริเวณผ้า)



รูปที่ 4.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ P
สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PC
สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PCX50
สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PCX100
● เกิดการลุกลามของเปลวไฟ

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่าก่อนการซัก untreated cotton และ สูตร C มีเปลวไฟลุกไหม้อย่างรุนแรงไร้ทิศทางและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.84 และ 0.78 ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับสูตร P สูตร PC สูตรสูตร PCX25 สูตร PCX50 สูตร PCX75 และ สูตร PCX100 ไม่สามารถหาค่าอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟได้ ดังนั้นการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถทำให้ผ้าฝ้ายเกิดการหน่วงไฟ เพียงแต่มี char เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ ส่วนการตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกร่วมกับไคโทซานที่มีและไม่มีปริมาณสารเชื่อมขวาง พบว่าเมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไฟจะดับทันทีไม่เกิดการลุกลามของเปลวไฟ ทำให้ไม่สามารถหาอัตราเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟได้

สำหรับการตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกหลังการซัก พบว่า untreated cotton สูตร P และ สูตร C มีเปลวไฟลุกไหม้อย่างรุนแรงไร้ทิศทางและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.86 0.82 และ 0.81 ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับสูตร PC สูตร PCX25 สูตร PCX50 สูตร PCX75 และ สูตร PCX100 มีเปลวไฟลุกไหม้ที่ไม่รุนแรง เคลื่อนที่เป็นปากฉลามค่อยๆ ขยายเป็นวงกว้างและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.63 0.60 0.47 0.45 และ 0.47 ซม./วินาที ตามลำดับ ทำให้เห็นว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริก หรือไคโทซานเพียงอย่างเดียว มีความสามารถในการหน่วงไฟหมดไป เนื่องจากสารหน่วงไฟเกิดการหลุดออกไปหมดเมื่อทำการซักทำให้มีพฤติกรรมการติดไฟ และมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟเหมือนกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟ ส่วนการตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกร่วมกับไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง พบว่ามีเปลวไฟลุกไหม้ที่ไม่รุนแรง และมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ โดยการตกแต่งหน่วงไฟที่มีสารเชื่อมขวาง จะมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟดังนี้ PC > PCX25 > PCX50 และ PCX100 > PCX75

ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกแม้จะมีการใช้ร่วมกับไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง ซึ่งทำหน้าที่เคลือบบนพื้นผิวผ้า เพื่อช่วยป้องกันการหลุดออก

ของสารหน่วงไฟ ก็ยังไม่มีความคงทนต่อการซักล้างในระดับที่น่าพอใจ เนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็ก สามารถละลายน้ำได้ ทำให้เกิดการหลุดออกไปได้มากทั้งในกระบวนการการตกแต่งหน่วงไฟและเมื่อทำการซัก อีกทั้งกรดฟอสฟอริกยังทำให้ผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งเปื่อย สามารถฉีกขาดได้ง่าย และเปลี่ยนเป็นสีค่อนข้างเหลือง ดังนั้นจึงเปลี่ยนไปใช้สารหน่วงไฟที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น มีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งหาได้ง่ายและราคาถูกเช่นเดียวกับกรดฟอสฟอริก ก็คือพอลิฟอสเฟต

4.1.3 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้าย ทั้งก่อนซักและหลังการซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง ในปริมาณที่ต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 แล้วเปรียบเทียบกับสารหน่วงไฟทางการค้าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 62

โดยที่ untreated cotton คือ ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ

PP คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที ร้อยละ 5

C คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซาน

PPC คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซาน

PPCX25 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 25

PPCX50 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 50

PPCX75 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 75

PPCX100 คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 100

ระบบ 1 คือ PYROVATEX CP new®และกรดฟอสฟอริก

ระบบ 2 คือ PYROVATEX CP new® LYOFIX CHN และกรดฟอสฟอริก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซัก เมื่อเปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord จะทำให้ไฟดับด้วยการฉีดละอองน้ำ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆก่อนซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแสดงไว้ดังรูปที่ 4.5

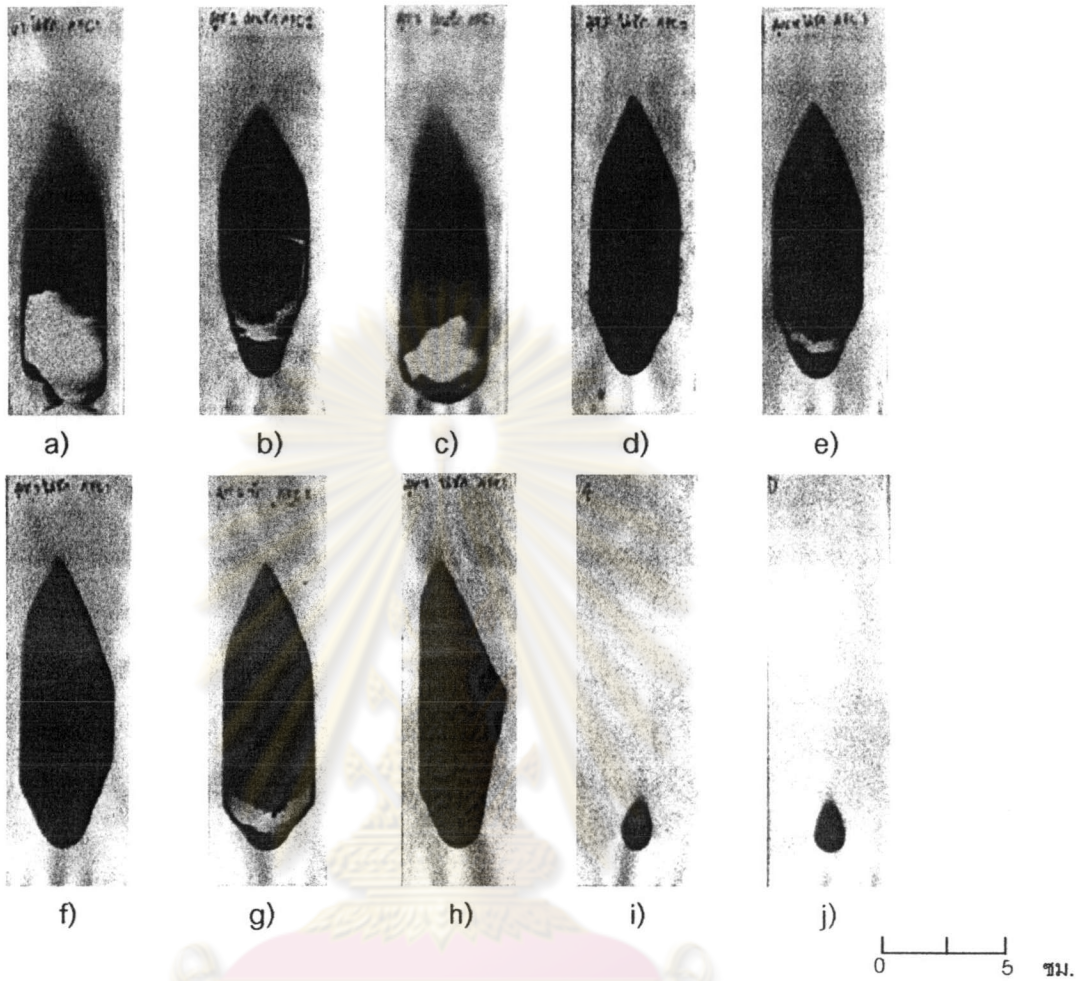
ตารางที่ 4.5 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
untreated cotton	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง
PP	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มาก
C	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟดับเกิด char เล็กน้อย
PPC	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มาก และหนา
PPCX25	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มาก และหนา
PPCX50	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มาก และหนา

ตารางที่ 4.5 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ (ต่อ)

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
PPCX75	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา
PPCX100	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา
ระบบ 1	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
ระบบ 2	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆก่อนซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา a) untreated cotton b) สูตร PP c) สูตร C d) สูตร PPC e) สูตร PPCX25 f) สูตร PPCX50 g) สูตร PPCX75 h) สูตร PPCX100 i) ระบบ 1 j) ระบบ 2

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซัก เมื่อเปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord จะทำให้ไฟดับด้วยการฉีดละอองน้ำ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆหลังซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแสดงไว้ดังรูปที่ 4.6 และพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟ ณ เวลาต่างกัน แสดงไว้ดังรูปที่ 4.7

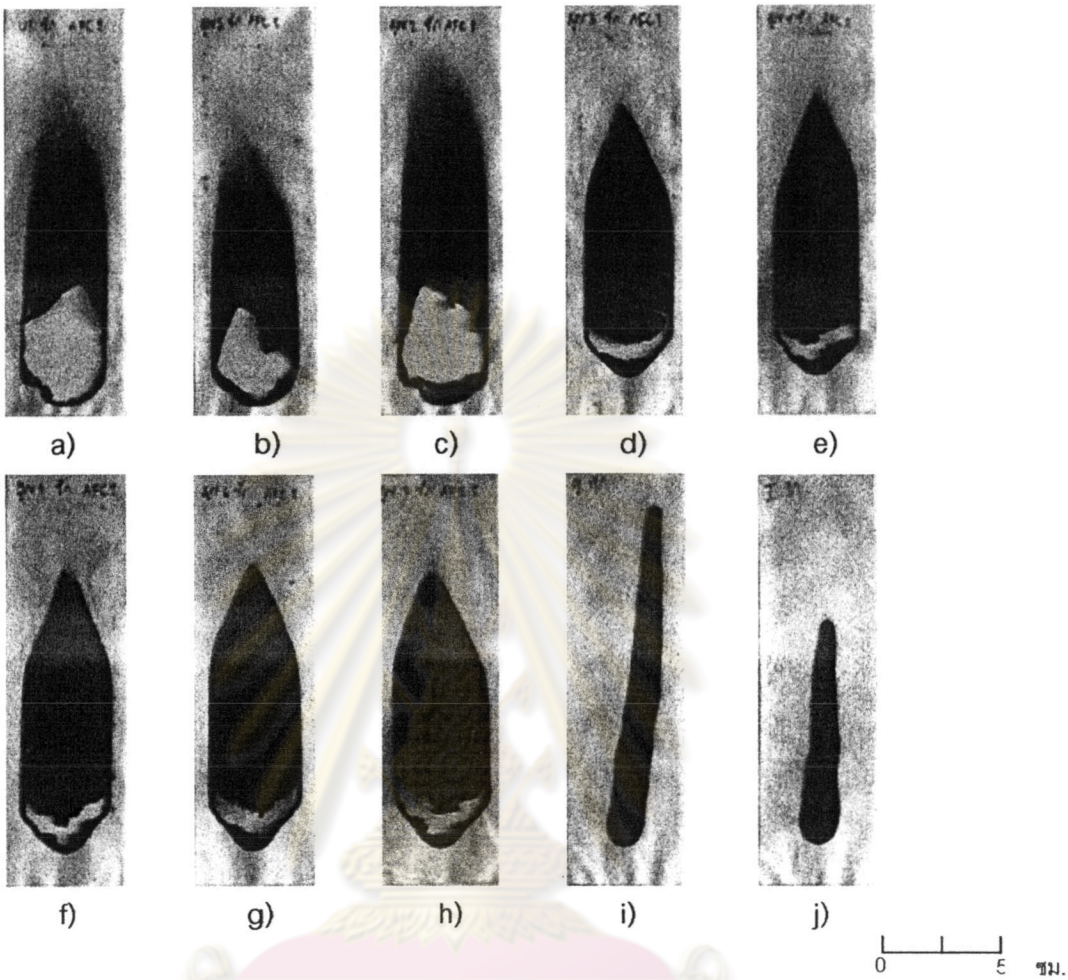
ตารางที่ 4.6 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
untreated cotton	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง
PP	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง เมื่อไฟดับเกิด char เล็กน้อย
C	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟขยายเป็นวงกว้าง และลุกไหม้อย่างรุนแรง ไร้ทิศทาง บริเวณฐานไฟมีขอบแดง เมื่อไฟดับเกิด char เล็กน้อย
PPC	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา
PPCX25	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา
PPCX50	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา
PPCX75	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา
PPCX100	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้ว ค่อยๆขยายไปที่ขอบช่วงปลาย เมื่อไฟดับเกิด char มากและหนา

ตารางที่ 4.6 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ (ต่อ)

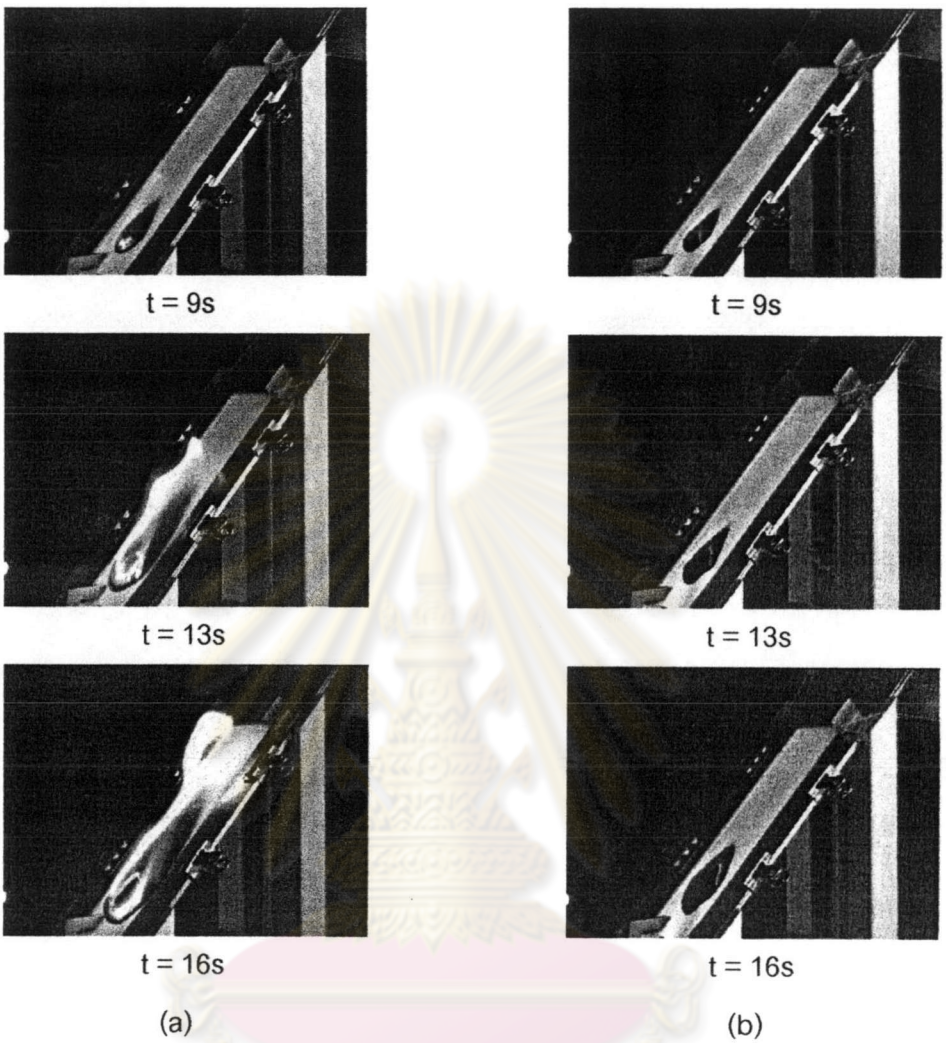
สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
ระบบ 1	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ ไม่ขยายออก เกิด char มากและหนา
ระบบ 2	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อย เคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ ไม่ขยายออก เปลวไฟดับก่อนเคลื่อนที่ถึง stop cord เกิด char มากและหนา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆหลังซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา a) untreated cotton b) สูตร PP c) สูตร C d) สูตร PPC e) สูตร PPCX25 f) สูตร PPCX50 g) สูตร PPCX75 h) สูตร PPCX100 i) ระบบ 1 j) ระบบ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้าย ณ เวลาแตกต่างกัน โดยที่ (a) ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ (b) ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 50 ก่อนซัก

