

การใช้สารประกอบฟอสฟอรัสร่วมกับโคโทซานเพื่อปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟของผ้าฝ้าย



นางสาวจิตติพร โมวัฒน์นะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2695-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20923909

CO-APPLICATION OF PHOSPHORUS CONTAINING COMPOUNDS AND CHITOSAN
TO IMPROVE FLAME RETARDANCY OF COTTON FABRIC



Miss Thitiporn Mowattana

ศูนย์วิทยทรัพยากร

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

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2695-3

ฐิติพร โมวัฒน์ : การใช้สารประกอบฟอสฟอรัสร่วมกับไคโตซานเพื่อปรับปรุงสมบัติการ
หน่วงไฟของผ้าฝ้าย. (CO-APPLICATION OF PHOSPHORUS CONTAINING
COMPOUNDS AND CHITOSAN TO IMPROVE FLAME RETARDANCY OF
COTTON FABRIC) อ.ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา, อ.ที่ปรึกษาร่วม :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ 137 หน้า. ISBN 974-17-2695-3.

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษากระบวนการเสริมกันของสารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่
ใช้ในการตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้ายโดยใช้กรดฟอสฟอริกและพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโตซานด้วย
เทคนิคจุ่ม-อัดอบความร้อน จากนั้นทำการทดสอบสมบัติหน่วงไฟทั้งก่อนและหลังการซัก โดย
ทดสอบการลุกไหม้แนว 45 องศา หาค่า LOI วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA
และทดสอบสมบัติเชิงกลจากความทนน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด

จากการทดลองพบว่า ก่อนการซักผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟมีอัตราเร็วในการลุกลาม
ของเปลวไฟในแนว 45 องศา เท่ากับ 0.84 ซม./วินาที ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรด
ฟอสฟอริกร่วมกับไคโตซานไม่เกิดการลุกลามของเปลวไฟ และเปลวไฟสามารถดับได้เองเมื่อนำ
แหล่งต้นไฟออก สำหรับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโตซานจะเกิดการ
ลุกลามของเปลวไฟโดยมีอัตราเร็วในแนว 45 องศา เท่ากับ 0.35 ซม./วินาที และมีค่า LOI
ประมาณ 20 - 20.5 ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟมีค่า LOI เท่ากับ 17 เท่านั้น

สำหรับภายหลังการซักพบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโตซาน
เกิดการลุกลามของเปลวไฟโดยมีอัตราเร็วในแนว 45 องศา เท่ากับ 0.40 ซม./วินาที และความแข็ง
แรงของผ้าไม่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยกรดฟอสฟอริกเนื่องจากกรด
ฟอสฟอริกมีความเป็นกรดสูงกว่าพอลิฟอสเฟต ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยกรด
ฟอสฟอริกร่วมกับไคโตซานมีพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟเปลี่ยนไปจากก่อนการซักโดย
เปลวไฟเกิดการลุกลามและไม่สามารถดับได้เองโดยมีอัตราเร็วในแนว 45 องศา เท่ากับ 0.63 ซม./
วินาที สำหรับการทดสอบค่า LOI พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสเฟตร่วมกับ
ไคโตซานมีค่า LOI ประมาณ 19 ซึ่งยังคงมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ ดังนั้นระบบของ
พอลิฟอสเฟตร่วมกับไคโตซานจึงสามารถนำมาตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้ายให้มีสมบัติการหน่วงไฟที่ดี
และคงทนต่อการซักล้างมากกว่าระบบของกรดฟอสฟอริกร่วมกับไคโตซาน

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4472256723: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
 KEYWORD: POLYPHOSPHATE/ FLAME RETARDANCY/ PHOSPHORIC ACID/
 CHITOSAN/ PHOSPHORUS-NITROGEN/ SYNERGISTIC EFFECT

THITIPORN MOWATTANA: CO-APPLICATION OF PHOSPHORUS CONTAINING
 COMPOUNDS AND CHITOSAN TO IMPROVE FLAME RETARDANCY OF
 COTTON FABRIC. THESIS ADVISOR: SIREERAT CHARUCHINDA, Ph.D
 THESIS COADVISOR: ASST.PROF.KAWEE SRIKULKIT, Ph.D, 137pp.
 ISBN.974-17-2695-3

The synergistic effect of phosphorus-nitrogen containing compound systems on flame retardancy of cotton fabric using pad-dry method of the co-application of phosphoric acid/chitosan and polyphosphate/chitosan were studied. Standard test method of 45-degree burning test, and LOI were adopted for evaluation of flame retardant performance. Thermal analysis was carried out using TGA technique. Mechanical properties of load at break were investigated.

