หัวข้อวิจัย การพัฒนาสิ่งทอหน่วงไฟเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม
ผู้ดำเนินงานวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐบดี วิริยาวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรชาติ สินวรณ์
หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาสิ่งทอหน่วงไฟ โดยใช้สารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าวและแกลบข้าว โดยสกัดซิลิคอนด้วยกระบวนการเผาและเทคนิคการใช้เบส จากนั้นทำให้สารซิลิคอนมีอนุภาคเป็นขนาดนาโน โดยเทคนิคการรีฟลักซ์และเทคนิคการบด จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายและผ้าไหม ด้วยวิธีจุ่ม อัด อบแห้ง ผลการทดสอบการหน่วงไฟ พบว่า ผ้าฝ้ายตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6, 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิกรัม และผ้าฝ้ายไม่ได้ตกแต่งสาร มีคุณสมบัติด้านการทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้เฉลี่ย 6.925, 4.925, 2.95 และ 1.125 วินาที ตามลำดับ คุณสมบัติด้านการสิ้นสุดการลุกไหม้เฉลี่ย 77.925, 61.925, 42.95 และ 36.125 วินาที ตามลำดับ คุณสมบัติด้านการหลอมละลายเฉลี่ย 10.925, 7.925, 4.95 และ 2.125 วินาที ตามลำดับ คุณสมบัติด้านการคุแดงเฉลี่ย 78.925, 62.925, 43.95 และ 37.125 วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีคุณสมบัติการหน่วงไฟดีที่สุด ซึ่งแตกต่างจากผ้าที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\rho < 0.05$) ส่วนผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน เมื่อนำไปทดสอบการหน่วงไฟ พบว่า ผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6, 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่ง มีคุณสมบัติทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้เฉลี่ย 1.942, 1.760, 1.360 และ 1.242 วินาที ตามลำดับ มีระยะเวลาหลอมละลายเฉลี่ย 4.306, 5.618, 6.572 และ 7.948 วินาที ตามลำดับ มีระยะเวลาคุแดงเฉลี่ย 0.602, 0.733, 0.910 และ 1.620 วินาที ตามลำดับ มีระยะเวลาลุกไหม้ทั้งหมดเฉลี่ย 1.606, 1.865, 1.932 และ 2.034 วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีคุณสมบัติการหน่วงไฟดีที่สุด ซึ่งแตกต่างจากผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4, 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่า ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีค่าการป้องกันรังสียูวีเอ เฉลี่ย 98.411% และ 99.707% ตามลำดับ และมีค่าการป้องกันรังสียูวีบี เฉลี่ย 98.427% และ 99.727% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าป้องกันรังสียูวีเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านตกแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Research Title Development of Flame Retardant Textiles for Use in Industry
Resaercher Assistant Professor Dr. Nuttabodee Viriyawattana
Assistant Professor Dr. Surachart Sinworn
Organization Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University.
Year 2018

Abstract

This research aims to develop flame retardant textiles by using nano silicon substance extracted from rice straw and rice husk by extracting and burning process and based techniques. Then make the silicon particles are nano-sized by reflux and grinding techniques. The extracted nano silicon is then decorated on cotton and silk by means of dipping, compression, drying. The fire retardant test found that cotton fabrics decorated with 0.6, 0.4 and 0.2 mg/ml nano silicon and cotton do not decorate substances with the ability to resistant to starting a fire of 6.925, 4.925, 2.95 and 1.125 seconds, respectively. The burning of fire were 77.925, 61.925, 42.95 and 36.125 seconds respectively. The melting to fire were 10.925, 7.925, 4.95 and 2.125 seconds respectively. The red when exposed to fire were 78.925, 62.925, 43.95 and 37.125 seconds, respectively. It can be seen that the cotton fabric decorated with 0.6 mg/ml nano silicon has the best fire retardant properties which is different from fabric decorated with nano silicon at a concentration of 0.2, 0.4 mg/ml and undecorate cotton with statistical significance (ρ <0.05). The decorated silk with nano-silicon after the fire retardant testing, it was found that decorated silk with nano silicon at concentrations of 0.6, 0.4 and 0.2 mg/ml and undecorate silk with the ability to resistant to starting a fire of 1.942, 1.760, 1.360 and 1.242 seconds, respectively. The melting to fire were 4.306, 5.618, 6.572 and 7.948 seconds, respectively. The red when exposed to fire were 0.602, 0.733, 0.910 and 1.620 seconds respectively. The burning of fire were 1.606, 1.865, 1.932 and 2.034 seconds, respectively. It can be seen that the silk decorated with nano silicon concentration 0.6 mg/ml has the best fire retardant properties which is different from silk that decorated with nano silicon at a concentration of 0.4, 0.2 mg/ml and undecorated silk with statistical significance (ρ <0.05). Also found that undecorate silk and decorated silk had the average UVA protection values were 98.411% and 99.707%, respectively. The average UVB protection values were 98.427% and 99.727%, respectively. It can be seen that the silk that has been decorated with nano-zinc oxide has increased UV protection when compared with undecorated silk, statistically significant at the level of 0.05.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิตที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

และงานวิจัยนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้เลย หากไม่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในปีงบประมาณ 2561 ซึ่งเล็งเห็นความสำคัญของการวิจัยนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง

ประโยชน์อันเนื่องมาจากงานวิจัยฉบับนี้จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่บิดา มารดาและคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

คณะผู้วิจัย

2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ซิลิคอนและนาโนซิลิคอน	5
องค์ประกอบของไฟ	10
สิ่งทอหน่วงไฟ	10
ลักษณะของผ้าฝ้ายและการลุกไหม้	12
ลักษณะของผ้าฝ้ายและการลุกไหม้	12
การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟบนสิ่งทอ	13
มาตรฐานการทดสอบการลุกไหม้ของสิ่งทอหน่วงไฟ	16
กรอบแนวความคิด	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	22
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	23
การสกัดซิลิคอน โดยกระบวนเผาและสกัดด้วยเทคนิคการใช้เบส	24
การสังเคราะห์นาโนซิลิคอน โดยเทคนิครีฟลักซ์	26
การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยการบด	27
วิเคราะห์ปริมาณและโครงสร้างจุลภาคของซิลิคอน	28

การเตรียมสารละลายนาโนซิลิคอน โดยวิธีการใช้ตัวทำละลาย 28
วิเคราะห์ปริมาณซิลิคอนโดยวิธี microdetermination 29
การเตรียมผ้าก่อนการตกแต่ง 30
การตกแต่งอนุภาคนาโนซิลิคอนบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง 31
การทดสอบการหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน 32
การตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ลงบนผ้าไหมด้วยวิธี
จุ่ม อัด อบแห้ง 32
การทดสอบการหน่วงไฟและการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมหลังการตกแต่ง
ด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ 38
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 40

บทที่ 4 ผลการวิจัย

การสกัดซิลิคอนโดยกระบวนการเผาและเทคนิคการใช้เบส 41
การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยเทคนิครีฟลักซ์ และเทคนิคการบด 50
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคสารด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
ส่องผ่าน 51
การวิเคราะห์ปริมาณซิลิคอนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ EDX 52
กราฟมาตรฐานของสารนาโนซิลิคอน 54
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นสารนาโนซิลิคอน 55
การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารนาโนซิลิคอน 55
การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ด้วยเทคนิค SEM 57
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย
สารนาโนซิลิคอน 61
ผลการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ลงบนผ้าไหมด้วยวิธี
จุ่ม อัด อบแห้ง 80
การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าไหมที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์
ด้วยเทคนิค SEM 82
การวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่ง
สารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ EDX 83
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าไหมหลังการตกแต่งด้วย
สารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 85
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมหลังการตกแต่งด้วย
นาโนซิงค์ออกไซด์ 96

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย 98

อภิปรายผล 104
ข้อเสนอแนะ 106

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย 107
บรรณานุกรมต่างประเทศ 109

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การสกัดซิลิคอน โดยกระบวนเผาและสกัดด้วยเทคนิคการใช้เบส 111
ภาคผนวก ข การสังเคราะห์นาโนซิลิคอน โดยเทคนิครีฟลักซ์ 119
ภาคผนวก ค การสังเคราะห์นาโนซิลิคอน โดยกระบวนการบด 123
ภาคผนวก ง วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนโดยวิธี microdetermination 125
ภาคผนวก จ การเตรียมผ้าทดลองก่อนการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน 132
ภาคผนวก ฉ การตกแต่งอนุภาคนาโนซิลิคอนบนผ้าผ้าย 135
ภาคผนวก ช การทดสอบการทนไฟของสารนาโนซิลิคอน 139
ภาคผนวก ซ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารนาโนซิลิคอน 145