ผลจากรูปที่ 4.7 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟมีพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟ ที่ไม่รุนแรงและมีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟช้ากว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ ซึ่งแสดงให้เห็นได้จาก ที่เวลาประมาณวินาทีที่16 เปลวไฟของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord แล้ว แต่สำหรับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟที่เวลาประมาณวินาทีที่16 เปลวไฟยังเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางไม่ถึงครึ่งหนึ่งของระยะการจุดติดไฟไปถึง stop cord

4.1.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังการซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอส ทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง ในปริมาณที่ต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ100 แล้วเปรียบเทียบกับสารหน่วงไฟทางการค้า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 62 %

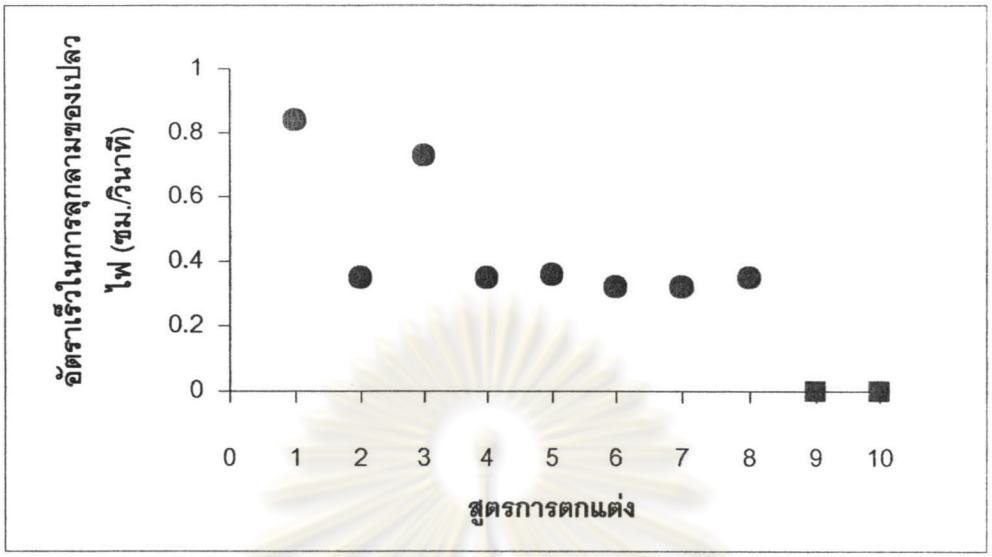
จากผลการทดสอบอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซัก และความยาว char เมื่อเปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord จะทำให้ไฟดับด้วยการฉีดละอองน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	% add-on ก่อนซัก	เวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord (วินาที)	Flame spread rate (ซม./วินาที)	ความยาว char (ซม.)
untreated cotton	-	15.2	0.84	BEL
PP	4.59	36.3	0.35	10.5
C	2.81	17.4	0.73	BEL
PPC	7.46	36.7	0.35	11.4
PPCX25	8.05	35.6	0.36	11.1
PPCX50	7.53	39.8	0.32	10.7
PPCX75	8.32	39.3	0.32	10.7
PPCX100	7.26	36.2	0.35	11.3
ระบบ 1	22.4	n.d[a]	n.d[a]	2.3
ระบบ 2	27.87	n.d[a]	n.d[a]	2.2

nd : not detectable (ไม่สามารถวัดได้) a : เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

BEL : burning entire length (ไฟไหม้ทั่วบริเวณผ้า)



รูปที่ 4.8 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ PP
สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PPC
สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PPCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PPCX50
สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PPCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PPCX100
สูตรการตกแต่งที่ 9 คือ ระบบ 1 สูตรการตกแต่งที่ 10 คือ ระบบ 2
● เกิดการลุกลามของเปลวไฟ ■ ไม่เกิดการลุกลามของเปลวไฟ

จากผลการทดสอบอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซัก และความยาว char เมื่อเปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord จะทำให้ไฟดับด้วยการฉีดละอองน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา ของผ้าฝ้ายหลังซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

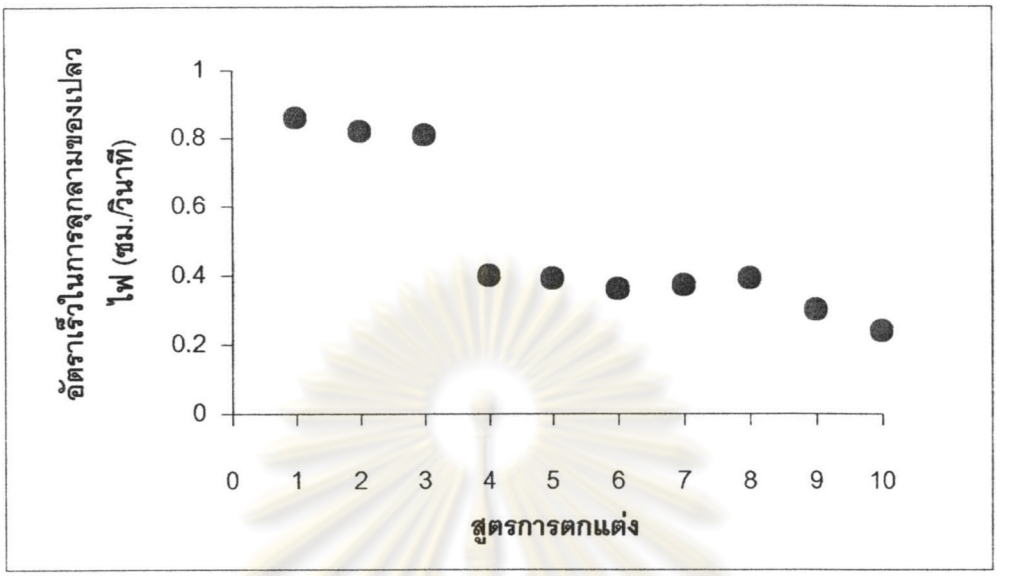
สูตรการตกแต่ง	% add-on หลังซัก	เวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord (วินาที)	Flame spread rate (ซม./วินาที)	ความยาว char (ซม.)
untreated cotton	-	14.8	0.86	BEL
PP	1.57	15.5	0.82	BEL
C	1.07	15.6	0.81	BEL
PPC	3.25	32.0	0.40	11.4
PPCX25	3.99	32.4	0.39	10.6
PPCX50	4.50	35.1	0.36	11.2
PPCX75	5.34	34.5	0.37	11.2
PPCX100	3.31	32.9	0.39	11.0
ระบบ 1	12.93	41.76*	0.30*	12.7*
ระบบ 2	20.68	35.42*#	0.24*#	8.5*#

BEL : burning entire length (ไฟไหม้ทั่วบริเวณผ้า)

* ชิ้นตัวอย่างเกิดควันปานกลางสีเหลืองนวลเมื่อผ้าฝ้ายลุกไหม้

เปลวไฟของชิ้นตัวอย่างเคลื่อนที่ไม่ถึง stop cord แล้วไฟดับเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ PP
สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PPC
สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PPCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PPCX50
สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PPCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PPCX100
สูตรการตกแต่งที่ 9 คือ ระบบ 1 สูตรการตกแต่งที่ 10 คือ ระบบ 2
● เกิดการลุกลามของเปลวไฟ

จากการทดสอบสมบัติหน่วงไฟดังกล่าว พบว่าก่อนการซัก untreated cotton และ สูตร C มีเปลวไฟลุกไหม้อย่างรุนแรงไร้ทิศทางและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.84 และ 0.73 ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับ สูตร PP สูตร PPC สูตร PPCX25 สูตร PPCX50 สูตร PPCX75 และ สูตร PPCX100 มีเปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อยเคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆ อย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายออกและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.35 0.35 0.36 0.32 0.32 และ 0.35 ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับ ระบบ 1 และ ระบบ 2 ไม่สามารถหาค่าอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟได้ ดังนั้นการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถทำให้ผ้าฝ้ายเกิดการหน่วงไฟ เพียงแต่มี char เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ ส่วนการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซานที่มีและไม่มีปริมาณ

สารเชื่อมขวาง พบว่ามีเปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อยเคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายออกและเมื่อนำแหล่งต้นไฟออกพบว่าอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ

ส่วนการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารหน่วงไฟ ทางการค้าพบว่าไม่เกิดการลุกลามของเปลวไฟ เนื่องจากโมเลกุลของสารหน่วงไฟ Pyrovatex CP ที่ใช้ในระบบ 1 โมเลกุลสามารถยึดติดกับเซลลูโลส โดยทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้โดยตรง ส่วนระบบ 2 มีการใช้ LYOFIX CHN ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวาง ช่วยในการยึดโมเลกุลของ Pyrovatex CP เข้ากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส

สำหรับการการทดสอบสมบัติหน่วงไฟหลังการซัก พบว่า untreated cotton สูตร PP และสูตร C มีเปลวไฟลุกไหม้อย่างรุนแรงไร้ทิศทางและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.86 0.82 และ 0.81 ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับสูตร PPC สูตร PPCX25 สูตร PPCX50 สูตร PPCX75 และ สูตร PPCX100 มีเปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อยเคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ แล้วค่อยๆขยายออกและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.40 0.39 0.36 0.37 และ 0.39 ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับ ระบบ 1 และระบบ 2 มีเปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อยเคลื่อนที่แบบปากฉลามแคบๆอย่างช้าๆ ไม่ขยายออกและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟ 0.30 และ 0.24 ซม./วินาที ตามลำดับ ดังนั้นการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว พบว่าภายหลังการซักความสามารถในการหน่วงไฟหมดไป เนื่องจากสารเคมีเกิดการหลุดออกไปเมื่อทำการซัก ทำให้มีพฤติกรรมการติดไฟ และอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟใกล้เคียงกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ สำหรับการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง พบว่ามีเปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อยและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ เนื่องจากพอลิฟอสเฟตและไคโทซานมีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ละลายน้ำได้น้อยลง และสารเชื่อมขวางที่ใส่ลงไปจะทำให้ ไคโทซานเกิดการสานเป็นร่างแหเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวของผ้าฝ้าย จึงช่วยลดการหลุดของสารเคมีเมื่อทำการซัก

ส่วนการตกแต่งหน่วงไฟด้วยระบบ 1 และระบบ 2 พบว่ามีเปลวไฟลุกไหม้เพียงเล็กน้อยและไม่เคลื่อนที่ขยายออกและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยด้วยพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง โดยที่ระบบ 2 มีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟลดลงมากกว่าระบบ 1 เนื่องจากระบบ 2 มีสารเชื่อมขวาง LYOFIX CHN ช่วยในการยึดโมเลกุลของ Pyrovatex CP เข้ากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้ดีกว่าการใช้ Pyrovatex CP เพียงอย่างเดียว

อีกทั้งสารเชื่อมขวางชนิดนี้มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำให้ช่วยเสริมความสามารถในการหน่วงไฟของ Pyrovatex CP ทำให้เมื่อทำการซักแล้ว เปลวไฟจะเคลื่อนที่ไประยะทางหนึ่งแล้วไฟเกิดการดับ ส่งผลให้การตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรต่างๆ มีอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟ ดังนี้ PC > PCX25 > PCX100 > PCX75 > PCX50 > ระบบ 1 > ระบบ 2 ซึ่งที่ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง ปรากฏผลด้านพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟให้เห็นไม่ชัดเจน แต่ให้ผลทางด้านการสัมผัสผิวบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวาง จะทำให้ผ้าหลังการตกแต่งเกิดเป็นคราบเงาบนผิวของผ้า และผิวหน้าของผ้าจะมีความกระด้างมากกว่าโดยที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง

4.2 พฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนวดิ่ง 90 องศา

4.2.1 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่งลง 90 องศาของผ้าฝ้าย ทั้งก่อนซักและหลังการซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ100 แล้วเปรียบเทียบกับสารหน่วงไฟทางการค้าที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 52 %

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังซักได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยด้วย พอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน ทั้งก่อนซัก และหลังซัก ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแสดงไว้ดังรูปที่ 4.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

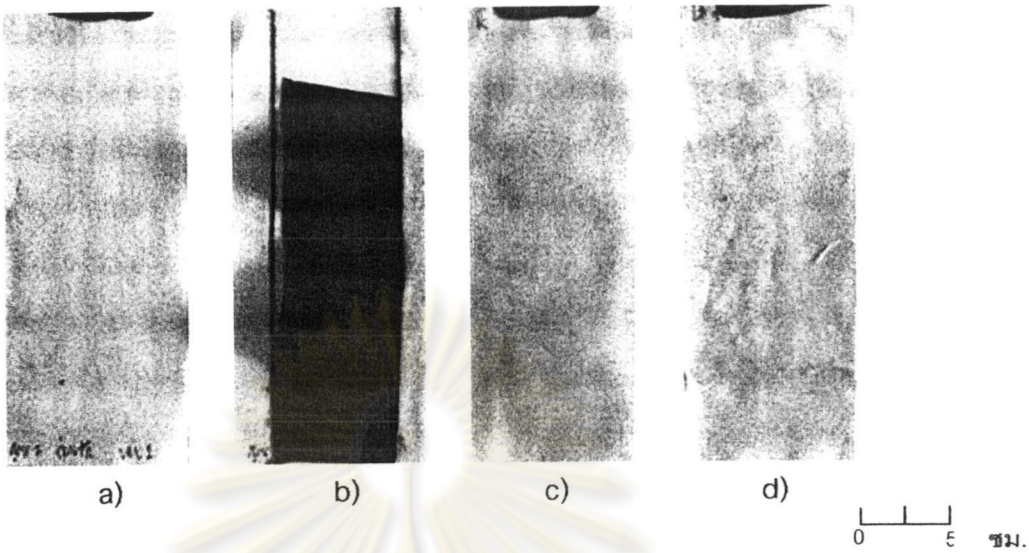
ตารางที่ 4.9 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
untreated cotton	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้อย่างชัดเจน ฐานไฟมีขอบแดง
PP	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
C	ผ้าติดไฟทันที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้อย่างชัดเจน ฐานไฟมีขอบแดง
PPC	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PPCX25	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PPCX50	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PPCX75	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
PPCX100	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
ระบบ 1	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
ระบบ 2	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที

ตารางที่ 4.10 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	พฤติกรรมการติดไฟ	ลักษณะการลุกไหม้
PPC	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้เพียงเล็กน้อย
PPCX25	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้เพียงเล็กน้อย
PPCX50	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้เพียงเล็กน้อย
PPCX75	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้เพียงเล็กน้อย
PPCX100	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เปลวไฟสีส้มแดงลุกไหม้เพียงเล็กน้อย
ระบบ 1	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที
ระบบ 2	ผ้าติดไฟภายในเวลา 2 วินาที	เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ลักษณะของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟ ภายหลังการทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนวดิ่ง 90 องศา a) พอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวางก่อนซัก b) พอลิฟอสที และสารละลายไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวางหลังซัก c) สารหน่วงไฟทางการค้าก่อนซัก d) สารหน่วงไฟทางการค้าหลังซัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังการซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอส ทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน คือร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 แล้วเปรียบเทียบกับสารหน่วงไฟทางการค้า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 62 %

จากผลการทดสอบอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังซัก และความยาว char เมื่อเปลวไฟดับ หรือไฟไหม้ผ้าหมด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	% add-on ก่อนซัก	เวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 20 ซม. (วินาที)	Flame spread rate (ซม./วินาที)	ความยาว char (ซม.)
untreated cotton	-	166.42	0.12	BEL
PP	4.51	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
C	2.62	174.06	0.12	BEL
PPC	7.33	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
PPCX25	8.05	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
PPCX50	7.32	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
PPCX75	8.33	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
PPCX100	6.66	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
ระบบ 1	23.27	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
ระบบ 2	28.46	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5

nd : not detectable (ไม่สามารถวัดได้) a : เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