Before subject to wash fastness test, 45 degree flame spread rate of 0.84 cm/s for untreated cotton fabric was observed, whereas, self-extinguishment after removing ignition source was observed without flame spreading over cotton fabric treated with phosphoric acid/chitosan system. On the other hand, 45-degree flame spread rate of approximately 0.35 cm/sec was observed for polyphosphate/chitosan system. For LOI test, it was found that cotton fabric using polyphosphate and chitosan gave LOI value of about 20 – 20.5, whereas, the LOI value of untreated one was only 17.

After wash fastness test, 45-degree flame spread rate for cotton fabric treated with polyphosphate and chitosan was 0.40 cm/sec, which was slower than that of phosphoric acid and chitosan without a significantly reduced tensile strength due to its higher pH value compared to phosphoric acid counterpart. For LOI test, it was found that cotton fabrics treated with polyphosphate and chitosan was about 19, whereas, the LOI of untreated one was 17. Therefore, fabric treated by polyphosphate/chitosan system had better flame retardancy with higher durability than that obtained from phosphoric acid/chitosan system.

Department:Materials Science

Student's signature.....

Thitiporn Mowattana

Field of study:Applied Polymer Science and Textile Technology

Advisor's signature.....

Sireerat Charuchinda

Academic year:2002

Co-advisor's signature.....

Kawee Srikulkit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆอย่างดียิ่งเยี่ยม ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังนี้

1. อาจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดียิ่งเยี่ยมในการแก้ไขปัญหา แนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ และการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา
2. รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ไพพรรณ สันติสุข รศ. อรุษา สรวารี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้คำปรึกษา แนวคิด แนะนำด้านวิชาการ และช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. รศ.ดร. อมร เพชรสม ที่ได้คำแนะนำและให้ใช้เครื่องมือทดสอบหาค่า LOI ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ทูพัฒนาอาจารย์ใหม่/นักวิจัยใหม่ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปีงบประมาณ 2545
5. อาจารย์ สุกศิริ เหมศรี ที่ได้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจอันมีค่าซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
6. อาจารย์ ดร. ดวงดาว อาของค์ อาจารย์ ดร. อุษมา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ ดร. วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน ที่ได้คำปรึกษา แนวคิด แนะนำด้านวิชาการ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่สาว ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีเยี่ยมที่สุดในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้ อีกทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่น่ารักทุกคนในภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์.....	5
2.1 ฝ้าย (Cotton).....	5
2.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ.....	5
2.1.2 โครงสร้างทางเคมี.....	7
2.1.3 สมบัติทางกายภาพ.....	8
2.1.4 สมบัติทางเคมี.....	10
2.2 ไคโทซาน (Chitosan).....	11
2.2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคตินและไคโทซาน.....	12
2.2.2 ประโยชน์ของไคติน-ไคโทซานและแนวทางการประยุกต์.....	14
2.3 การจำแนกประเภทของการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ.....	15
2.3.1 การจำแนกประเภทตามวิธีการตกแต่ง.....	16
2.3.2 การจำแนกประเภทตามวัตถุประสงค์ของการตกแต่ง.....	16
2.4 การตกแต่งห่วงไฟผ้าฝ้าย.....	17
2.4.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดไฟ.....	18
2.4.2 กระบวนการเผาไหม้ของเซลลูโลส.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

2.4.3 ประเภทของสารหน่วงไฟ.....	22
2.4.3.1 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากความคงทน.....	22
2.4.3.2 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากวิธีการที่ใช้.....	23
2.4.3.3 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากกลไกการหน่วงไฟ.....	24
2.4.3.4 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากองค์ประกอบทางเคมี.....	25
2.4.4 ระบบการหน่วงไฟที่มีการเสริมกัน (Synergisms).....	30
2.4.4.1 ฮาโลเจนและแอนติโมนี.....	30
2.4.4.2 ฟอสฟอรัสและฮาโลเจน.....	30
2.4.4.3 ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน.....	31
2.4.5 กระบวนการตกแต่งสารหน่วงไฟ.....	32
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
2.5.1 สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส.....	35
2.5.2 สารหน่วงไฟที่มีการเสริมกันประเภทฟอสฟอรัสและไนโตรเจน.....	36
3. การทดลอง.....	42
3.1 ขอบเขตการทดลอง.....	42
3.2 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	42
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	43
3.4 การศึกษาระบบของสารเคมีและภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ ในการตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้าย.....	44
3.5 ระบบของสารหน่วงไฟทางการค้าที่ใช้ในการตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้าย.....	47
3.6 การศึกษาพฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟบนผ้าฝ้าย.....	49
3.7 การทดสอบหาค่า LOI.....	52
3.8 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย TGA.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.9 ศึกษาพื้นผิวของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนสองกราด(SEM).....	56
3.10 การศึกษาอิทธิพลของการตกแต่งห่วงไฟฟ้าฝ้ายต่อความทนน้ำหนักแรงดึงที่ จุดขาด.....	57
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	59
4.1 พฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา.....	59
4.2 พฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนวตั้ง 90 องศา.....	81
4.3 การทดสอบหาค่า LOI.....	84
4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย TGA, DTG และ DTA.....	87
4.5 การศึกษาลักษณะพื้นผิวสองกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนสองกราด (SEM).....	108
4.6 การศึกษาอิทธิพลของการตกแต่งห่วงไฟฟ้าฝ้ายต่อความทนน้ำหนักแรงดึงที่ จุดขาด.....	116
5. สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ.....	120
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	120
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	121
รายการอ้างอิง.....	122
ภาคผนวก.....	125
ภาคผนวก ก.....	126
ภาคผนวก ข.....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	137