ประวัติผู้วิจัย 178

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติโดยทั่วไปของธาตุซิลิคอน	5
2.2 การรับสัมผัสซิลิกาและการป้องกันการรับสัมผัสสาร	9
4.1 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของซิลิคอนที่สังเคราะห์จากจากฟางข้าว	46
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงปริมาณของสารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าว ด้วยวิธีรีฟลักซ์	53
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงปริมาณ ของสารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าว ซึ่งทำการสกัดด้วยวิธีการบด	54
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน	61
4.5 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน แนวระดับ 45 องศา	62
4.6 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน แนวระดับ 90 องศา	63
4.7 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวระดับ 45 องศา	64
4.8 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวระดับ 90 องศา	65
4.9 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวระดับ 45 องศา	66
4.10 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวระดับ 90 องศา	67
4.11 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวระดับ 45 องศา	68
4.12 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวระดับ 90 องศา	69
4.13 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก การทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย	70
4.14 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก การสิ้นสุดการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย	71
4.15 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก การเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้าฝ้าย	72
4.16 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก การเริ่มต้นการคุแดงของผ้าฝ้าย	73
4.17 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก	

การทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย 74
4.18 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก
การสิ้นสุดการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย 75
4.19 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก
การเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้าฝ้าย 76
4.20 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจาก
การเริ่มต้นการคุแดงของผ้าฝ้าย 77
4.21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่ง
ด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ 84
4.22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วย
สารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ 85
4.23 ผลระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา 86
4.24 ผลระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา 87
4.25 ผลระยะเวลาการคุแดงของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหม
ที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา 88
4.26 ผลระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา 89
4.27 ผลระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา 90
4.28 ผลระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ
ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา 91
4.29 ผลระยะเวลาการคุแดงของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหม
ที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา 92
4.30 ผลระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา 93
4.31 ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีเอ (UV-A) ของผ้าไหม

ที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 96
4.32 ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีบี (UV-B) ของผ้าไหม
ที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ 97
ซ-1 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 1 146
ซ-2 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 2 147
ซ-3 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 3 148
ซ-4 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 4 149
ซ-5 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 1 150
ซ-6 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา องศา ชุดที่ 2 151
ซ-7 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 3 152
ซ-8 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน
ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 4 153
ซ-9 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 1 154
ซ-10 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 2 155
ซ-11 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 3 156
ซ-12 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 4 157
ซ-13 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 1 158
ซ-14 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 2 159
ซ-15 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 mg/l
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 3 160
ซ-16 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 4 161
ซ-17 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4

มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 1 162
ซ-18 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 2 163
ซ-19 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 3 164
ซ-20 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 4 165
ซ-21 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 1 166
ซ-22 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 2 167
ซ-23 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 3 168
ซ-24 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 4 169
ซ-25 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 1 170
ซ-26 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 2 171
ซ-27 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 3 172
ซ-28 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 45 องศา ชุดที่ 4 173
ซ-29 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 1 174
ซ-30 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 2 175
ซ-31 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 3 176
ซ-32 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่การเผาแนวระดับ 90 องศา ชุดที่ 4 177

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของซิลิคอน	5
2.2 องค์ประกอบของไฟ	10
2.3 ผ้าฝ้ายกันไฟ FR – Cotton	11
2.4 เส้นใย Aramid สองชนิดคือ Para-Aramid และ Meta-Aramid	12
2.5 กรอบแนวความคิด	17
3.1 ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven)	28
3.2 เตาเผาไฟฟ้า (Electric Furnaces)	28
3.3 (ก) นำเถ้าที่ได้มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล	29
3.3 (ข) ทำการกรองเอาตะกอนของเถ้าที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล	29
3.4 (ก) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5 นอร์มอล ให้มี ค่าpH เท่ากับ10	29
3.4 (ข) เติมสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้น จนกระทั่งมี pH เท่ากับ 2	29
3.5 การสังเคราะห์นาโนซิลิคอน โดยเทคนิครีฟลักซ์	30
3.6 (ก) การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยการบด	31
3.6 (ข) นำสารซิลิคอนที่ผ่านการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรง 58 เมช จำนวน 2 รอบ	31
3.7 วิเคราะห์นาโนซิลิคอนที่ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค TEM	32
3.8 วิเคราะห์ปริมาณซิลิคอนโดยเทคนิค Microdetermination ด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrophotometer	34
3.9 วิเคราะห์พื้นผิวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนบนผ้าด้วยเทคนิค SEM	35
3.10 ตู้ทดสอบสิ่งทอการลุกติดไฟของเสื้อผ้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	36
3.11 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ในแนวตั้งหรือแนวดิ่ง	36
3.12 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวตั้งหรือแนวดิ่ง	37
3.13 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวตั้งหรือแนวดิ่ง	38
3.14 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวตั้งหรือแนวดิ่ง	38
3.15 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ในแนวเฉียง 45 องศา	39
3.16 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวเฉียง 45 องศา	40