BEL : burning entire length (ไฟไหม้ทั่วบริเวณผ้า)

ตารางที่ 4.12 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 90 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	% add-on หลังซัก	เวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่ถึง stop cord (วินาที)	Flame spread rate (ซม./วินาที)	ความยาว char (ซม.)
PPC	3.22	189.38	0.11	20
PPCX25	3.79	198.89	0.10	20
PPCX50	4.35	197.92	0.10	20
PPCX75	4.71	204.45	0.10	20
PPCX100	3.19	185.90	0.11	20
ระบบ 1	13.76	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5
ระบบ 2	20.98	n.d.[a]	n.d.[a]	0.5

nd : not detectable (ไม่สามารถวัดได้) a : เมื่อนำแหล่งต้นไฟออก ไฟดับทันที

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่าก่อนการซัก untreated cotton และสูตร C มีเปลวไฟลุกลามเป็นสีส้มแดงลุกไหม้อย่างชัดเจน และฐานไฟมีขอบแดง และมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 0.12 ซม./วินาที เท่ากัน สำหรับ สูตร PP สูตร PPC สูตร PPCX25 สูตร PPCX50 สูตร PPCX75 สูตร PPCX100 ระบบ 1 และ ระบบ 2 ไม่สามารถหาค่าอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟได้ เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที ดังนั้นการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถหน่วงไฟได้ดี และมีพฤติกรรมการลุกลามและอัตราเร็วเฉลี่ยของเปลวไฟเหมือนกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ

สำหรับการตกแต่งหน่วงไฟหลังการซัก พบว่า สูตร PPC สูตร PPCX25 สูตร PPCX50 สูตร PPCX75 สูตร PPCX100 มีเปลวไฟลุกลามสีส้มแดงลุกไหม้เพียงเล็กน้อยและมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟแนวดิ่ง 0.11 0.10 0.10 0.10 และ 0.11ซม./วินาที ตามลำดับ สำหรับระบบ 1 และ ระบบ 2 ไม่สามารถหาค่าอัตราเร็วเฉลี่ยในการลุกลามของเปลวไฟได้ เมื่อนำแหล่งต้นไฟออกไป ไฟดับทันที ดังนั้นการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง มีพฤติกรรมการลุกลามต่างจากผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟกล่าวคือ เปลวไฟที่เกิดการลุกลามมีสีค่อนข้างอ่อนกว่าและเกิด char มากและหนา ส่วนอัตราเร็วในการลุกลามของ

เปลวไฟไม่ค่อยต่างกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ เนื่องจากแหล่งเปลวไฟที่เกิดจากด้านบนมีการลุกลามที่ช้ามากเป็นปกติอยู่แล้ว

4.3 การทดสอบหาค่า LOI

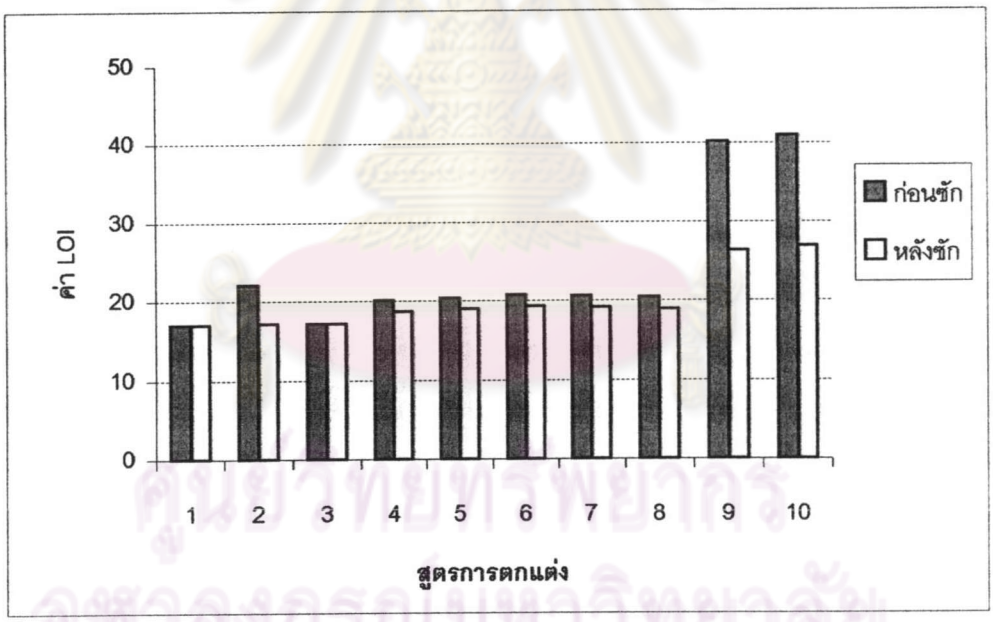
ค่า LOI ที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 46 % ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่า LOI ของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารหน่วงไฟสูตรต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	% add-on ก่อนซัก	LOI ก่อนซัก	% add-on หลังซัก	LOI หลังซัก
untreated cotton (1)	-	17.1	-	ไม่ทดสอบ
PP(2)	4.45	22.1	1.46	17.2
C(3)	2.91	17.2	1.09	17.2
PPC(4)	7.32	20.1	3.31	18.7
PPCX25(5)	7.49	20.3	3.96	19.0
PPCX50(6)	7.68	20.7	4.48	19.3
PPCX75(7)	7.62	20.6	4.45	19.1
PPCX100(8)	7.45	20.4	3.54	18.9
ระบบ 1(9)	22.65	40.2	13.12	26.3
ระบบ 2(10)	27.54	41	20.97	26.9

จากตารางที่ 4.13 พบว่าก่อนการซักผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟมีค่า LOI 17.1 ขณะที่ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีอย่างเดียว ก่อนการซัก มีค่า LOI 22.1 ซึ่งไม่ติดไฟในบรรยากาศปกติ แต่หลังการซักมีค่า LOI 17.2 สามารถติดไฟได้ในบรรยากาศปกติ ส่วนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวางพบว่าก่อนและหลังการซัก มีค่า

LOI ประมาณ 20 และ 19 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ แต่ยังสามารถติดไฟได้ในบรรยากาศปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง ปรากฏผลด้านความสามารถในการหน่วงไฟให้เห็นไม่ชัดเจน แต่ให้ผลทางด้านการสัมผัสผิวบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวาง จะทำให้ผ้าหลังการตกแต่งเกิดเป็นคราบเงาบนผิวของผ้า และผิวหน้าของผ้าจะมีความกระด้างมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง สำหรับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟทางการค้า พบว่าทั้งก่อนและหลังการซักมีค่า LOI ที่สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟและไม่ติดไฟในบรรยากาศปกติ เนื่องจากมีค่า LOI สูงกว่าออกซิเจนในบรรยากาศปกติ แต่หลังการซักมีค่า LOI ลดลงถึงร้อยละ 34.39 แต่ยังอยู่ในระดับที่ผ้ายังมีสมบัติหน่วงไฟได้ค่อนข้างดีคือมีค่า LOI ประมาณ 26 ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าวัสดุที่มีมีค่า LOI มากกว่า 26 เป็นวัสดุที่สามารถหน่วงไฟได้ดีแสดงผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่า LOI ของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟก่อนซักและหลังซัก

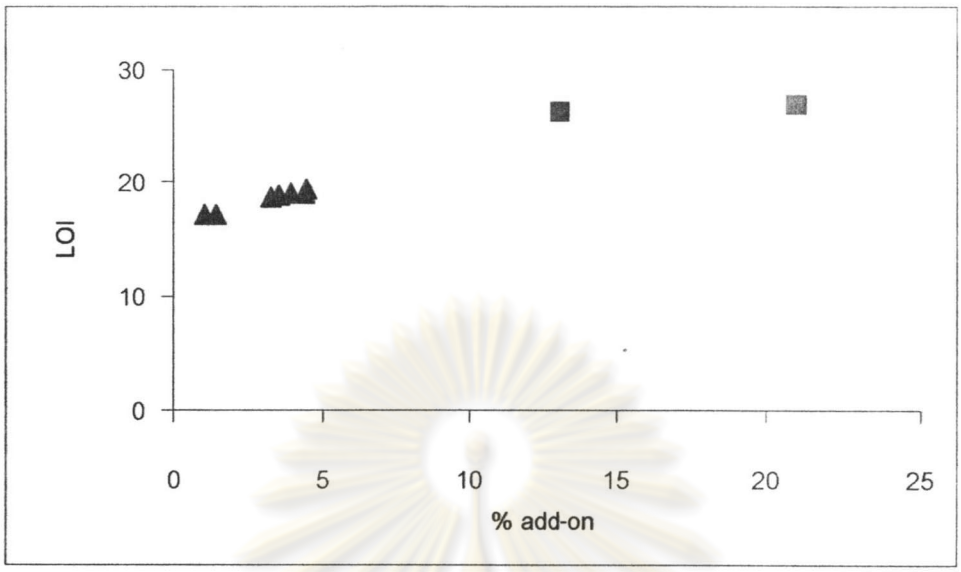
โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ PP

สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PPC

สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PPCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PPCX50

สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PPCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PPCX100

สูตรการตกแต่งที่ 9 คือ ระบบ 1 สูตรการตกแต่งที่ 10 คือ ระบบ 2



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง % add-on และ ค่า LOI ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟหลังซัก

โดยที่ ▲ คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซาน

■ คือ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟทางการค้าที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง

วัสดุที่มีความสามารถในการหน่วงไฟได้ดีจะมีค่า LOI ต่ำ จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % add-on และ ค่า LOI ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ พบว่าเมื่อผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซานด้วย % add-on หรือมีปริมาณของสารหน่วงไฟสูง จะทำให้ผ้าฝ้ายมีค่า LOI สูงตามไปด้วย สำหรับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารหน่วงไฟทางการค้าที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง มี % add-on สูงระหว่าง 10 – 20% มีค่า LOI สูงถึง 26 ดังนั้นหากเพิ่ม % add-on บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซานด้วย % add-on มากกว่า 15% อาจทำให้ผ้าฝ้ายมีการติดไฟยากขึ้น และมีค่า LOI มากกว่า 26

4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย TGA, DTG และ DTA

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอส ที และสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน โดยใช้เทคนิค TGA, DTG และ DTA จากอุณหภูมิห้องจนถึง 600 องศาเซลเซียส ในอากาศ พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟมี 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกเป็นการสลายตัวเริ่มต้นของผ้าฝ้าย ส่วนขั้นที่สองเป็นขั้นตอนการออกซิเดชันของถ่านคาร์บอน ซึ่งการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที และ ไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นต่ำลงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ และผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซาน น้ำหนักที่สูญเสียไปในขั้นแรกมีค่าน้อยลง แสดงว่าผ้าฝ้ายมีการทนอุณหภูมิได้สูงขึ้นและยังทำให้มีปริมาณเถ้าถ่านคาร์บอนของผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้นอีกด้วยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.13 ถึง 4.21

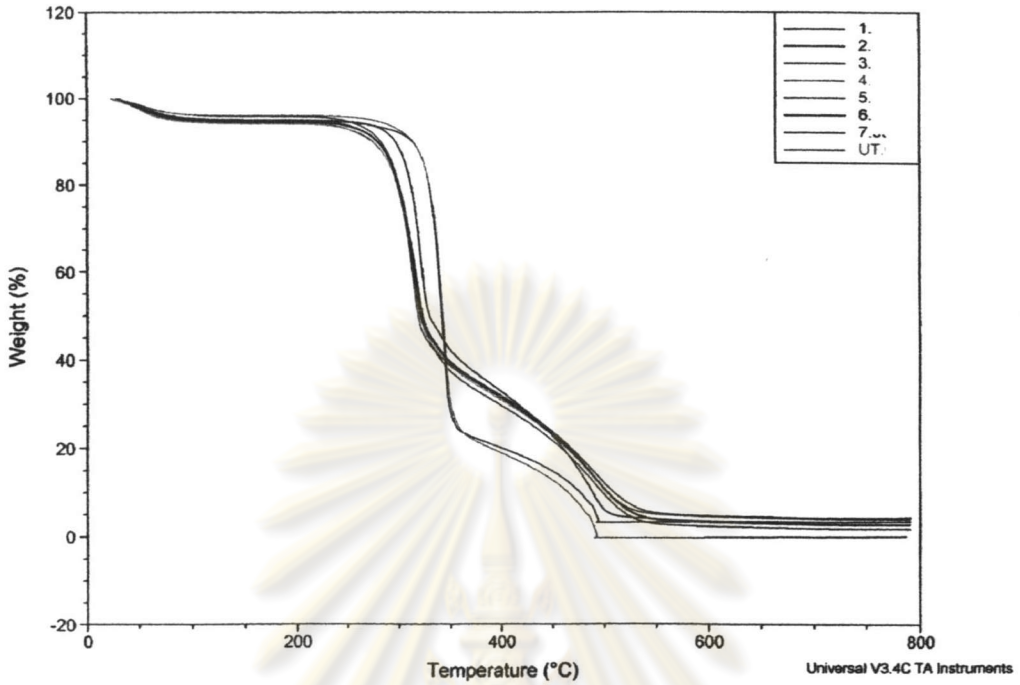
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิการสลายตัว การสูญเสียน้ำหนัก อุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุดและปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่ ของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวางในปริมาณที่ต่างกัน

สูตรการตกแต่ง	TDOP1 (°C)	MDRP1 (°C)	T1 (°C)	wt loss1 (%)	TDOP2 (°C)	MDRP2 (°C)	T2 (°C)	wt loss2 (%)	residue (%)	First exothermic (°C)	Second Exothermic (°C)
untreated cotton (1)	328.3	342.5	350.9	75.66	475.0	488.0	494.2	18.6	5.74	355.6	492.5
PP(2)	308.0	321.0	329.0	58.64	455.2	488.0	501.4	29.8	11.56	340.7	486.7
C(3)	329.2	342.1	349.1	71.74	460.7	489.3	500.6	17.05	11.21	353.5	494.0
PPC(4)	294.7	316.5	329.5	62.45	453.7	494.0	522.9	27.72	9.83	337.5	490.3
PPCX25(5)	294.5	313.4	326.6	60.57	451.4	496.1	518.5	28.54	10.89	335.0	490.5
PPCX50(6)	293.5	312.6	325.1	60.16	454.4	494.7	526.3	28.46	11.38	336.4	492.6
PPCX75(7)	294.2	313.4	325.2	60.38	452.8	492.6	522.8	28.46	11.16	335.9	492.9
PPCX100(8)	295.5	314.9	322.0	61.18	450.2	491.4	526.8	28.99	9.83	329.8	491.4

TDOPหรือ Thermal Degradation Onset Point คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่วัสดุเกิดการสลายตัวด้วยความร้อน

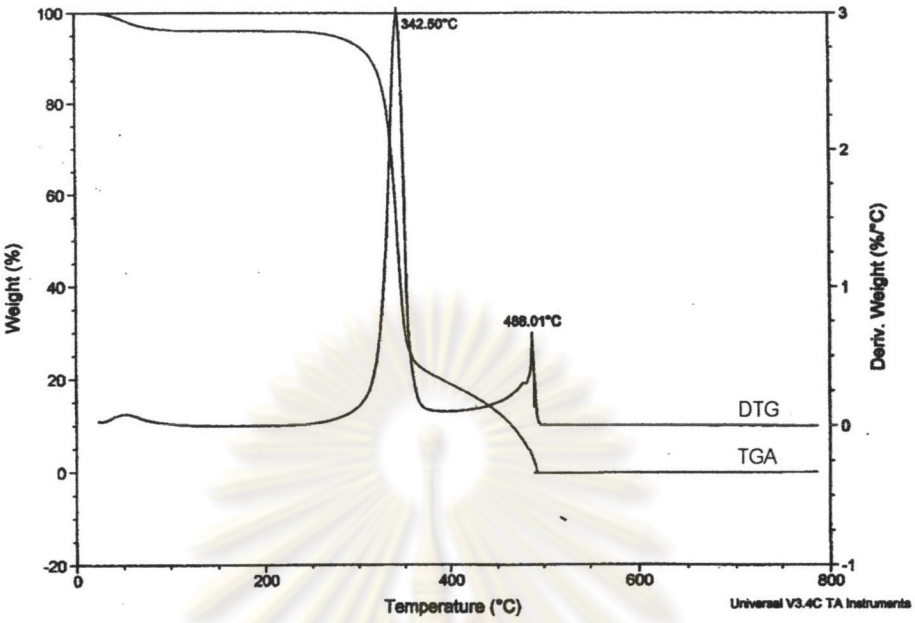
MDRPหรือ Maximum Degradation Rate Point คือ อุณหภูมิที่วัสดุมีอัตราการสลายตัวด้วยความร้อนสูงที่สุด