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง

ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบสมบัติในด้านความคงทนต่อความร้อนของเส้นใยชนิดต่างๆ.....	18
ตารางที่ 4.1	พฤติกรรมกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายโคโธซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	60
ตารางที่ 4.2	พฤติกรรมกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายโคโธซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	62
ตารางที่ 4.3	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่ง หนองไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายโคโธซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	64
ตารางที่ 4.4	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่ง หนองไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายโคโธซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	66
ตารางที่ 4.5	พฤติกรรมกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้าย ก่อนซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	69
ตารางที่ 4.6	พฤติกรรมกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้าย หลังซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	72
ตารางที่ 4.7	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้าย หลังซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	76
ตารางที่ 4.8	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้าย หลังซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	78
ตารางที่ 4.9	พฤติกรรมกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนวตั้ง 90 องศาของผ้าฝ้าย ก่อนซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	82
ตารางที่ 4.10	พฤติกรรมกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนวตั้ง 90 องศาของผ้าฝ้ายของผ้าฝ้าย หลังซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	83
ตารางที่ 4.11	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวตั้ง 90 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซัก ที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	85
ตารางที่ 4.12	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนวตั้ง 90 องศาของผ้าฝ้ายหลังซัก ที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง

ตารางที่ 4.13	ค่า LOI ของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังซักที่ตกแต่งหนองไฟ ด้วยสารหนองไฟสูตรต่างๆ.....	87
ตารางที่ 4.14	อุณหภูมิการสลายตัว การสูญเสียน้ำหนัก อุณหภูมิที่มีอัตราการสลายตัว มากที่สุดและปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่ ของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่งหนองไฟ ด้วยพอลิฟอสฟอรัสและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	91
ตารางที่ 4.15	ค่าน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาด และ % ความยืดตัวจนถึงจุดขาดของผ้าฝ้ายทั้งก่อน และหลังซักที่ตกแต่งหนองไฟด้วยสูตรการตกแต่งต่างๆ.....	116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ

รูปที่ 1.1	สถิติของการเกิดอัคคีภัยในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่าง พ.ศ.2530-2544.....	3
รูปที่ 1.2	มูลค่าความเสียหายของการเกิดอัคคีภัยในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่าง พ.ศ. 2530-2544.....	3
รูปที่ 2.1	โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย.....	6
รูปที่ 2.2	การเจริญเติบโตของเส้นใยฝ้าย.....	7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส.....	8
รูปที่ 2.4	ความสมบูรณ์ของเส้นใยฝ้าย.....	9
รูปที่ 2.5	โครงสร้างทางเคมีของไคทินและไคโทซาน.....	11
รูปที่ 2.6	การเกิดปฏิกิริยาในภาวะสลายที่เป็นกรดของไคโทซาน.....	13
รูปที่ 2.7	วงจรการเผาไหม้ของเซลลูโลส.....	19
รูปที่ 2.8	เส้นทางการสลายตัวของเซลลูโลส.....	20
รูปที่ 2.9	การสลายตัวของเซลลูโลสไปเป็น laevoglucosan.....	21
รูปที่ 2.10	การฟอสฟอริเลชันของเซลลูโลส.....	28
รูปที่ 2.11	เชื่อมโยงของการเกิด char.....	29
รูปที่ 2.12	กระบวนการตกแต่งสารหน่วงไฟผ้าทอแบบเปิดหน้าผ้า.....	32
รูปที่ 2.13	การทำปฏิกิริยาของ THPC กับเส้นใยเซลลูโลสโดยมี N-methylol melamine เป็นสารเชื่อมขวาง.....	33
รูปที่ 2.14	สูตรเคมีของ THPC ที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับยูเรีย.....	34
รูปที่ 2.15	สูตรเคมีของสารพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดจากการฉีกด้วยความร้อนสูง.....	34
รูปที่ 3.1	รูปเครื่องAFC.....	49
รูปที่ 3.2	Rack สำหรับยึดผ้าที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
รูปที่ 3.3	อุปกรณ์สำหรับการทดสอบในแนวตั้ง 90 องศา.....	51
รูปที่ 3.4	Slit burner สำหรับจุดไฟ.....	52
รูปที่ 3.5	เครื่อง LOI.....	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ	
รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของเครื่อง LOI.....	53
รูปที่ 3.7 เครื่อง TGA.....	56
รูปที่ 3.8 ภาพขณะบรรจุตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ.....	56
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนแรงดึง.....	57
รูปที่ 3.10 หัวจับผ้า.....	58
รูปที่ 4.1 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆก่อนซัก ภายหลังจากการทดสอบพฤติกรรม การลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา.....	61
รูปที่ 4.2 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆหลังซัก ภายหลังจากการทดสอบพฤติกรรม การลุกลาม ของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา.....	63
รูปที่ 4.3 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่ง หน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	65
รูปที่ 4.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่ง หน่วงไฟด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	66
รูปที่ 4.5 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆก่อนซัก ภายหลังจากการทดสอบพฤติกรรม การลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา.....	71
รูปที่ 4.6 ลักษณะของผ้าฝ้ายของสูตรต่างๆหลังซัก ภายหลังจากการทดสอบพฤติกรรม การลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนว 45 องศา.....	74
รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้าย ณ เวลาแตกต่างกัน.....	75
รูปที่ 4.8 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ตกแต่ง หน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	77
รูปที่ 4.9 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่ง หน่วงไฟด้วยพอลิฟอสทีและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง.....	79
รูปที่ 4.10 ลักษณะของผ้าฝ้ายทั้งก่อนซักและหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟภายหลัง การทดสอบพฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟของผ้าฝ้ายแนวตั้ง 90 องศา.....	84
รูปที่ 4.11 ค่า LOI ของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟก่อนซักและหลังซัก.....	88

