ผลขององค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ต่อสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้าย

นางสาวดาววัน จาระเวชสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-3221-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF MAIN COMPONENTS OF INTUMESCENT COATING ON FLAME RETARDANCY OF COTTON FABRIC

Miss Daowan Charavechasan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-3221-6

492259

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลขององค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ต่อสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้าย
โดย	นางสาวดาววัน จาระเวชสาร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

ดาววัน จาระเวชสาร : ผลขององค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ต่อสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้าย. (EFFECTS OF MAIN COMPONENTS OF INTUMESCENT COATING ON FLAME RETARDANCY OF COTTON FABRIC) อ. ที่ปรึกษา :ผศ.ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.อรอุษา สรวารี จำนวนหน้า 114 หน้า. ISBN 974-14-3221-6.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่คงทนต่อการซักล้างสำหรับปรับปรุงสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายโดยทำการแปรชนิดและปริมาณขององค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิว นำผ้าฝ้ายมาทำการดัดแปรด้วยสารประกอบแคทไอออนิกก่อนทำการเคลือบ จากนั้นทดสอบหาพฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟ ลักษณะสัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าฝ้ายภายหลังการเคลือบทั้งก่อนและหลังซักล้าง

จากการทดลองพบว่าก่อนซักล้างผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวทุกสูตรมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้เคลือบ โดยมีอัตราการลุกลามของเปลวไฟต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้ เปลวไฟดับทันทีหลังจากนำแหล่งต้นไฟออก ชาร์ที่เกิดขึ้นมีความยาวสั้นมาก หลังซักล้างพบว่า สารเคลือบผิวส่วนใหญ่ยังคงทำให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติหน่วงไฟที่ดี แต่สารเคลือบผิวที่ใช้แอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งกรด และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเป็นสารฟู ทำให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติหน่วงไฟด้อยกว่าการใช้แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตและผงเมลามีน ในขณะที่สารเคลือบผิวที่ใช้แป้ง หรือเพนตะเอริไทรทอล หรือไดเพนตเอริไทรทอล เป็นแหล่งคาร์บอน และเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์หรือ 100% อะคริลิกอิมัลชันเป็นสารยึด ทำให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติหน่วงไฟที่ดีใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับก่อนซักล้าง

เมื่อพิจารณาสมบัติโดยรวมพบว่าสูตรสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ที่ประกอบด้วยแอมโมเนียม-พอลิฟอสเฟต 20 ส่วนโดยน้ำหนัก ผงเมลามีน 15 ส่วนโดยน้ำหนัก แป้ง หรือเพนตะเอริไทรทอล หรือไดเพนตะเอริไทรทอล 5 ส่วนโดยน้ำหนัก เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ 15 ส่วนโดยน้ำหนัก กรดพอลิอะคริลิก 30 ส่วนโดยน้ำหนัก และน้ำกลั่น 10 ส่วนโดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่คงทนต่อการซักล้าง ทำให้ผ้าฝ้ายที่เคลือบมีสัมผัสนุ่ม หน่วงไฟได้ดี และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต...ดาววัน จาระเวชสาร.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

#4772585423 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: INTUMESCENT COATING / FLAME RETARDANCY/ COTTON FABRIC

DAOWAN CHARAVECHASAN: EFFECTS OF MAIN COMPONENTS OF INTUMESCENT COATING ON FLAME RETARDANCY OF COTTON FABRIC. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SIREERAT CHARUCHINDA, Ph.D., THESIS COADVISOR: ASSOC.PROF. ONUSA SARAVARI, 114 pp.

ISBN 974-14-3221-6.

The purpose of this research is to formulate the intumescent coating for flame retardancy improvement of cotton fabric by varying type and amount of main components. Before coating, the cotton fabric has been modified by cationic fixing agent. Burning behavior and flame spread rate of coated fabric before and after washing were then examined. Likewise, morphology, thermal properties using TGA technique and color change of coated fabric were also investigated.