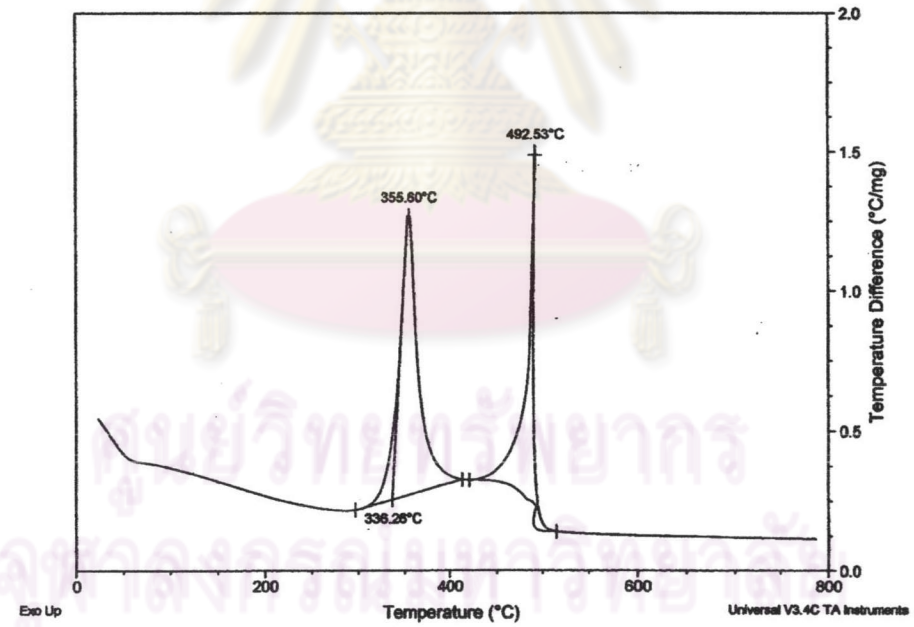
รูปที่ 4.13 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟของแต่ละสูตร

รูปที่ 4.13 แสดง TGA เทอร์โมแกรม ของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจน พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียวมีรูปแบบการสลายตัวคล้ายกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ สำหรับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวางมีรูปแบบการสลายตัวคล้ายกันโดยมีอุณหภูมิที่มีอัตราเร็วในการสลายตัวมากที่สุดต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีอุณหภูมิที่มีอัตราเร็วในการสลายตัวมากที่สุดมากกว่า 300 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

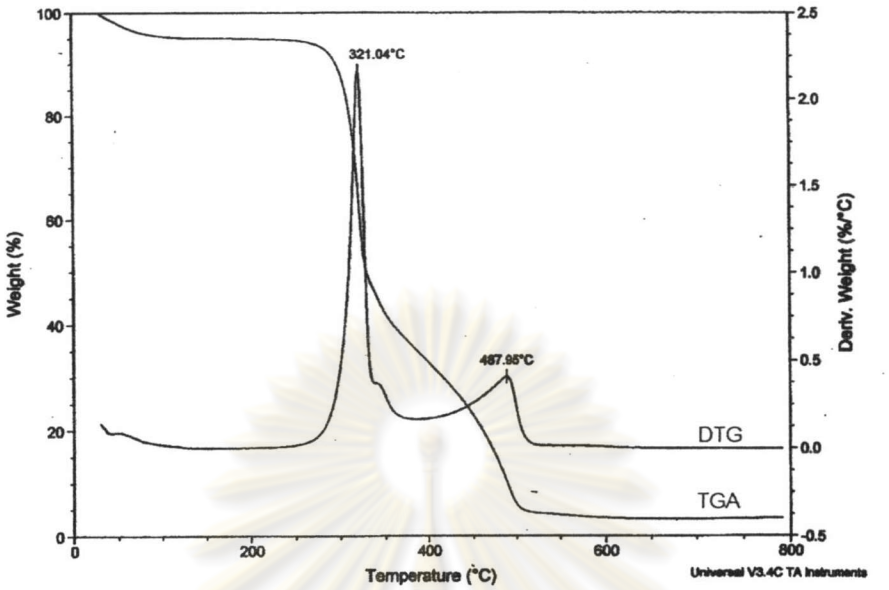


a)

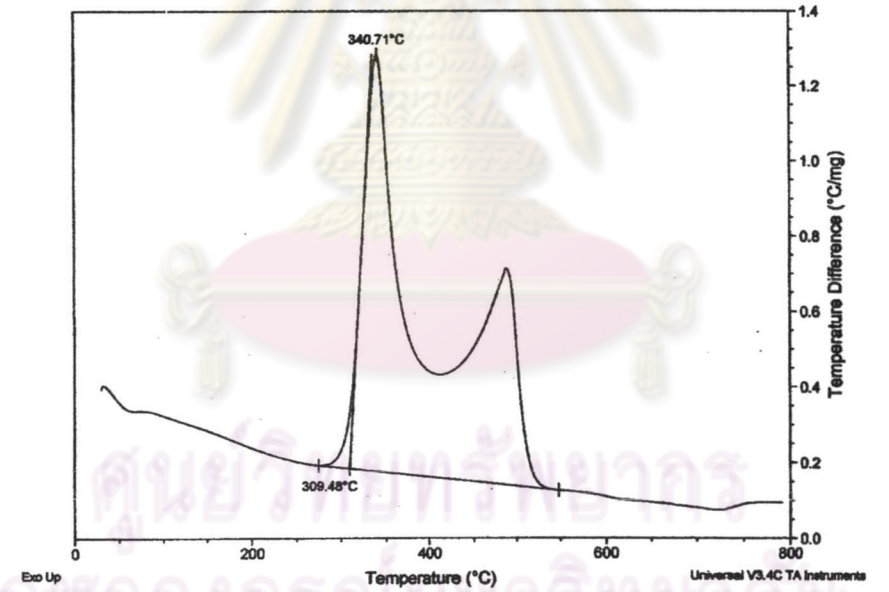


b)

รูปที่ 4.14 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ



a)



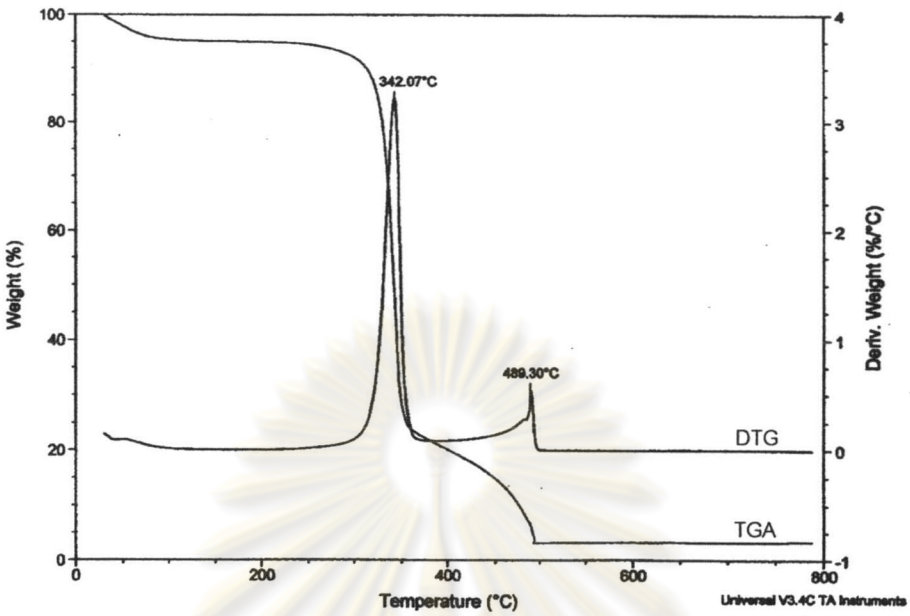
b)

รูปที่ 4.15 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ

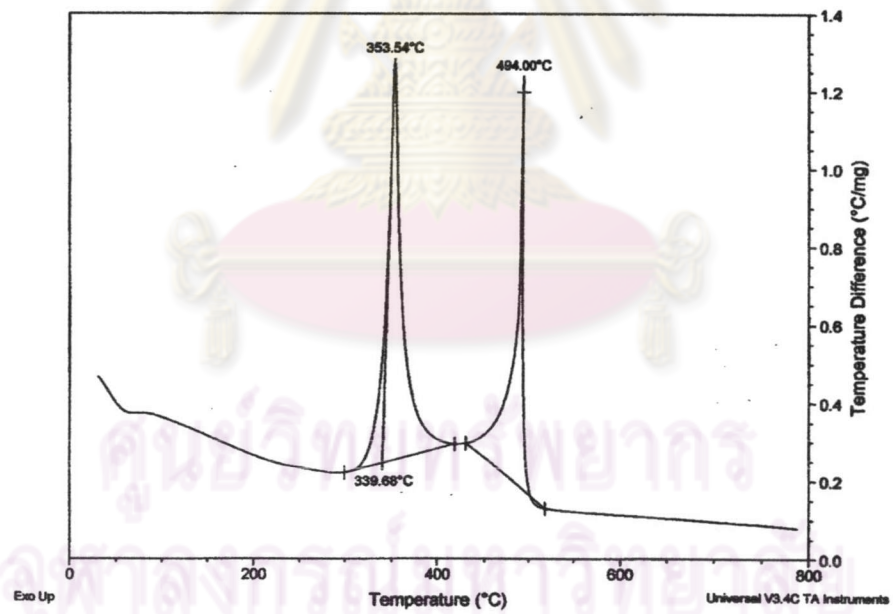
a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที

b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

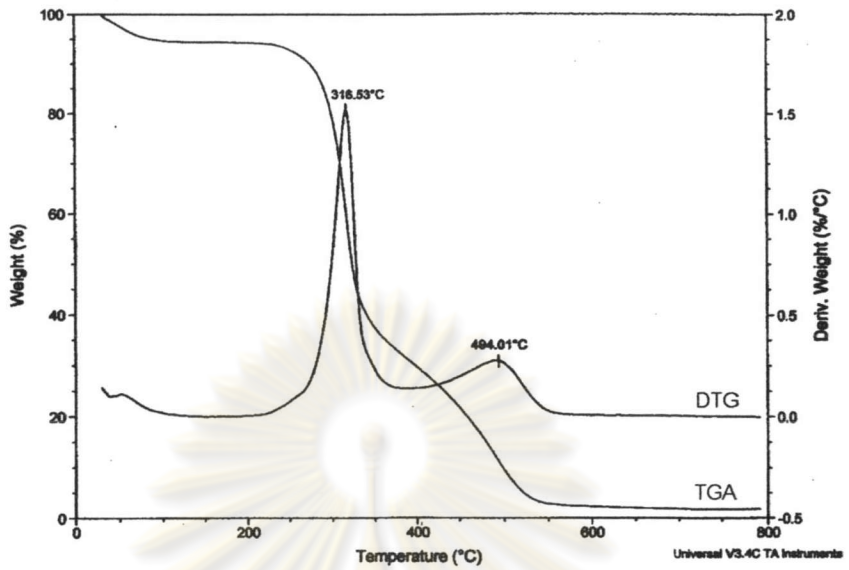


a)

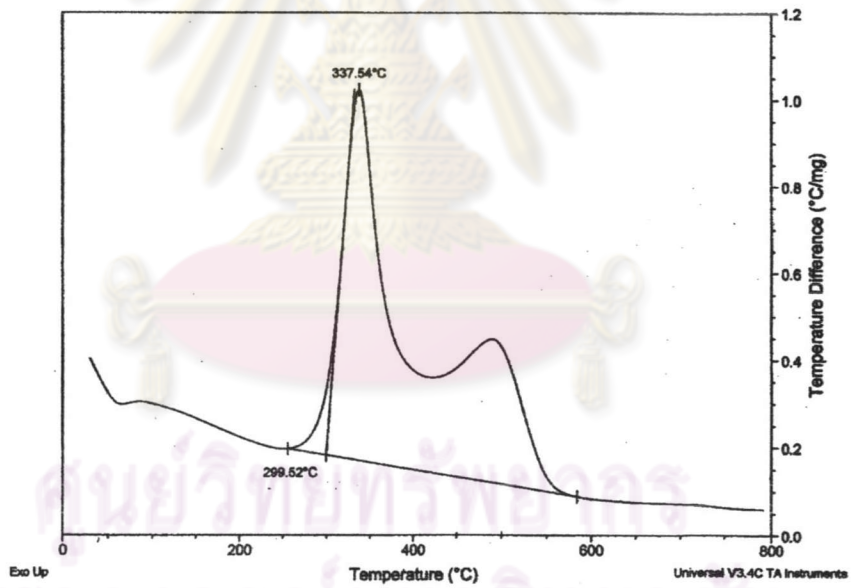


b)

รูปที่ 4.16 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารละลายไคโทซาน b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารละลายไคโทซาน



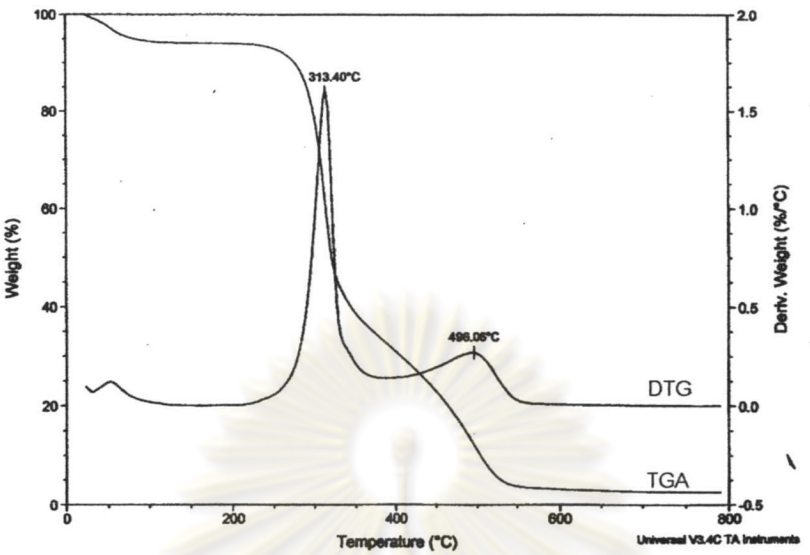
a)



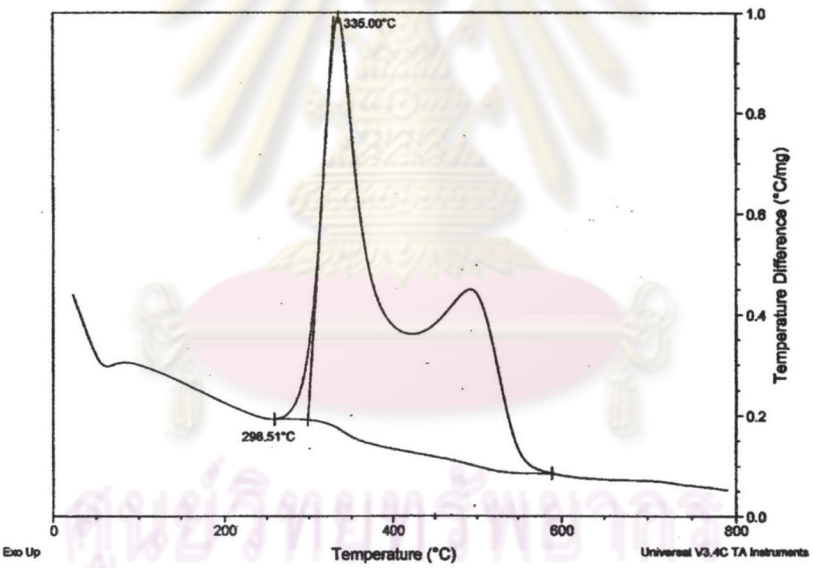
b)