3.17 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่
0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวเฉียง 45 องศา 40
3.18 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวเฉียง 45 องศา 41
4.1 เถ้าของฟางข้าวที่ได้จากการเผาที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 42
4.2 สารละลายโซเดียมซิลิเกตที่มีตะกอนเถ้าผสม 43
4.3 สารละลายโซเดียมซิลิเกตจะมีลักษณะเป็นสีใสไปจนถึงสีเหลืองอ่อน 43
4.4 ผลของสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่สกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 44
4.5 สารที่ได้จากการเติมสาระลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
ลงในสารละลายโซเดียมซิลิเกต 44
4.6 ผลการนำสารละลายซิลิคอนที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 45
4.7 ผลของสารซิลิคอนที่ผ่านการบดด้วยโกร่งบดสาร 45
4.8 ผลของการนำสารซิลิคอนที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ และนำไปอบให้แห้ง 46
4.9 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าว 47
4.10 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฟางข้าว 47
4.11 สารละลายที่ผ่านการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 48
4.12 ผงละเอียดสีขาวที่ได้จากการอบให้แห้ง หลังจากผ่านกระบวนการรีฟลักซ์ 48
4.13 สารละลายที่ผ่านการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ความเข้มข้น 2 นอร์มอล 49
4.14 ผงละเอียดสีขาวที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช 50
4.15 สารซิลิคอนที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช จำนวน 2 รอบ 50
4.16 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีฟลักซ์
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM 51
4.17 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการบด
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM 52
4.18 แสดงองค์ประกอบของสาร ที่มีอยู่ในสารนาโนซิลิคอนที่สังเคราะห์จากฟางข้าว
วิธีรีฟลักซ์โดยใช้เทคนิค EDX 53
4.19 แสดงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในสารนาโนซิลิคอนที่
สกัดจากฟางข้าวซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการบด โดยใช้เทคนิค EDX 54
4.20 กราฟมาตรฐานของสารนาโนซิลิคอน 55
4.21 ผ้าฝ้ายที่จุ่มในสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.2, 0.4
และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 56
4.22 การบีบอัดสารนาโนซิลิคอนลงบนผ้าฝ้าย 56
4.23 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนแล้วมาอบแห้ง 57
4.24 ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน 57
4.25 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 58

4.26 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 59
4.27 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 59
4.28 แสดงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย
สารนาโนซิลิคอน โดยใช้เทคนิค EDX 60
4.29 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ในแนว 45 องศา 78
4.30 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ในแนว 90 องศา 78
4.31 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนว 45 องศา 78
4.32 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนว 90 องศา 78
4.33 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนว 45 องศา 79
4.34 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนว 90 องศา 79
4.35 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนว 45 องศา 79
4.36 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6
มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนว 90 องศา 79
4.37 การตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงออกไซด์ให้ติดลงบนผ้า 80
4.38 การอบแห้งผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและ
สารนาโนซิงออกไซด์ในตู้อบลมร้อน 81
4.39 ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นต่าง ๆ และ
นาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% ด้วยกระบวนการจุ่ม อัด อบแห้ง 81
4.40 พื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ 82
4.41 พื้นผิวของผ้าไหมหลังผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% 83
4.42 แสดงองค์ประกอบของสารที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่ง
ด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิค EDX 83
4.43 แสดงองค์ประกอบของสารที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วย
สารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิค EDX 84
4.48 ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น
0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 45 องศา 95
4.49 ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น
0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 90 องศา 95
4.50 ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 45 องศา 95