It is found that, before washing, all coated fabric exhibited better flame retardancy than that of an uncoated fabric. The flame spread rate was too slow to be calculated and was immediately self-extinguished after removing the ignition source. The length of a formed-carbonaceous char was very short. Meanwhile, after washing, most of the intumescent coating still provided coated fabric with good flame retardancy. However, the coating using ammonium phosphate as an acid source and melamine formaldehyde as a spumific compound provided coated fabric with inferior flame retardancy than that of the one using ammonium polyphosphate and melamine powder. However, the flame retardancy of coated fabric with the coating using starch or pentaerythritol or dipentaerythritol as a carbon compound and ethylene-vinyl acetate copolymer or 100% acrylic emulsion as a binder were within the vicinity.

When the washfastness, the soft-handle, the superior flame retardancy and the unchanged color of the coated cotton fabric have been considered, the optimum formulation of the intumescent coating composed of ammonium polyphosphate, melamine powder, starch or pentaerythritol or dipentaerythritol, ethylene-vinyl acetate copolymer, polyacrylic acid and water 20, 15, 5, 15, 30 and 10 parts by weight, respectively.

Department Materials Science Student's signature Daowan Charavechasan
Field of study Applied Polymer science and Textile Technology Advisor's signature Sireerat Charuchinda
Academic year 2005 Co-advisor's signature Onusa Saravari

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านเครื่องมือ วัตถุดิบและสถานที่สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ อย่างดีเยี่ยม ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังนี้

1. ผศ.ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.อรอุษา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดีเยี่ยมในการแก้ไขปัญหา แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์และการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

2. รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ไพพรรณ สันติสุข และ ผศ.ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนวคิด แนะนำด้านวิชาการและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. คุณเจษฎา ชัยจรีนนท์ จากบริษัทสยามเคมิคัลอินดัสตรี้ จำกัด คุณวิไล เถกิงสุขวัฒนา จากบริษัทสีโจตันไทย คุณอมร มงคลวงศ์โรจน์ จากบริษัทออกัสเคม จำกัด และบริษัท Dairen ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการทำวิจัย

4. คุณพิสิฐ ดำรงค์กิจการ และคุณเรืองรัตน์ เรืองจิตเกษม จากบริษัทพิ้งค์เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ความรู้ด้านการใช้โปรแกรมตัดต่อ

5. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในรูปของค่าตอบแทนประจำเดือน

6. ศูนย์วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และน้องชายที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วารสารปริทรรศน์..... 4

2.1 ฝ้าย 4

2.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ..... 4

2.1.2 โครงสร้างทางเคมี..... 5

2.1.3 สมบัติทางกายภาพ..... 7

2.1.4 สมบัติทางเคมี..... 8

2.2 การจำแนกประเภทของการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ..... 9

2.2.1 การจำแนกประเภทตามวิธีการตกแต่งสำเร็จ..... 9

2.2.2 การจำแนกประเภทตามวัตถุประสงค์ของการตกแต่งสำเร็จ..... 10

2.3 การตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้าย..... 10

2.3.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดอัคคีภัย 11

2.3.2 กระบวนการเผาไหม้ของฝ้าย..... 12

2.3.3 ประเภทของสารหน่วงไฟ..... 14

2.3.3.1 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากความคงทน..... 14

2.3.3.2 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากวิธีการใช้ร่วมกับวัสดุ..... 15

2.3.3.3 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากกลไกการหน่วงไฟ..... 16

2.3.3.4 สารหน่วงไฟสามารถจำแนกได้จากองค์ประกอบทางเคมี..... 18

บทที่ หน้า

2.3.4 ระบบการหน่วงไฟที่มีการเสริมกัน..... 22
2.3.4.1 แฮโลเจนและแอนติโมนี..... 22
2.3.4.2 ฟอสฟอรัสและแฮโลเจน..... 23
2.3.4.3 ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน..... 23
2.3.5 กระบวนการตกแต่งหน่วงไฟ..... 24
2.4 สารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 28
2.5 องค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 28
2.6 หลักการเลือกองค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 29
2.6.1 แหล่งคาร์บอน..... 29
2.6.2 แหล่งกรด..... 30
2.6.3 สารฟู..... 30
2.6.4 สารยึดหรือเรซิน..... 30
2.7 กลไกการหน่วงไฟของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 30
2.8 การเกิดถ่านคาร์บอน (ชาร์) และอินทูเมสเซนต์ชาร์..... 32
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 33