รูปที่ 4.17 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซาน b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วย พอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



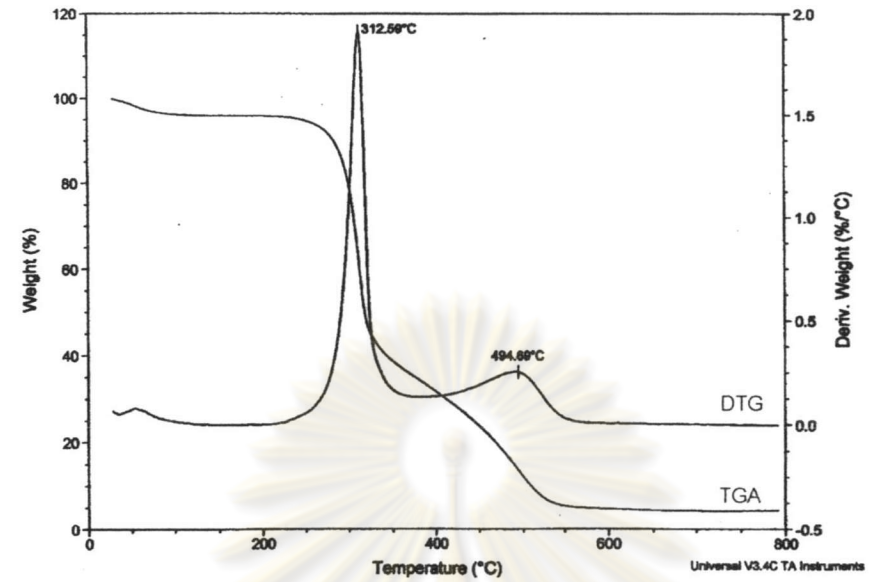
a)



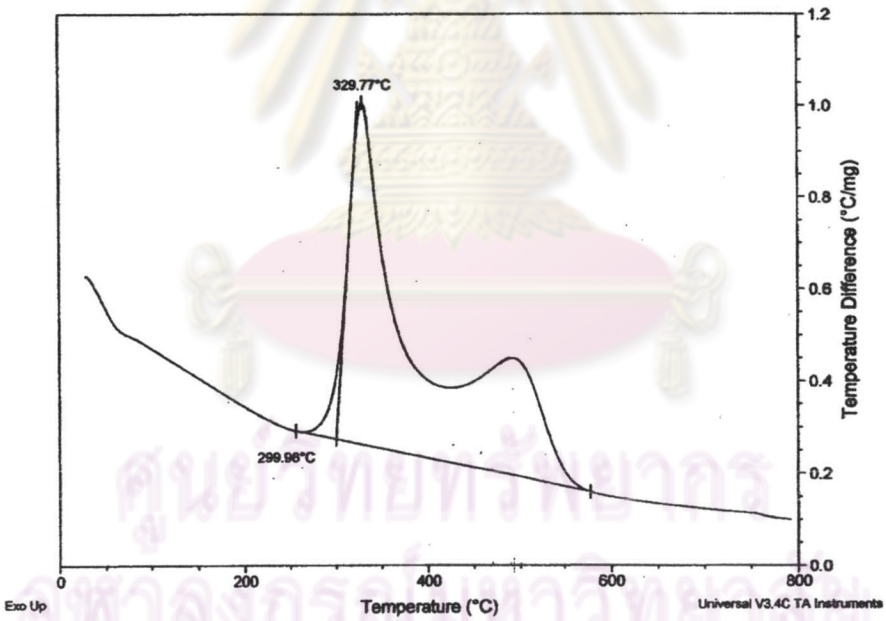
b)

รูปที่ 4.18 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 25% b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 25%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

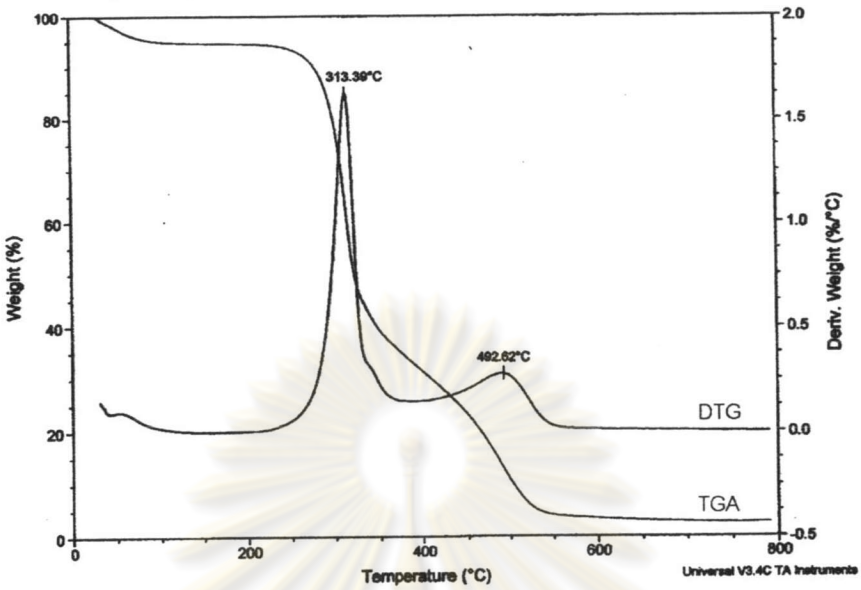


a)

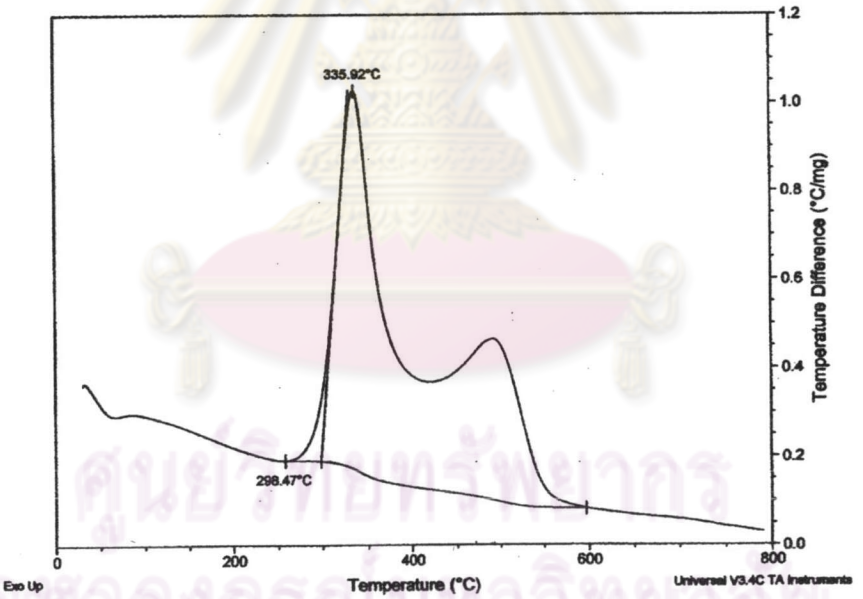


b)

รูปที่ 4.19 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 50% b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 50%

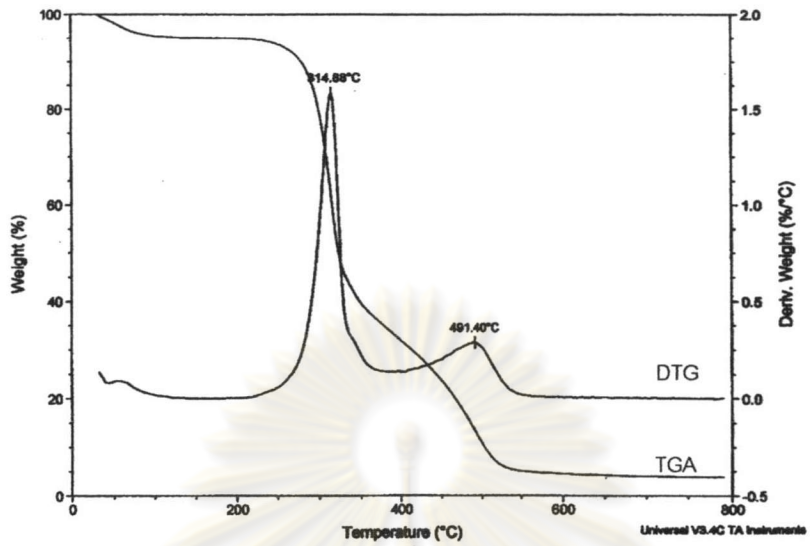


a)

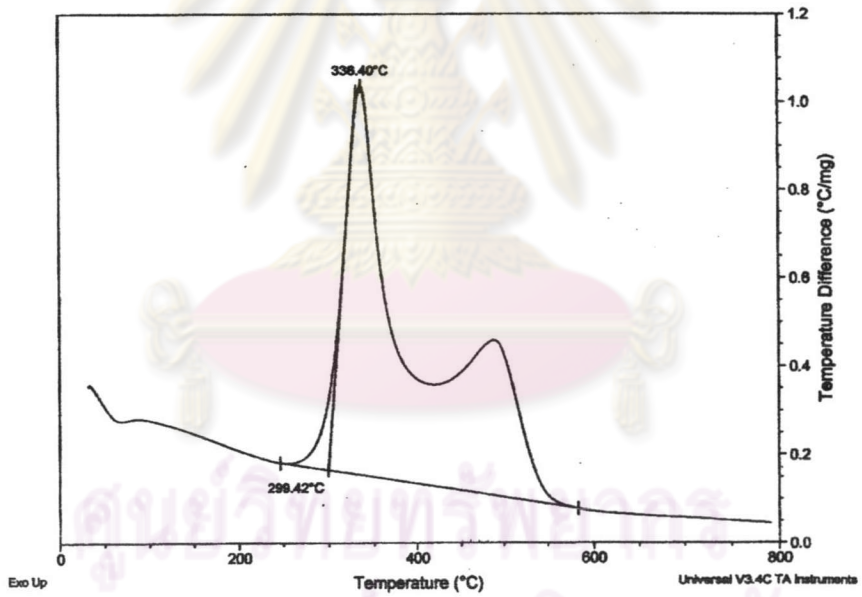


b)

รูปที่ 4.20 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 75% b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 75%



a)



b)

รูปที่ 4.21 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ a) TGA-DTG ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 100% b) DTA ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 100%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.14 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟ พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 342.5 และ 488.0 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันมากแสดงว่ามีอัตราการสลายตัวที่เร็ว อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นคงที่ข้างเร็วที่อุณหภูมิ 328.3 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 342.5 องศาเซลเซียส มีอัตราการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 75.66 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 24.34% สำหรับรูปที่ 4.14 b แสดงกราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 355.6 และ 492.5 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันในอัตราการเกิดออกซิเดชันที่รวดเร็ว (rapid oxidation) และเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ สำหรับพีคทั้งสองที่มีความแหลมมาก อาจเนื่องมาจากผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชัน (decomposition oxidative) อย่างสมบูรณ์ ซึ่งอุณหภูมิของทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 342.5 และ 488.0 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

ในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 4.15 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที (PP) พบว่า ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 321.0 และ 488.0 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 307.98 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 321.0 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 58.64 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนเหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 41.36% สำหรับรูปที่ 4.15 b กราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 340.7 และ 486.7 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันและเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 321.0 และ 488.0 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

จากรูปที่ 4.16 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซาน (C) พบว่าผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 342.0 และ 489.3

องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันมากแสดงว่ามีอัตราการสลายตัวที่เร็ว อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นค่อนข้างเร็วที่อุณหภูมิ 329.2 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 342.0 องศาเซลเซียส มีอัตราการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 71.74 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 28.26% สำหรับรูปที่ 4.16 b แสดงกราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 353.5 และ 494.0 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากการสลายตัว ได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันในอัตราการเกิดออกซิเดชันที่รวดเร็ว (rapid oxidation) และเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ สำหรับพีคที่สองที่มีความแหลมมาก อาจเนื่องมาจากผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชัน (decomposition oxidative) อย่างสมบูรณ์ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับพีคที่ 342.5 และ 488.0 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

จากรูปที่ 4.17 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีร่วมกับไคโทซาน (PPC) พบว่า ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 316.5 และ 494.0 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 294.7 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 316.5 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 62.45 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนเหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 37.55% สำหรับรูปที่ 4.17 b กราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 337.5 และ 490.3 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันและเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 316.5 และ 494.0 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

จากรูปที่ 4.18 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 25 % (PPCX25) พบว่า ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 313.4 และ 496.1 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 294.5 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 313.4 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 60.57% มีปริมาณถ่านคาร์บอนเหลืออยู่ที่

อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 39.43% สำหรับรูปที่ 4.18 b กราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 335.00 และ 490.54 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันและเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 313.4 และ 496.1 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

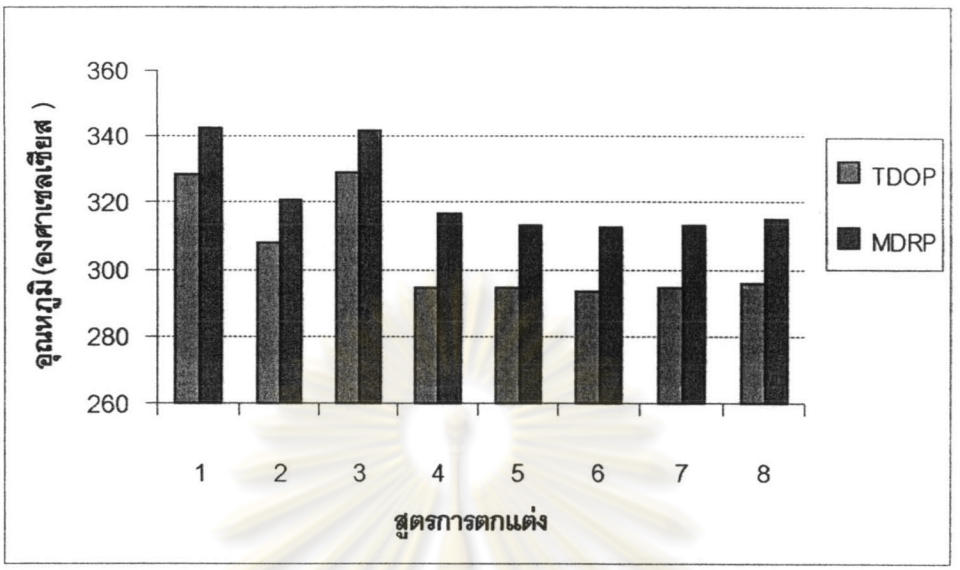
จากรูปที่ 4.19 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 50 % (PPCX50) พบว่า ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 312.5 และ 494.7 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 293.5 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 312.5 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 60.16 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนเหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 39.84% สำหรับรูปที่ 4.19 b กราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 336.4 และ 492.6 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันและเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 312.5 และ 494.7 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

จากรูปที่ 4.20 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 75 % (PPCX75) พบว่า ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 313.4 และ 492.6 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลง อุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 294.2 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 313.4 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 60.38 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนเหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 39.43% สำหรับรูปที่ 4.20 b กราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 335.9 และ 492.9 องศาเซลเซียส โดยที่