4.51 ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น
0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 90 องศา 95
ก-1 วัสดุทางการเกษตรที่นำมาทำการศึกษาวิจัย คือ ฟางข้าว 112
ก-2 นำฟางที่จัดเตรียมไว้มาล้างน้ำทำความสะอาด 112
ก-3 เมื่อล้างฟางเสร็จแล้วนำมาตากให้แห้ง 112
ก-4 นำฟางที่ล้างทำความสะอาดแล้ว นำมาอบในตู้อบ (Oven) 113
ก-5 นำฟางที่อบเสร็จแล้วมาชั่งนำหนักฟางเพื่อเตรียมเผา 113
ก-6 ใส่ฟางในถ้วย crucible เพื่อเตรียมเผา 113
ก-7 นำฟางที่ใส่ถ้วย crucibleเข้าเตาเผา 114
ก-8 ปรับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 600 องศาเซลเซียส และตั้งเวลา 24 ชั่วโมง 114
ก-9 ฟางที่ผ่านการเผาที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง 114
ก-10 นำฟางที่ผ่านการเผามาชั่งน้ำหนัก 114
ก-11 ชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 30 กรัม
เพื่อเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล 115
ก-12 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 นอร์มอล
โดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาต 1 ลิตร 115
ก-13 นำเถ้าที่ได้มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล 115
ก-14 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน แล้วเก็บน้ำล้างตะกอนเพื่อเตรียม
สกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 115
ก-15 เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5 นอร์มอล ลงใน
สารละลายโซเดียมซิลิเกตให้มี pH เท่ากับ 10 ทิ้งไว้ให้เกิดเจล 116
ก-16 เติมสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้นจนกระทั่งมี pH เท่ากับ 2 116
ก-17 เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น
ให้มี pH เท่ากับ 8.5 ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง 117
ก-18 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง แล้วทำการกรอง 117
ก-19 ตัวอย่างสารที่ผ่านการกรอง 117
ก-20 นำตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 117
ก-21 ตัวอย่างหรือซิลิคอนที่ผ่านการอบ 120 องศาเซลเซียส 117
ก-22 นำตัวอย่างที่ได้มาบดด้วยโกร่งบดสาร 117
ก-23 เมื่อทำการบดตัวอย่างจนกระทั้งเป็นผงละเอียดแล้วนำมาปรับ
pH ด้วยน้ำให้ pHเท่ากับ 7 118
ก-24 เมื่อทำการปรับ pH ให้เท่ากับ 7 ด้วยน้ำแล้ว
นำสารไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 118
ก-25 เมื่อผ่านการอบแล้วสารจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว 118
ข-1 ทำการเตรียมซิลิคอนที่ได้มา 10 กรัม 120
ข-2 ทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มอล

ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อทำการเตรียมรีฟลักซ์ 120
ข-3 เมื่อทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มอล
ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จึงเริ่มกระบวนการรีฟลักซ์
อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 4 ชั่วโมง 120
ข-4 หลังจากนั้นนำมากรองและล้างด้วยน้ำซ้ำๆจนกระทั่งมีค่า pH เป็นกลาง 120
ข-5 นำซิลิกา 2 กรัม ที่ได้ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก 121
ข-6 ทำการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มอล
เพื่อทำการเตรียมรีฟลักซ์ 121
ข-7 เมื่อทำการเติมสารละลาย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร 121
ข-8 หลังจากนั้นทำการปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7.5 – 8.5 121
ข-9 ทำการตกตะกอนซ้ำด้วยน้ำร้อน กรอง และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 18 ชั่วโมง 122
ข-10 แล้วนำร่อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช 122
ค-1 นำสารซิลิคอนปริมาณ 4 กรัม มาทำการบดด้วยโกร่งบดสาร
จนกระทั่งเป็นผงละเอียดสีขาว 124
ค-2 นำสารซิลิคอนที่ผ่านการบดแล้ว มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช
จำนวน 2 รอบ 124
ง-1 ชั่งซิลิกาในปริมาณ 0.05 กรัม ใส่ในนิกเกิลครูซิเบิล 126
ง-2 ชั่งซิลิกาในปริมาณ 0.05 กรัม ใส่ในนิกเกิลครูซิเบิล ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ 126
ง-3 หยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงบนตัวอย่างให้ทั่วจำนวน 10 หยด 126
ง-4 นำไปให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนให้ความร้อนจนกระทั่ง
ไอของกรดซัลฟิวริกหมดไป 126
ง-5 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 กรัม เพื่อหลอมซิลิคอนในตัวอย่าง 127
ง-6 นำไปหลอมตะเกียงบันเซ็นจนก้นครูซิเบิลร้อนแดง
ประมาณ 20 นาที เพื่อให้เกิดการหลอมสมบูรณ์ 127
ง-7 ทิ้งจนครูซิเบิลเย็น ล้างด้วยน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร 127
ง-8 จากนั้นถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
นำบีกเกอร์ไปตั้งบนอ่างให้ความร้อน (water bath) 128
ง-9 ทำการกรองเพื่อเอาตะกอนสีดำออก 128
ง-10 นำสารละลายตัวอย่างที่ได้มาปรับ pH เป็น 7
ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมล 128
ง-11 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นครบ 250 มิลลิลิตร 128
ง-12 ถ่ายใส่ขวดพลาสติกพอลิเอธิลีน นำไปพัฒนาสีเพื่อหาปริมาณซิลิคอน 129
ง-13 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ย่อยแล้วปริมาตร 20 มิลลิลิตร
ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตรทำตัวอย่างละ 5 ซ้ำ 129