3. การทดลอง..... 39
3.1 ขอบเขตการทดลอง..... 39
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี..... 39
3.2.1 ผ้าฝ้าย..... 39
3.2.2 แหล่งคาร์บอน..... 40
3.2.3 แหล่งกรด..... 40
3.2.4 สารฟู..... 40
3.2.5 สารยึด..... 41
3.2.6 สารเติมแต่งอื่นๆ..... 41
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 41
3.3.1 เครื่องมือในการเตรียมสารเคลือบผิว..... 41
3.3.2 เครื่องมือในการตกแต่งหน่วงไฟผ้าฝ้าย..... 41

บทที่ หน้า

3.3.3 เครื่องมือในการทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าฝ้าย..... 42
3.4 แผนภูมิการทดลอง..... 43
3.5 วิธีการทดลอง..... 44
3.5.1 การเตรียมสารเคมีเบื้องต้น..... 44
3.5.2 การ treat ผ้าฝ้ายด้วยสารประกอบแคทไอออนิก..... 45
3.5.3 การเตรียมสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 47
3.5.4 การเคลือบผิวชิ้นทดสอบ..... 49
3.6 การศึกษาพฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา..... 50
3.7 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา..... 51
3.8 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA..... 52
3.9 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของผ้าฝ้ายเมื่อผ่านการเคลือบ..... 52

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 53
4.1 ลักษณะของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 53
4.2 ผลขององค์ประกอบหลักของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ต่อสมบัติหน่วงไฟของผ้าฝ้ายจากการศึกษาพฤติกรรมและอัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา..... 55
4.2.1 ผลของแหล่งกรด..... 55
4.2.1.1 ผลของชนิดของแหล่งกรด..... 55
4.2.1.2 ผลของปริมาณแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟต..... 61
4.2.2 ผลของชนิดของแหล่งคาร์บอน..... 66
4.2.3 ผลของชนิดของสารฟู..... 71
4.2.4 ผลของชนิดของสารยึด..... 76
4.3 การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา..... 81
4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA..... 85
4.5 การเปลี่ยนแปลงของสีของผ้าฝ้ายภายหลังการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 99

บทที่ หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 102
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 102
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 103

รายการอ้างอิง..... 104

ภาคผนวก..... 108
ภาคผนวก ก..... 109
ภาคผนวก ข..... 112
ภาคผนวก ค..... 113

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 114

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบสมบัติในด้านความคงทนต่อความร้อนของเส้นใยชนิดต่างๆ.....	11
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างของส่วนประกอบของสารเคลือบผิวทนไฟระบบอินทูเมสเซนต์.....	29
ตารางที่ 3.1	สูตรที่ได้ดัดแปรและพัฒนาของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์.....	48
ตารางที่ 4.1	ลักษณะของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์.....	54
ตารางที่ 4.2	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก.....	57
ตารางที่ 4.3	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก.....	62
ตารางที่ 4.4	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก.....	67
ตารางที่ 4.5	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก.....	72
ตารางที่ 4.6	อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศา (Flame spread rate) และความยาวของชาร์ของผ้าฝ้ายที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการซัก.....	77
ตารางที่ 4.7	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ทั้งก่อนและหลังการซักล้าง ทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ (ที่กำลังขยาย 1000 เท่า).....	81
ตารางที่ 4.8	อุณหภูมิการสลายตัว การสูญเสียน้ำหนัก อุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุดและปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ ทั้งก่อนและหลังซัก.....	93
ตารางที่ 4.9	ค่าความขาวและค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 0 และ 3 เดือน.....	101

สารบัญรูป

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 1.1 จำนวนครั้ง และมูลค่าความเสียหายที่เกิดจากอัคคีภัยปี ค.ศ. 1995-2005..... 2

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้ายตามภาคตัดขวางและตามความยาว..... 4