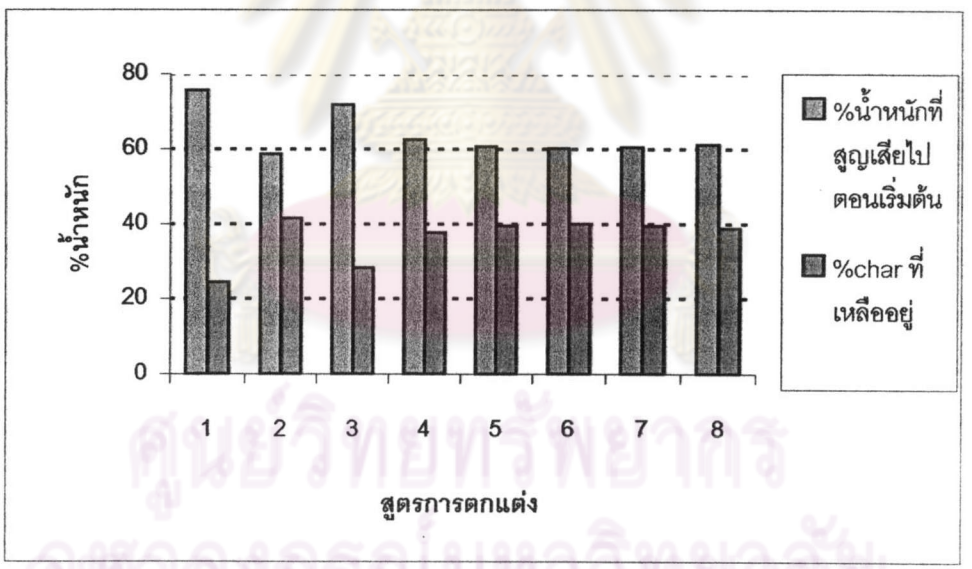
การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันและเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 313.4 และ 492.6 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

จากรูปที่ 4.21 a แสดงเทอร์โมแกรม ของ TGA และ DTG ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 100 % (PPCX100) พบว่า ผ้าฝ้ายเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 314.9 และ 491.4 องศาเซลเซียส กราฟ TGA มีความชันลดลงอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 295.5 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 314.9 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวมากที่สุด สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 61.18 % มีปริมาณถ่านคาร์บอนเหลืออยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 38.82% สำหรับรูปที่ 4.21 b กราฟ DTA พบว่าผ้าฝ้ายมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นที่อยู่ในผ้า และมีการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 329.8 และ 491.4 องศาเซลเซียส โดยที่การคายความร้อนในพีคแรก อาจเกิดเนื่องจากเกิดการสลายตัวได้สารระเหย เกิดการสลายตัวแบบออกซิเดชันและเกิดถ่านคาร์บอน ส่วนพีคที่สองจะเกิดการออกซิไดซ์ของถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองพีคดังกล่าวสอดคล้องกับอุณหภูมิของพีคที่ 314.9 และ 491.4 องศาเซลเซียส ของกราฟ DTG

จากผลการวิเคราะห์ทางความร้อน แสดงให้เห็นว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง โดยมีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นและอุณหภูมิที่มีอัตราการสลายตัวมากที่สุด สูงกว่า 280 องศาเซลเซียส แต่ให้ผลทางด้านการสัมผัสผิวบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวางจะทำให้ผ้าหลังการตกแต่งเกิดเป็นคราบเงาบนผิวของผ้า และผิวหน้าของผ้าจะมีความกระด้างมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง



รูปที่ 4.22 อุณหภูมิของการสลายตัวเริ่มต้น (TDOP) อุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุด (MDRP)



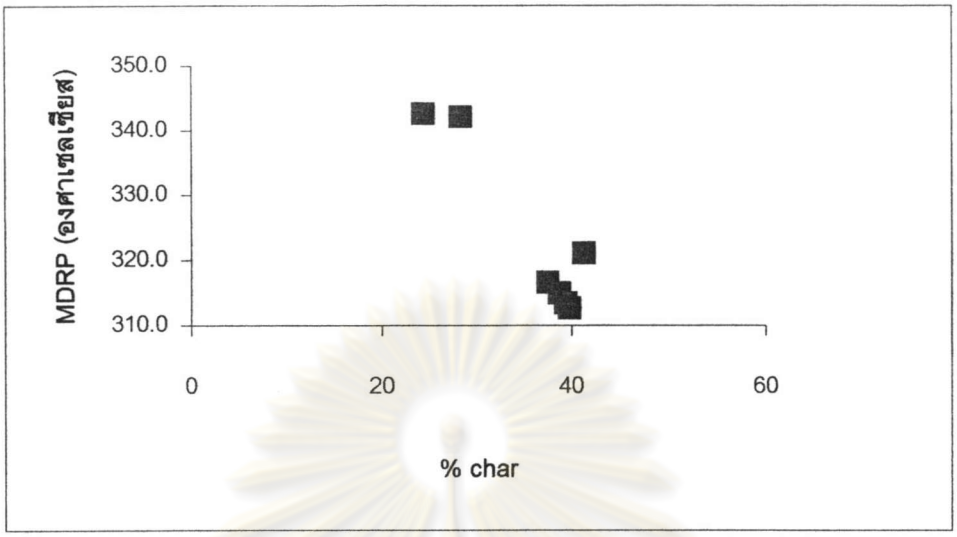
รูปที่ 4.23 % น้ำหนักที่สูญเสียไปในตอนเริ่มต้นและมีปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่

โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ PP
สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PPC
สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PPCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PPCX50
สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PPCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PPCX100

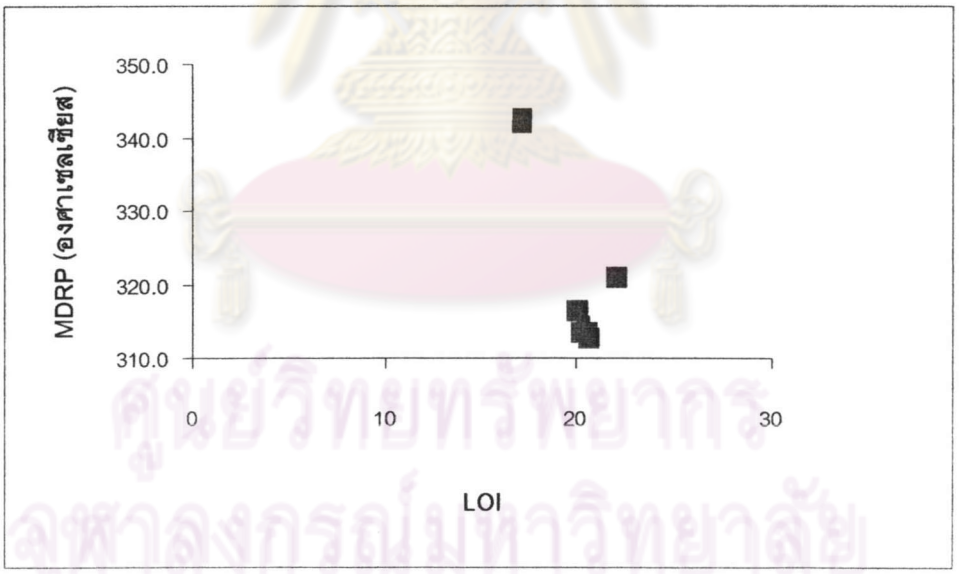
จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีเพียงอย่างเดียว พอลิฟอสทีและไคโทซานทั้งมีและไม่มีสารเชื่อมขวาง มีอุณหภูมิสลายตัวเริ่มต้น และอุณหภูมิอัตราการสลายตัวมากที่สุดต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานเพียงอย่างเดียว และมีน้ำหนักที่สูญเสียไปในตอนเริ่มต้น และปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากสารหน่วงไฟทำหน้าที่เปลี่ยนเส้นทางการสลายตัวของเซลลูโลสในรูปที่ 2.8 จากการเกิด laevoglucosan ซึ่งทำให้เกิดไอระเหยที่สามารถติดไฟได้ ไปเป็นการเกิดดีไฮโดรเซลลูโลส แล้วเกิดการขจัดน้ำออก เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และถ่านคาร์บอน เพื่อให้แก๊ซที่ไม่ติดไฟทำหน้าที่เจือจางไอระเหยที่สามารถติดไฟให้มีความเข้มข้นต่ำกว่าจุดที่ติดไฟได้ และถ่านคาร์บอนที่เกิดขึ้นช่วยป้องกันความร้อนและออกซิเจนไม่ให้สัมผัสกับเส้นใย ซึ่งจากค่า LOI ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีเพียงอย่างเดียว พอลิฟอสทีและไคโทซานทั้งมีและไม่มีสารเชื่อมขวาง ยังไม่ทำให้เปลวไฟสามารถดับได้เอง เนื่องจากอุณหภูมิอัตราการสลายตัวมากที่สุดยังมีค่าไม่ต่ำพอ(< 280°C) ในระดับที่จะทำให้การสลายตัวของเซลลูโลสเกิดดีไฮโดรเซลลูโลส แล้วเกิดการขจัดน้ำออก เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และถ่านคาร์บอนที่มากพอที่จะขัดขวางการเกิด laevoglucosan อย่างไรก็ตามพฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟ และความรุนแรงของเปลวไฟลดลง

จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวมากที่สุด ปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และค่า LOI ถ้าอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวมากที่สุดมีค่าต่ำลงจะยิ่งทำให้สารหน่วงไฟทำหน้าที่เป็นตัวเร่งกรดเพื่อให้เกิดการขจัดน้ำออก สร้างชั้นถ่านคาร์บอน ซึ่งทำให้มีปริมาณถ่านคาร์บอน และค่า LOI เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวมากที่สุด และปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และค่า LOI

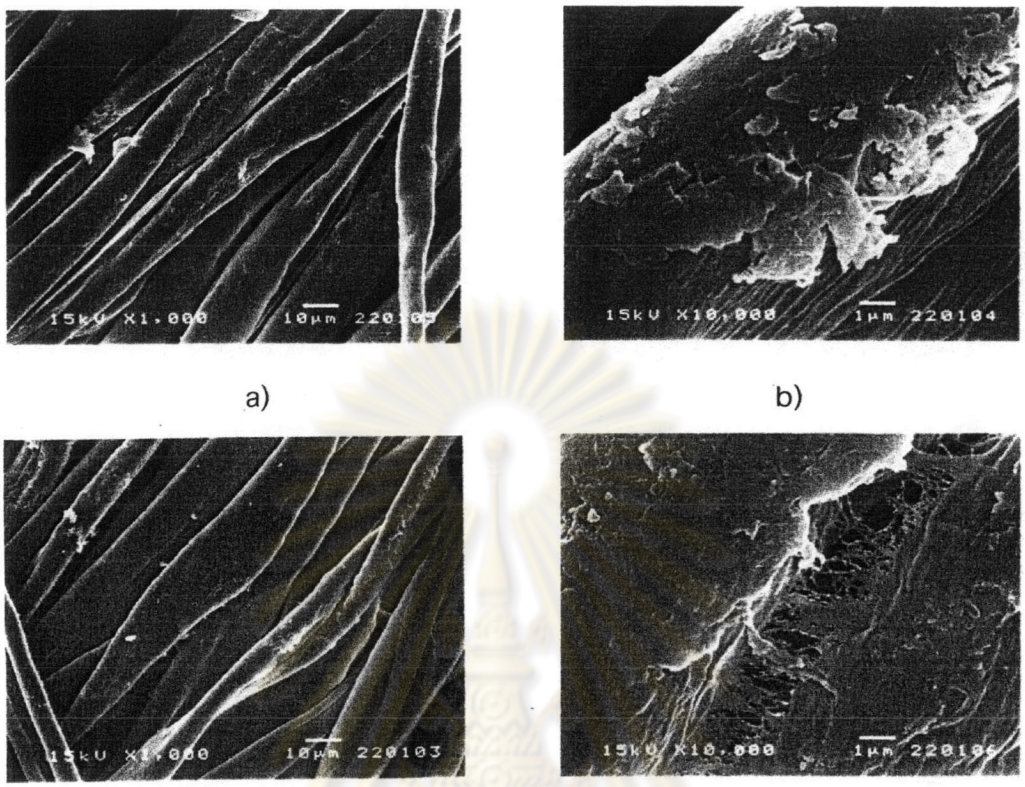
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)

ผลที่ได้จากการส่องดูพื้นผิวของผ้าฝ้าย แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าเส้นใยฝ้ายมีพื้นผิวค่อนข้างหยาบ มีลักษณะเป็นริ้วๆ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีทั้งก่อนและหลังการซัก แสดงดังรูปที่ 4.27 พบว่าพอลิฟอสทีเกาะเป็นชั้นบนพื้นผิวเส้นใยแต่ละเส้นอย่างไม่สม่ำเสมอ และเมื่อทำการซักล้างแล้ว พบว่ามีการหลุดออกของพอลิฟอสทีบางส่วน ซึ่งสังเกตได้จากชั้นของพอลิฟอสทีที่เกาะบนเส้นใยนั้นบางลง ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซานทั้งก่อนและหลังการซัก แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าไคโทซานเคลือบเป็นก้อนหนาบนพื้นผิวเส้นใยแต่ละเส้นอย่างไม่สม่ำเสมอ และเมื่อทำการซักล้างแล้วพบว่า มีการหลุดออกของไคโทซานบางส่วน ซึ่งสังเกตได้จากมีการหลุดออกของไคโทซานเป็นก้อนๆออกมาบนพื้นผิวเส้นใย ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานทั้งก่อนและหลังการซัก แสดงดังรูปที่ 4.29 พบว่าพอลิฟอสทีและไคโทซานเคลือบบนพื้นผิวเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วผืนผ้า และเมื่อทำการซักล้างแล้วพบว่าแผ่นของพอลิฟอสทีและไคโทซานที่เคลือบบนพื้นผิวเกิดการขาดออกบางช่วง

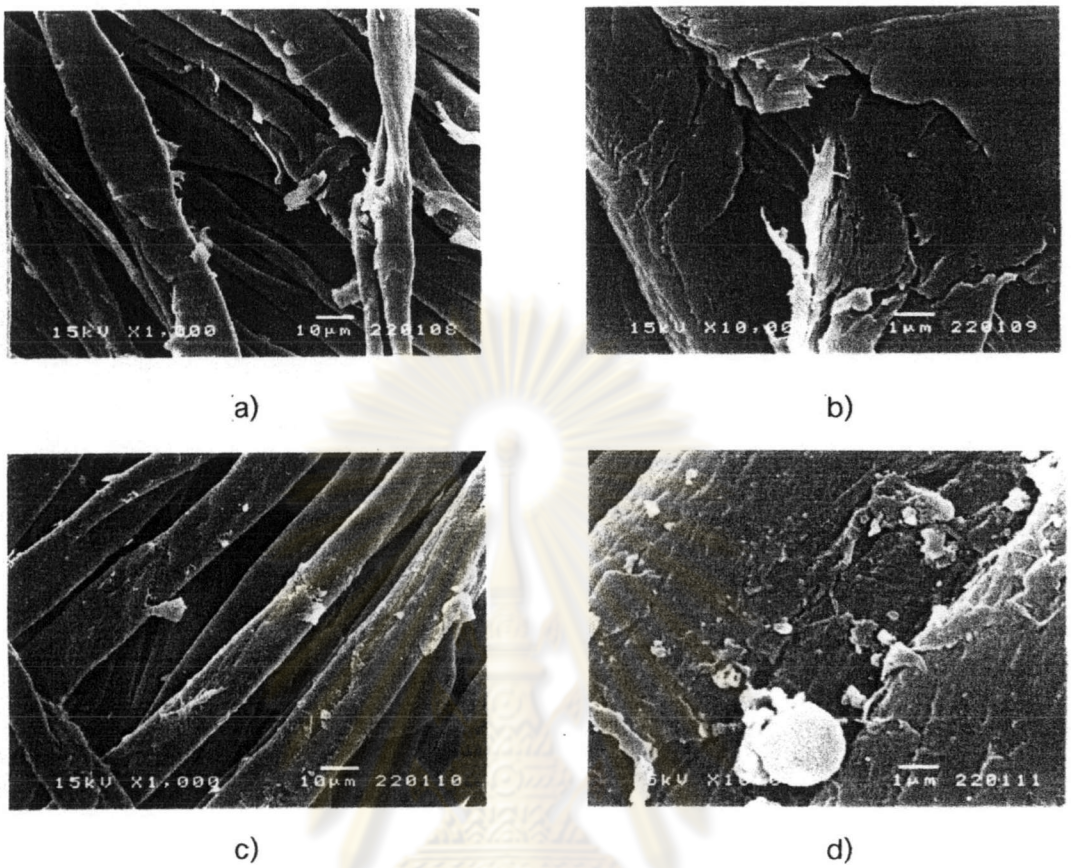
a) b)