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง % add-on และค่า LOI ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ หลังซัก.....	89
รูปที่ 4.13 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการตกแต่งหน่วงไฟ.....	92
รูปที่ 4.14 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ.....	93
รูปที่ 4.15 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยสารละลาย พอลิฟอสฟอรัส.....	94
รูปที่ 4.16 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วย สารละลายโคโทซาน.....	95
รูปที่ 4.17 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วย พอลิฟอสฟอรัสและสารละลายโคโทซาน.....	96
รูปที่ 4.18 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรม ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วย พอลิฟอสฟอรัสและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 25 %.....	97
รูปที่ 4.19 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วย พอลิฟอสฟอรัสและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 50 %.....	98
รูปที่ 4.20 TGA-DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วย พอลิฟอสฟอรัสและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 75 %.....	99
รูปที่ 4.21 TGA, DTG และ DTA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟ ด้วยพอลิฟอสฟอรัสและสารละลายโคโทซานที่มีสารเชื่อมขวาง 100 %.....	100
รูปที่ 4.22 ค่าอุณหภูมิของการสลายตัวเริ่มต้น อุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุด.....	105
รูปที่ 4.23 % น้ำหนักที่สูญเสียไปในตอนเริ่มต้นและปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่.....	105
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวมากที่สุด และปริมาณถ่าน คาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	107
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่ที่อุณหภูมิ 400 องศา เซลเซียส และค่า LOI.....	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ

รูปที่ 4.26	พื้นผิวของผ้าฝ้ายก่อนซักที่ไม่ตกแต่งหน่วงไฟ.....	108
รูปที่ 4.27	พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสฟิ.....	109
รูปที่ 4.28	พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยไคโทซาน.....	110
รูปที่ 4.29	พื้นผิวของผ้าฝ้ายหลังซักที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสฟิและไคโทซาน.....	111
รูปที่ 4.30	พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสฟิและไคโทซาน ที่มีสารเชื่อมขวาง 25 %.....	112
รูปที่ 4.31	พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสฟิและไคโทซาน ที่มีสารเชื่อมขวาง 50 %.....	113
รูปที่ 4.32	พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสฟิและไคโทซาน ที่มีสารเชื่อมขวาง 75 %.....	114
รูปที่ 4.33	พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งหน่วงไฟด้วยพอลิฟอสฟิและไคโทซาน ที่มีสารเชื่อมขวาง 100 %.....	115
รูปที่ 4.34	ค่าน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟ ด้วยสูตรต่างๆก่อนซัก.....	117
รูปที่ 4.35	ค่าน้ำหนักแรงดึงที่จุดขาดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟ ด้วยสูตรต่างๆหลังซัก.....	118
รูปที่ 4.36	ค่าความยืดตัวของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟ ด้วยสูตรต่างๆ ก่อนซัก.....	118
รูปที่ 4.37	ค่าความยืดตัวของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ของการตกแต่งหน่วงไฟ ด้วยสูตรต่างๆ หลังซัก.....	119