รูปที่ 2.2 การเจริญเติบโตของเส้นใยฝ้าย..... 5

รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส..... 6

รูปที่ 2.4 ความสมบูรณ์ของเส้นใยฝ้าย..... 7

รูปที่ 2.5 เส้นทางการสลายตัวของฝ้าย..... 13

รูปที่ 2.6 การสลายตัวของฝ้ายไปเป็น laevoglucosan..... 13

รูปที่ 2.7 วงจรการเผาไหม้ของฝ้าย..... 13

รูปที่ 2.8 การฟอสฟอริเรชันของเซลลูโลส..... 21

รูปที่ 2.9 การเกิดชาร์..... 21

รูปที่ 2.10 กระบวนการตกแต่งหน่วงไฟผ้าทอแบบเปิดหน้าผ้า..... 25

รูปที่ 2.11 การทำปฏิกิริยาของ THPC กับเส้นใยเซลลูโลสโดยมี N-methylol melamine เป็นสารเชื่อมขวาง..... 26

รูปที่ 2.12 สูตรเคมีของ THPC ที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับยูเรีย..... 27

รูปที่ 2.13 สูตรเคมีของสารพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดจากการอบผนึกด้วยแอมโมเนียที่ความร้อนสูง..... 27

รูปที่ 2.14 การหน่วงไฟด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 28

รูปที่ 2.15 กลไกการหน่วงไฟของสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์..... 31

รูปที่ 2.16 การเกิดชาร์และ Intumescent char..... 32

รูปที่ 2.17 การเกิด Protective layer เมื่อสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ได้รับความร้อน..... 32

รูปที่ 3.1 แผนภูมิการทดลอง..... 43

รูปที่ 3.2 กราฟการ treat ผ้าฝ้ายด้วยสารประกอบแคทไอออนิก Neofix E740..... 46

รูปที่ 3.3 เครื่องย้อมแบบแช่ Labtec..... 46

รูปที่ 3.4 การวัดความยาวชาร์..... 50

รูปที่ 3.5 เครื่อง 45° Automatic Flammability Tester..... 51

รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 51

รูปที่ 3.7 เครื่อง TGA..... 52

รูปที่ 3.8 เครื่องวัดสี..... 52

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.1 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซัก..... 58
รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน 59
รูปที่ 4.3 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ..... 60
รูปที่ 4.4 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซัก..... 63
รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน 64
รูปที่ 4.6 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้ปริมาณแหล่งกรดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ..... 65
รูปที่ 4.7 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซัก.....6 8
รูปที่ 4.8 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลาต่างกัน 69
รูปที่ 4.9 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้แหล่งคาร์บอนแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ..... 70
รูปที่ 4.10 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซัก..... 73
รูปที่ 4.11 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลา ต่างกัน... 74
รูปที่ 4.12 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารฟูแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ..... 75
รูปที่ 4.13 อัตราเร็วในการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซัก..... 78

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.14 พฤติกรรมการลุกลามของเปลวไฟแนว 45 องศาของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันหลังการซัก ณ เวลา ต่างกัน.. 79
รูปที่ 4.15 ลักษณะของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตรที่ใช้สารยึดแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังซักภายหลังการทดสอบความสามารถในการติดไฟ..... 80
รูปที่ 4.16 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ ทั้งก่อนและหลังซัก..... 86
รูปที่ 4.17 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการ treat ด้วยสารประกอบแคทไอออนิก Neofix E740 ทั้งก่อนและหลังซัก..... 87
รูปที่ 4.18 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร A1 ทั้งก่อนและหลังซัก..... 88
รูปที่ 4.19 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร A2 ทั้งก่อนและหลังซัก..... 89
รูปที่ 4.20 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร C3 ทั้งก่อนและหลังซัก..... 90
รูปที่ 4.21 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวสูตร C4 ทั้งก่อนและหลังซัก..... 91
รูปที่ 4.22 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์ก่อนซัก..... 92
รูปที่ 4.23 TGA เทอร์โมแกรมของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอินทูเมสเซนต์หลังซัก..... 92
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิของการสลายตัวเริ่มต้นและอุณหภูมิที่มีการสลายตัวมากที่สุด..... 97
รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปในตอนเริ่มต้นและปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหลืออยู่.. 98