รูปที่ 4.26 พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ a) กำลังขยาย 1,000 b) กำลังขยาย 10,000



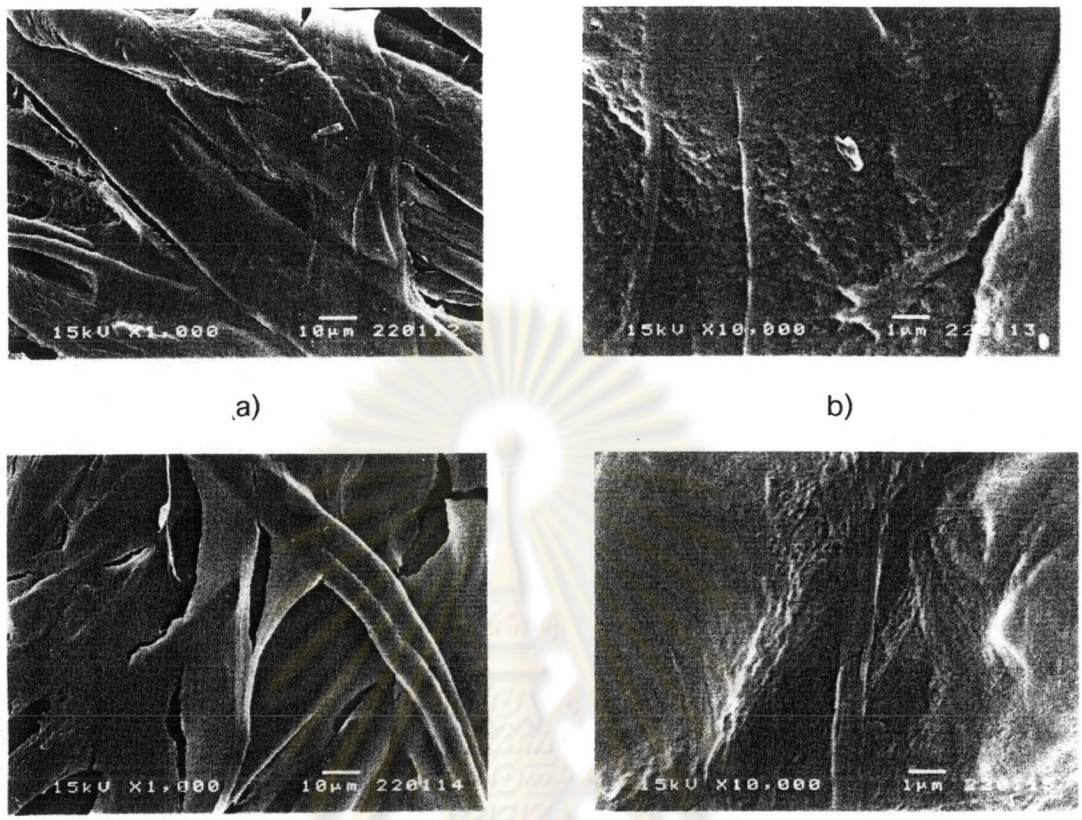
รูปที่ 4.27 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000) c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



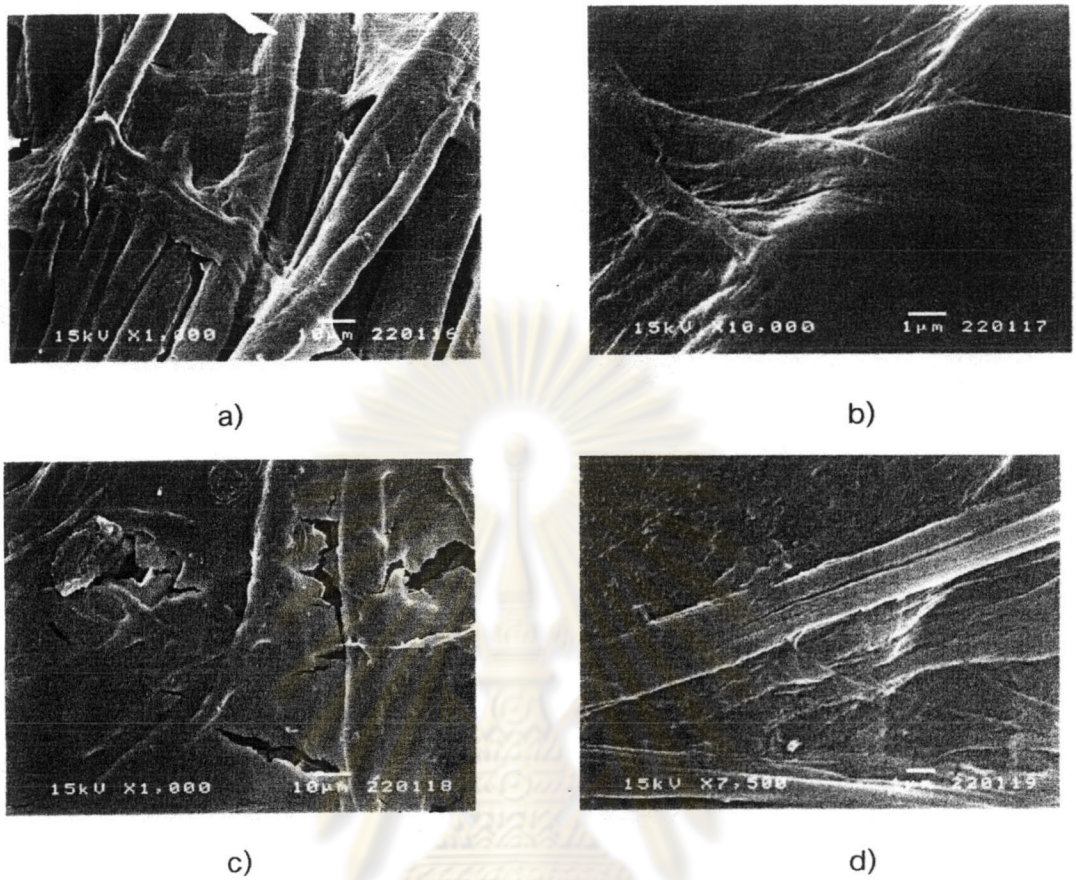
รูปที่ 4.28 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซาน a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000) c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



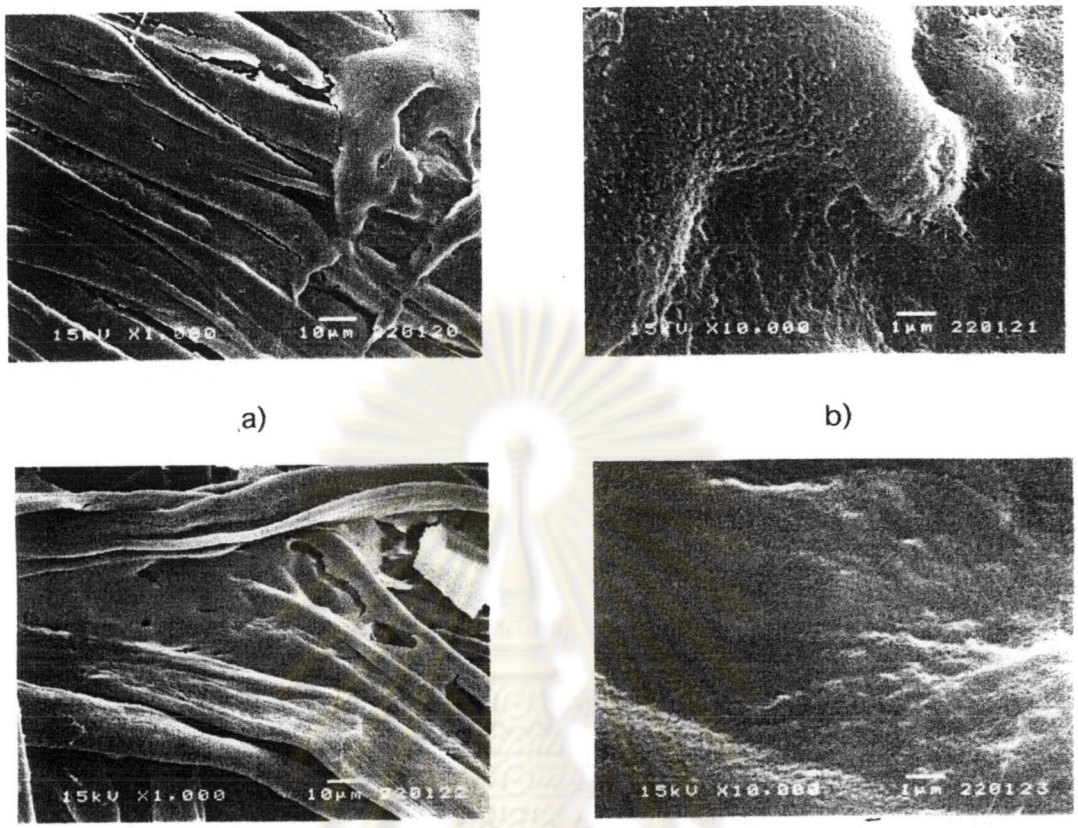
รูปที่ 4.29 พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซาน
a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000)
c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)

ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซาน ทั้งก่อนและหลังการซักที่มีสารเชื่อมขวาง 25 % แสดงดังรูปที่ 4.30 พบว่าพอลิฟอสทีและไคโทซานเกิดการสานกันเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วผืนผ้า และเมื่อทำการซักล้างแล้วพบว่า แผ่นฟิล์มของพอลิฟอสทีและไคโทซานที่เคลือบบนพื้นผิวเกิดการขาดออกบางช่วง ส่วนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซาน ทั้งก่อนและหลังการซักที่มีสารเชื่อมขวาง 50 % แสดงดังรูปที่ 4.31 พบว่าพอลิฟอสทีและไคโทซานเกิดการสานกันเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวเส้นใยและบางส่วนแทรกลงไประหว่างเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วผืนผ้า และเมื่อทำการซักล้างแล้วพบว่าแผ่นฟิล์มของพอลิฟอสทีและไคโทซานที่เคลือบบนพื้นผิวเกิดการขาดออกบางช่วง



รูปที่ 4.30 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 25 % a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000) c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)

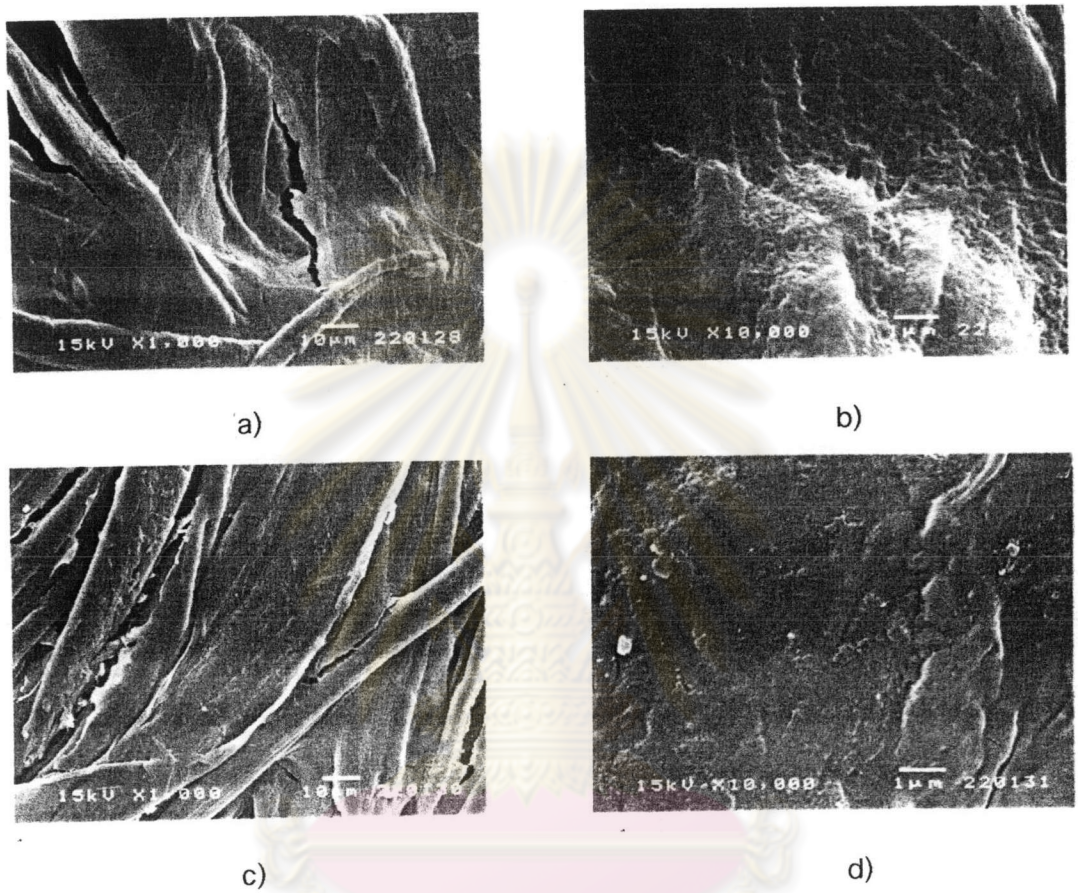
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.31 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 50 % a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000) c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)

ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซาน ทั้งก่อนและหลังการซักที่มีสารเชื่อมขวาง 75 % แสดงดังรูปที่ 4.32 พบว่าพอลิฟอสทีและไคโทซานเกิดการสานกันเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วผืนผ้าแต่แผ่นเคลือบเกิดการขาดออกบางช่วง และเมื่อทำการซักล้างแล้วพบว่าแผ่นฟิล์มของพอลิฟอสทีและไคโทซานที่เคลือบบนพื้นผิวขาดออกบางช่วง ส่วนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซาน ทั้งก่อนและหลังการซักที่มีสารเชื่อมขวาง 100 % แสดงดังรูปที่ 4.33 พบว่าแผ่นพอลิฟอสทีและไคโทซานเกิดการสานกันเป็นฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวเส้นใยแต่แผ่นเคลือบเกิดการขาดออกบางช่วง และเมื่อทำการซักล้างแล้ว