ง-14 เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตในตัวอย่างละ 3 มิลลิลิตร	130
ง-15 ทำการตั้งทิ้งไว้ 10 นาที	130
ง-16 จากนั้นเติมสารละลายรีดิวซิงเอเจนท์ อย่างรวดเร็ว 15 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นครบ 50 มิลลิลิตรจับเวลาครบ 3 ชั่วโมง	130
ง-17 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 810 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrophotometer	131
จ-1 ทำการตัดผ้าเพื่อทำการทดสอบ โดยตัดเป็นขนาดกว้างคูณ ยาว 5 x 14 เซนติเมตร	133
จ-2 เตรียมสาระลายโซคาร์บอเนต 5 กรัมต่อลิตร	133
จ-3 เตรียมโซดาไฟ 5 กรัมต่อลิตร	134
จ-4 นำผ้าทดลองไปทำความสะอาดด้วยวิธีการต้มกับสารละลายที่เตรียมไว้	134
ฉ-1 เตรียมสารนาโนซิลิคอน ที่มีความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยมี ความเข้มข้นที่ 0 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร	136
ฉ-2 เตรียมสารละลายเพื่อเตรียมที่จะผสมรวมกับสารนาโนซิลิคอน สารsodium hypophosphite (SHP) ความเข้มข้น 4.5%	136
ฉ-3 เตรียมสารละลายเพื่อเตรียมที่จะผสมรวมกับสารนาโนซิลิคอน สาร silicone emulsion ในความเข้มข้น 1%	136
ฉ-4 เตรียมสารละลายเพื่อเตรียมที่จะผสมรวมกับสารนาโนซิลิคอนสาร acrylic binder จำนวน 5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร	137
ฉ-5 จากนั้นนำผ้าทดสอบที่เตรียมไว้มาทำการจุ่มลงบนสารละลาย ที่เตรียมไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	137
ฉ-6 นำผ้ามาทำการรีดด้วยไม้กลมเป็นจำนวน 20 รอบ	138
ฉ-7 จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการรีดด้วยไม้กลมแล้วนำไป อบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที	138
ช-1 เตรียมผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร	140
ช-2 ตู้ทดสอบสิ่งทอการลุกติดไฟของเสื้อผ้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	140
ช-3 เตรียมผ้าที่จะทำการทดสอบลงบนแท่นทดสอบ	141
ช-4 นำผ้าที่วางบนแท่นทดสอบแล้ววางในตู้เพื่อเตรียมทดสอบในมุม 45 องศา	141
ช-5 นำผ้าที่วางบนแท่นทดสอบแล้ววางในตู้เพื่อเตรียมทดสอบในมุม 90 องศา	141
ช-6 เริ่มทดสอบการลุกไหม้ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วนสารนาโนซิลิคอน โดยการทดสอบการลุกไหม้ตามแนว 45 องศา	141
ช-7 เริ่มทดสอบการลุกไหม้ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน โดยการทดสอบการลุกไหม้ตามแนว 90 องศา	142
ช-8 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 45 องศา	142

ช-9 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 90 องศา 142
ช-10 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 45องศา 142
ช-11 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 90 องศา 143
ช-12 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 45 องศา 143
ช-13 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 90 องศา 143
ช-14 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 45 องศา 143
ช-15 ลักษณะเถ้าของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทดสอบการลุกไหม้ในแนวระดับ 90 องศา 144