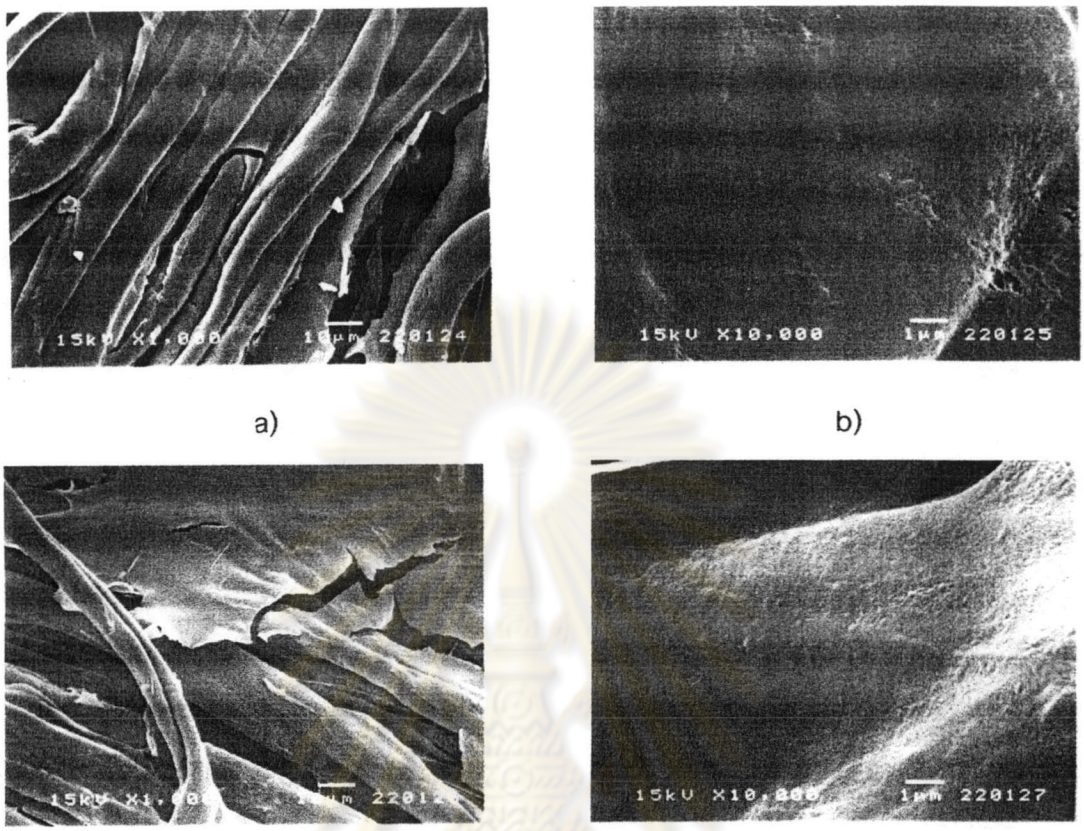
พบว่าแผ่นของพอลิฟอสทีและไคโทซานที่เคลือบบนพื้นผิวเกิดการขาดออกและบางช่วงหลุดออกจากพื้นผิวเส้นใย



a) b)

c) d)

รูปที่ 4.32 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 75 % a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000) c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)



a) b)

c) d)

รูปที่ 4.33 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 100 % a) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x1,000) b) พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซัก (x10,000) c) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x1,000) d) พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซัก (x10,000)

เมื่อทำการเปรียบเทียบความคงทนต่อการซักล้างจากผลการส่องกล้องจุลทรรศน์ พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีและไม่มีสารเชื่อมขวาง ทำให้พอลิฟอสที มีความคงทนบนเส้นใย โดยมีลักษณะการเคลือบคล้ายแผ่นฟิล์ม ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที หรือไคโทซานเพียงอย่างเดียวไม่มีลักษณะดังกล่าว ซึ่งลักษณะเกิดเป็นฟิล์มนั้นเกิดขึ้นจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างพอลิฟอสที ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบกับไคโทซานซึ่งมีประจุบวก ฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้จะไม่ละลายน้ำ ทำให้มีความคงทนต่อการซักล้างได้ดีกว่า โดยที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อม

ขวาง กับผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวาง ปรากฏผลด้านความคงทนต่อการซักล้างให้เห็นไม่ชัดเจน แต่ให้ผลทางด้านการสัมผัสผิวบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง และลักษณะการตกค้างของพอลิฟอสที บนผ้าฝ้าย โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ไม่มีสารเชื่อมขวาง จะทำให้ผ้าหลังการตกแต่งเกิดเป็นคราบเงาบนผิวของผ้า และผิวหน้าของผ้าจะมีความกระด้างมากกว่าโดยที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง

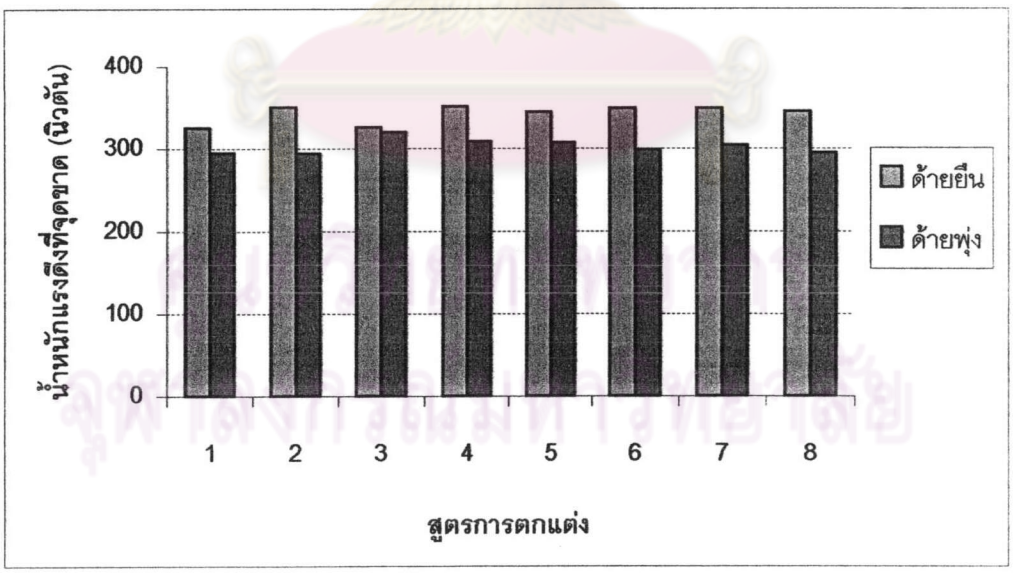
4.6 การศึกษาอิทธิพลของการตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้ายต่อความทนน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด

ผลที่ได้จากผลการทดสอบหาค่าความทนน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด และ % ความยืดตัวจนถึงจุดขาดของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรการตกแต่งต่างๆ ของชิ้นทดสอบมีความกว้าง 25.00 มิลลิเมตร ความยาว 175 มิลลิเมตร และหนา 0.25 มิลลิเมตร โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟแล้วความหนาจะไม่เพิ่มขึ้น ค่าความทนน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด และ% ความยืดตัวจนถึงจุดขาด ดังตารางที่ 4.15

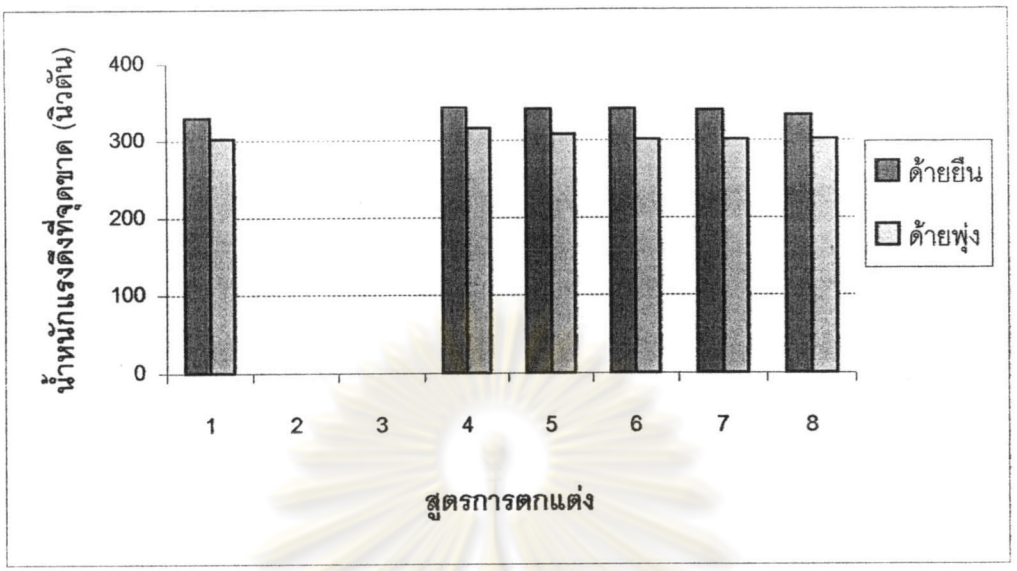
ตารางที่ 4.15 ค่าความทนน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด และ% ความยืดตัวจนถึงจุดขาดของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรการตกแต่งต่างๆ

สูตรการตกแต่ง	น้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด(นิวตัน)				% ความยืดตัวจนถึงจุดขาด			
	ก่อนซัก		หลังซัก		ก่อนซัก		หลังซัก	
	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
Untreated cotton(1)	325.46	294.98	329.55	302.3	14.52	45.86	18.908	54.08
PP(2)	350.66	294.43	-	-	15.87	52.44	-	-
C(3)	325.89	319.63	-	-	11.71	31.36	-	-
PPC(4)	351.60	308.70	342.17	315.68	14.37	30.04	15.83	42.41
PPCX25(5)	344.09	307.11	340.72	307.69	12.38	32.98	15.27	40.42
PPCX50(6)	348.92	298.40	340.71	300.59	12.09	29.53	16.55	36.74
PPCX75(7)	348.76	303.64	338.94	300.27	12.51	25.40	15.09	41.70
PPCX100(8)	345.19	294.64	332.33	301.52	15.86	35.09	16.28	45.67

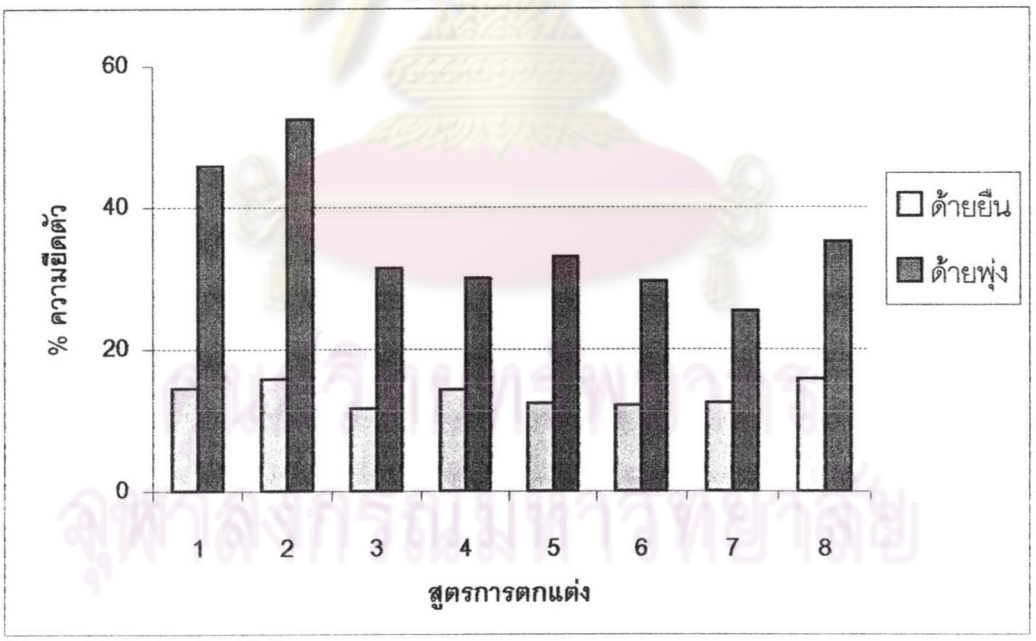
จากตารางพบว่าผ้าฝ้ายก่อนและหลังซัก ที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟจะมีน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาดของด้ายยืนมากกว่าด้ายพุ่ง ซึ่งผ้าฝ้ายปกติที่นำมาทอจะมีความแข็งแรงของเส้นด้ายยืนมากกว่าด้ายพุ่ง เนื่องจากด้ายยืนจะต้องผ่านการเสียดสีมากจากด้ายพุ่งที่ทำการขัดสานลายทอ ส่วน% ความยืดตัวจนถึงจุดขาดของด้ายพุ่งมากกว่าด้ายยืน เมื่อทำการตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้ายด้วยสารเคมีสูตรต่างๆทั้งก่อนและหลังซัก พบว่าส่วนใหญ่น้ำหนักแรงดึงที่จุดขาดของทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่งมีค่ามากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ เนื่องจากมีพอลิเมอร์เคลือบอยู่บนพื้นผิวของผ้าทำให้ผ้ามีความแข็งแรงมากขึ้น ยกเว้นผ้าฝ้ายก่อนซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสที และพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ทีสารเชื่อมขวาง 100 % ที่เป็นส่วนของด้ายพุ่งมีค่าเท่ากันกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ และผ้าฝ้ายหลังซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและไคโทซานที่ทีสารเชื่อมขวาง 50 % 75 % และ 100 % ในส่วนที่เป็นด้ายพุ่งมีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วน % ความยืดตัวจนถึงจุดขาดส่วนใหญ่มีค่าลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์ที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของผ้าทำให้ผ้ามีความแข็งขึ้น ทำให้ % ความยืดตัวของผืนผ้าลดลง ยกเว้นผ้าฝ้ายก่อนซักที่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีในส่วนที่เป็นด้ายพุ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดสอบในส่วนที่เป็นด้ายพุ่งจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเล็กน้อย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.34 ถึง รูปที่ 4.35



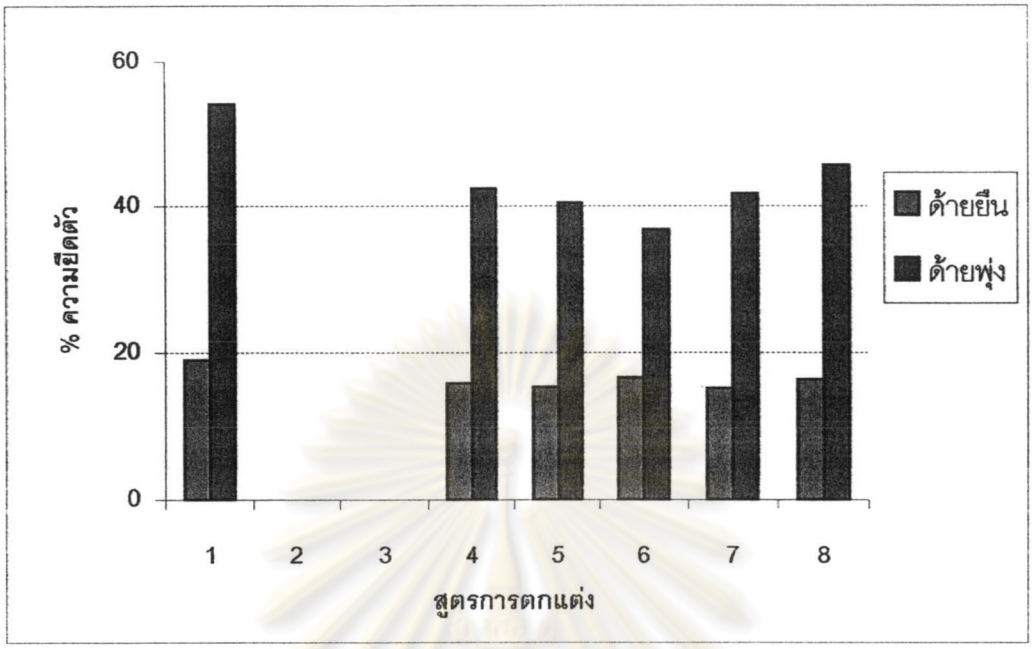
รูปที่ 4.34 น้ำหนักแรงดึงที่จุดขาดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรต่างๆ ก่อนซัก



รูปที่ 4.35 น้ำหนักแรงดึงที่จุดขาดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรต่างๆ หลังซัก



รูปที่ 4.36 ค่าความยืดตัวของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรต่างๆ ก่อนซัก



รูปที่ 4.37 ค่าความยืดตัวของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟด้วยสูตรต่างๆ หลังซัก

โดยที่ สูตรการตกแต่งที่ 1 คือ untreated cotton สูตรการตกแต่งที่ 2 คือ PP
สูตรการตกแต่งที่ 3 คือ C สูตรการตกแต่งที่ 4 คือ PPC
สูตรการตกแต่งที่ 5 คือ PPCX25 สูตรการตกแต่งที่ 6 คือ PPCX50
สูตรการตกแต่งที่ 7 คือ PPCX75 สูตรการตกแต่งที่ 8 คือ PPCX100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย