

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเพื่อสกัดสารที่มีคุณสมบัติในการหน่วงไฟ ได้แก่ สารนาโนซิลิคอน โดยสกัดจากฟางข้าว และแกลบข้าว นำมาตกแต่งผ้าฝ้ายและผ้าไหมเพื่อให้มีคุณสมบัติหน่วงไฟ สำหรับผลิตเป็นชุดปฏิบัติงานสำหรับงานที่เสี่ยงกับเปลวไฟ สะเก็ดไฟ ฝ้าม่านและผ้าบุเฟอร์นิเจอร์ โดยมีขั้นตอนการวิจัย 9 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสกัดซิลิคอนโดยกระบวนการเผาและเทคนิคการใช้เบส 2) การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยเทคนิครีฟลักซ์ การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยเทคนิคการบด 3) การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคสารด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน 4) การวิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณเชิงคุณภาพด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) 5) การสร้างกราฟมาตรฐานของสารนาโนซิลิคอน 6) วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน 7) การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารนาโนซิลิคอน 8) การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนด้วยเทคนิค SEM 9) การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน

#### 4.1 การสกัดซิลิคอนโดยกระบวนการเผาแลเทคนิคการใช้เบส

##### 4.1.1 ผลของการสกัดซิลิคอนโดยกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

การสกัดซิลิคอนโดยกระบวนการเผา โดยเริ่มจากนำฟางข้าวอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นเผาฟางข้าวที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ได้เถ้าจากการเผาฟางข้าวเป็นผงสีขาวเทา (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 เถ้าของฟางข้าวที่ได้จากการเผาที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

#### 4.1.2 ผลของการสกัดซิลิคอนที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล

ฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการเผาแล้วจะได้เป็น เถ้าสีขาวเทา จากนั้นนำเถ้าที่ได้ มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้สารละลายโซเดียมซิลิเกตที่มีเถ้าตะกอนผสมอยู่ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ (ภาพที่ 4.2) จากนั้นจึงทำการกรองแยกเถ้าตะกอนออกจากสารละลายโซเดียมซิลิเกตล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน จะได้สารละลายที่เป็นสีใสไปจนถึงสีเหลืองอ่อน โดยผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตรวมกับน้ำล้างเถ้าตะกอนเข้าด้วยกัน (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.2 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่มีตะกอนฝ้าผสม  
จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ



ภาพที่ 4.3 กรองเพื่อแยกสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตออกจากฝ้าตะกอนด้วยน้ำร้อน  
ซึ่งสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตจะมีลักษณะเป็นสีใสไปจนถึงสีเหลืองอ่อน

#### 4.1.3 การสกัดซิลิคอนที่สกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 5 นอร์มอล

นำสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ปรับค่า pH ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ให้มี pH เท่ากับ 10 จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดเจล และ เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก จนกระทั่งมี pH เท่ากับ 2 จะได้สารละลายลักษณะเป็นเจลสีขาวขุ่น (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 ผลของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่สกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก  
ความเข้มข้น 5 นอร์มอล จะได้สารละลายลักษณะเจลสีขาวขุ่น

#### 4.1.4 การสกัดซิลิคอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

เมื่อสารละลายจับตัวกันเป็นเจล ทำการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ลงไปให้มี pH เท่ากับ 8.5 ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมงครึ่ง แล้วทำการกรอง (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 เจลที่ได้จะมี สีใสถึงสีเหลืองอ่อน จากการเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์  
ลงในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

#### 4.1.5 ผลการอบสารละลายที่เป็นเจลบนกระดาษกรอง

นำตัวอย่างที่ได้เข้าอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ในขั้นตอน  
นี้จะได้สารซิลิคอนหรือซิลิคอนไดออกไซด์ ซึ่งสารมีลักษณะเป็นก้อนสีขาว (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 ผลการนำสารละลายซิลิคอนที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์  
เข้าอบจะได้สารที่มีลักษณะเป็นก้อนสีขาว

#### 4.1.6 ผลของสารซิลิคอนที่ผ่านการบดด้วยโม่บดสาร

นำสารละลายซิลิคอนหรือซิลิคอนไดออกไซด์ที่ติดบนกระดาษกรองหลังจากผ่านการ  
อบแห้งแล้ว มาบดด้วยโม่บดสารเพื่อให้สารที่จับตัวกันเป็นก้อนแตกตัวเป็นผงสีขาวขนาดเล็ก (ภาพ  
ที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 ผลของสารซิลิคอนที่ผ่านการบดด้วยโม่บดสาร จะได้สารลักษณะเป็นผงสีขาว

#### 4.1.7 การปรับค่า pH ของสารซิลิคอนให้มีค่า pH เท่ากับ 7

นำสารซิลิคอนมาปรับค่า pH ด้วยน้ำจนกระทั่ง pH เท่ากับ 7 นำไปอบให้แห้งอีกครั้ง  
ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะได้สารที่มีลักษณะเป็น ก้อนสีขาว (ภาพที่ 4.8)



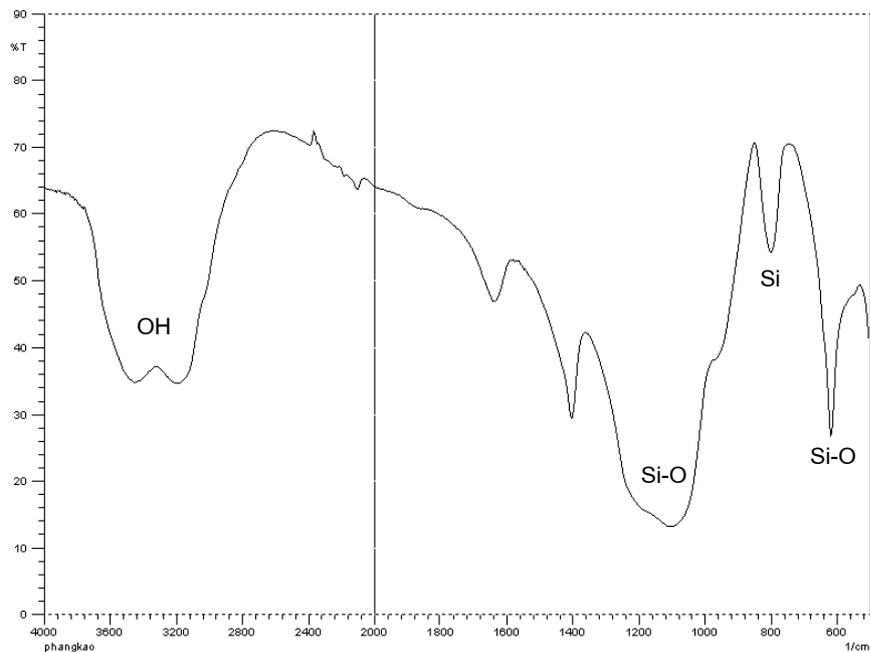
ภาพที่ 4.8 ผลของการนำสารซิลิคอนที่ผ่านการล้างด้วยน้ำจนกระทั่ง pH เท่ากับ 7 นำไปอบให้แห้งอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จะได้สารที่มีลักษณะเป็นก้อนผงสีขาว

#### 4.1.8 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟางข้าว

นำซิลิคอนที่ได้จากการเผาฟางข้าวที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของซิลิกาที่สกัดได้ โดยผลการวิเคราะห์ซิลิคอนที่สกัดได้จากฟางข้าว คือ หมู่ฟังก์ชัน O-H ในระยะความถี่  $3600 - 3000 \text{ cm}^{-1}$  หมู่ฟังก์ชัน Si-O ในระยะความถี่  $1200 - 1000 \text{ cm}^{-1}$  หมู่ฟังก์ชัน Si ในระยะความถี่  $789 \text{ cm}^{-1}$  และ  $620 \text{ cm}^{-1}$  ดังตารางที่ 4.1 (ภาพที่ 4.9)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของซิลิคอนที่สังเคราะห์จากฟางข้าว

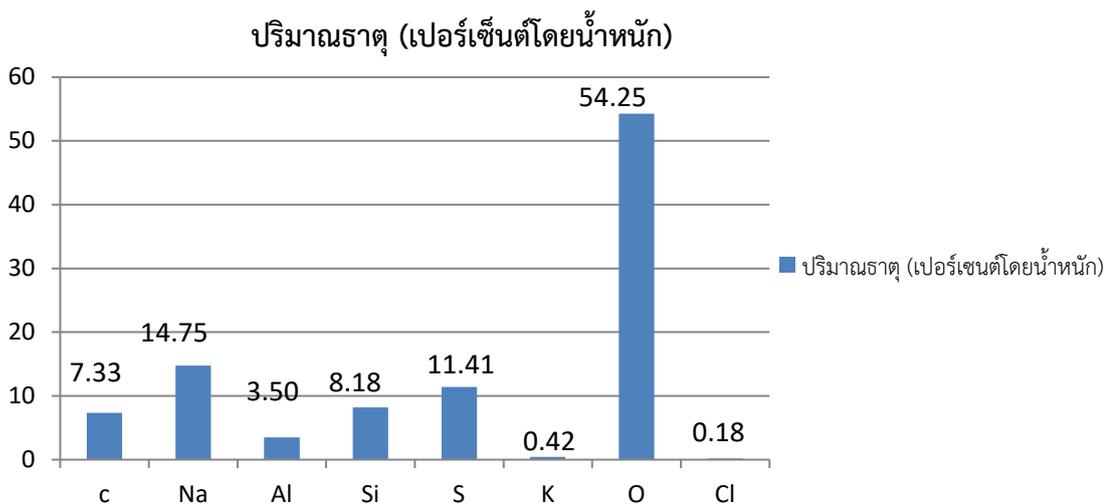
ความถี่ เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	หมู่ฟังก์ชัน
3600-3000	O-H
1200-1000	Si-O stretching
798	Si stretching
620	Si stretching



ภาพที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของซิลิคอนที่สังเคราะห์จากจากฟางข้าว

#### 4.1.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุซิลิคอนในฟางข้าว

จากการนำซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ซิลิคอนโดยการเผาและสกัดด้วยเทคนิคการใช้เบส มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุซิลิคอนด้วยเทคนิค EDX เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุ โดยมีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักคือ 8.18 (ภาพที่ 4.10)

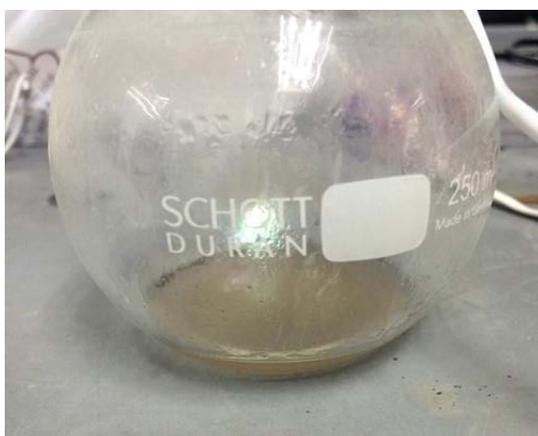


ภาพที่ 4.10 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุในฟางข้าว

## 4.2 การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยเทคนิครีฟลักซ์ และเทคนิคการบด

### 4.2.1 ผลของการนำซิลิคอนมาทำการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

นำซิลิคอนที่สกัดได้มา 10 กรัม เพื่อทำการรีฟลักซ์ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 4 ชั่วโมง จะได้สารละลายสีขาวขุ่นที่มีตะกอนของสารซิลิคอนอยู่ด้านล่าง และมีตะกอนสีดำลอยขึ้นมาชั้นบน (ภาพที่ 4.11) จากนั้นนำสารละลายที่ได้มารองและล้างด้วยน้ำจนกระทั่งมีค่า pH เป็นกลาง และนำเข้าสู่กระบวนการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จะได้สารที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว (ภาพที่ 4.12)



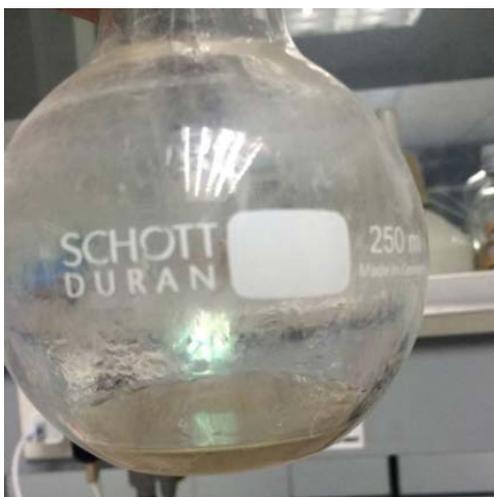
ภาพที่ 4.11 สารละลายสีขาวขุ่นมีตะกอนของสารซิลิคอนผสมอยู่และตะกอนสีดำลอยอยู่ชั้นบนของสารละลาย



ภาพที่ 4.12 ผงละเอียดสีขาวที่ได้จากการอบให้แห้ง หลังจากผ่านกระบวนการรีฟลักซ์

#### 4.2.2 ผลของการนำซิลิคอนมาทำการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มอล

นำซิลิคอน 2 กรัม ที่ได้มาทำการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จะได้สารละลายสีขาวขุ่นที่มี ตะกอนของสารซิลิคอนอยู่ด้านล่าง และมีตะกอนสีดำลอยขึ้นมาชั้นบน (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 สารละลายสีขาวขุ่น มีตะกอนของสารซิลิคอนผสมอยู่และมีตะกอนสีดำลอยอยู่ชั้นบนหลังจากผ่านกระบวนการรีฟลักซ์ 10 ชั่วโมง

#### 4.2.3 การนำซิลิคอนมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช

นำสารละลายสีขาวขุ่นที่ได้มาทำการตกตะกอนซ้ำด้วยน้ำร้อน กรอง และ อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 18 ชั่วโมง ได้สารที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ผงละเอียดสีขาวที่ผ่านการตกตะกอนซ้ำด้วยน้ำร้อน กรองและอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

#### 4.2.4 ผลของการนำซิลิคอนมาผ่านกระบวนการบด

นำซิลิคอนปริมาณ 4 กรัม มาทำการบดด้วยโม่บดสาร จนกระทั่งเป็นผงละเอียดสีขาว จากนั้นนำสารซิลิคอน ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช จำนวน 2 รอบ เพื่อให้อนุภาคของซิลิคอนมีขนาดเล็กลง (ภาพที่ 4.15) แล้วนำสารที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM



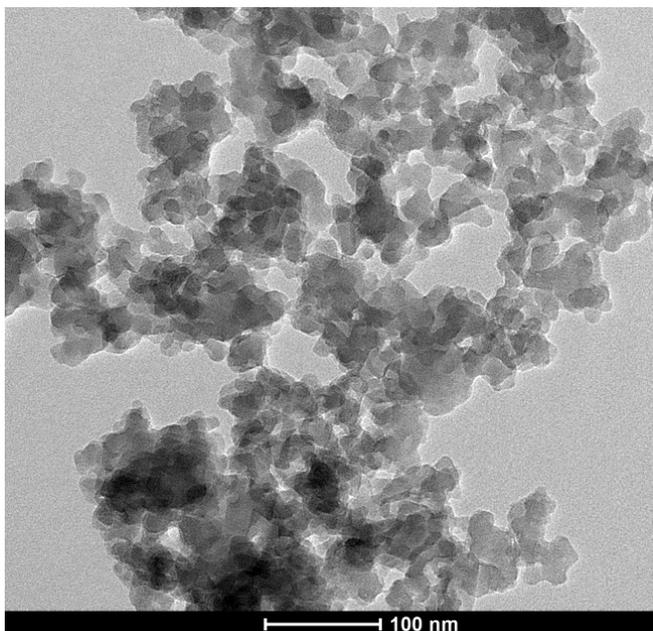
ภาพที่ 4.15 สารซิลิคอนที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช จำนวน 2 รอบ

### 4.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคสารด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

#### 4.3.1 ผลของการนำสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีฟลักซ์ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค

TEM

นำสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีฟลักซ์ วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค TEM พบว่า สารนาโนซิลิคอน มีผลึกเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.16)

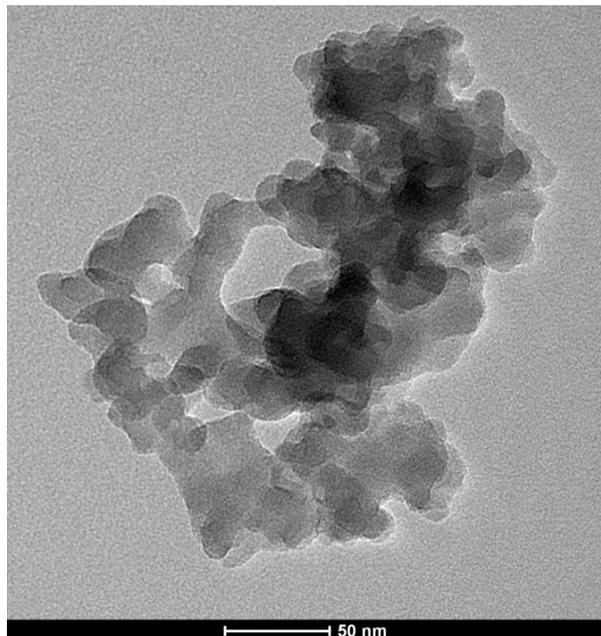


ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีฟลักซ์

#### 4.3.2 ผลของการนำสารนาโนซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการบด ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

TEM

นำสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการบด วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค TEM พบว่าสารนาโนซิลิคอน มีผลึกเป็นอสัณฐาน ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 50 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.17)

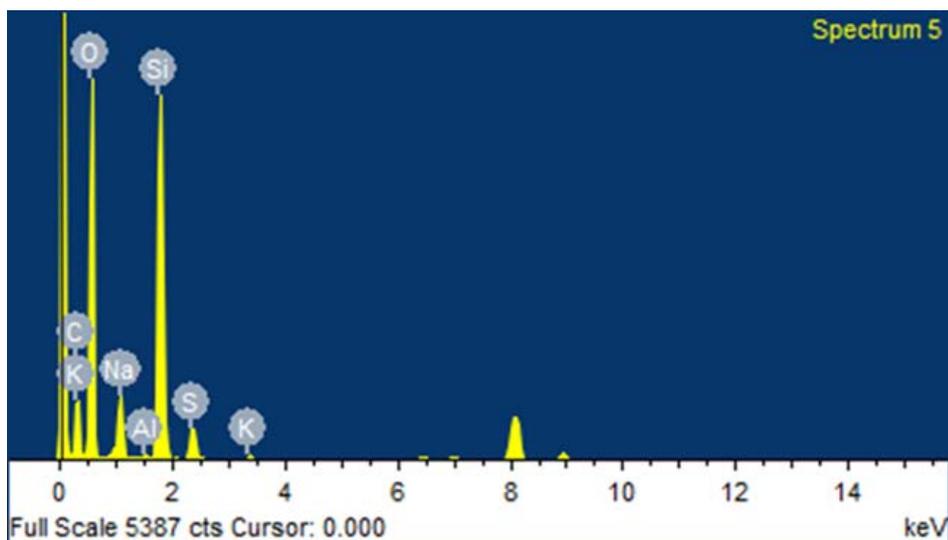


ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการบด

#### 4.4 การวิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ EDX

##### 4.4.1 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีฟลักซ์ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ EDX

นำสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการรีฟลักซ์ วิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ พบว่ามีปริมาณของธาตุ Si ในปริมาณ 26.86% ของน้ำหนักสารทั้งหมด (ภาพที่ 4.18)



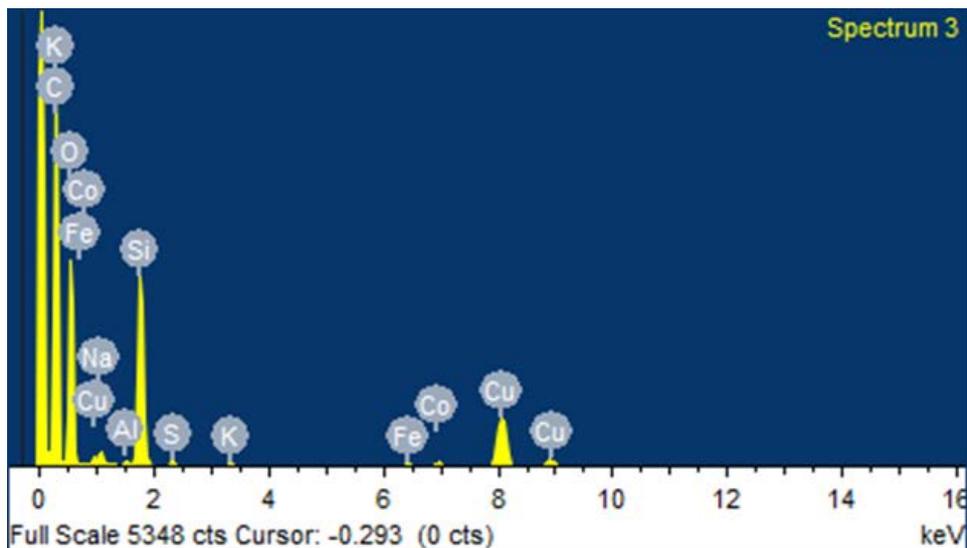
ภาพที่ 4.18 แสดงองค์ประกอบของสาร ที่มีอยู่ในสารนาโนซิลิคอนที่สังเคราะห์จากฟางข้าว  
วิธีรีฟลักซ์โดยใช้เทคนิค EDX

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงปริมาณของสารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าวด้วย  
วิธีรีฟลักซ์

ธาตุ (Element)	น้ำหนัก (Weight) %	อะตอม (Atomic) %
C K	9.83	15.96
O K	40.32	49.14
Na K	5.36	4.55
Al K	0.36	0.26
Si K	38.69	26.86
S K	4.73	2.88
K K	0.70	0.35
Totals	100.0	

#### 4.4.2 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการบด โดยใช้เทคนิค การวิเคราะห์ EDX

นำสารนาโนซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการบด วิเคราะห์ปริมาณของธาตุ จะพบว่า  
ปริมาณของธาตุ Si ในปริมาณ 2.69% ในน้ำหนัก 4.15% ของน้ำหนักสารทั้งหมด (ภาพที่ 4.19)



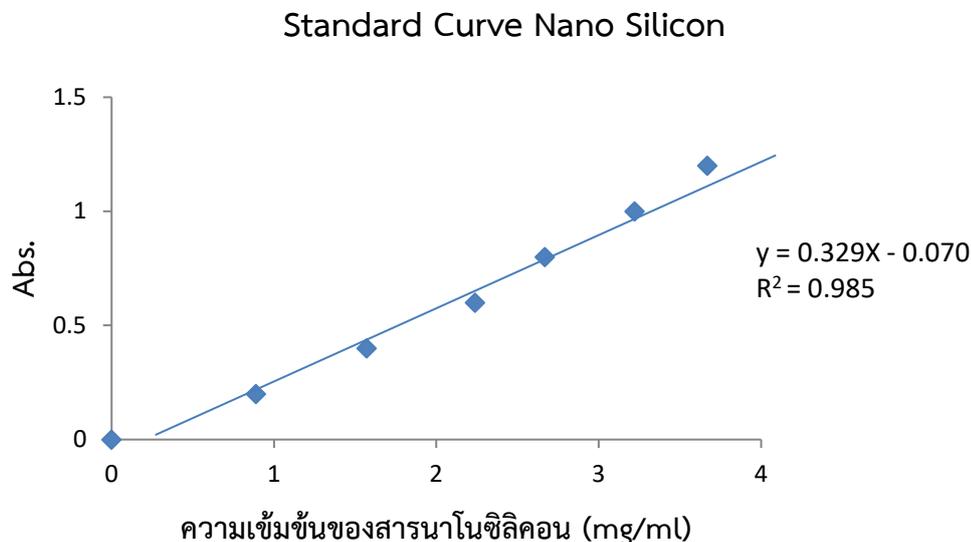
ภาพที่ 4.19 แสดงองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในสารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าวซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการบด โดยใช้เทคนิค EDX

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงปริมาณ ของสารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าว ซึ่งทำการสกัดด้วยวิธีการบด

ธาตุ (Element)	น้ำหนัก (Weight) %	อะตอม (Atomic) %
C K	53.88	81.51
O K	4.38	4.98
Si K	4.15	2.69
Fe K	1.27	0.41
Co K	1.27	0.39
Cu K	35.04	10.02
Totals	100.0	

#### 4.5 กราฟมาตรฐานของสารนาโนซิลิคอน

นำสารละลายมาตรฐานนาโนซิลิคอน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 810 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrophotometer ซึ่งได้ค่าความเข้มข้นที่ 0.000 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.890 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 1.571 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 2.239 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 2.669 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 3.222 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 3.669 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.20)



ภาพที่ 4.20 กราฟมาตรฐานของสารนาโนซิลิคอน

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นสารนาโนซิลิคอน

นำสารนาโนซิลิคอนที่สกัดได้จากฟางข้าว วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน โดยวิธี microdetermination นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 810 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrophotometer ได้ค่าความเข้มข้น เท่ากับ 1.256 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

#### 4.7 การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารนาโนซิลิคอน

##### 4.7.1 การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารนาโนซิลิคอนที่มีความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

เตรียมสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผสมกับ SHP ความเข้มข้น 4.5% silicone emulsion ความเข้มข้น 1% และ chitosan 5 มิลลิลิตร แล้วนำผ้าฝ้ายจุ่มลงในสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.21)



ภาพที่ 4.21 ผ้าฝ้ายที่จุ่มในสารนาโนซิติคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

#### 4.7.2 การบีบอัดสารนาโนซิติคอนลงบนผ้าฝ้าย

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการจุ่มสารนาโนซิติคอนแล้วมาบีบอัดโดยใช้ไม้กลมรีดจำนวน 20 รอบ เพื่อให้อนุภาคของสารติดบนผ้าทดสอบยิ่งขึ้น (ภาพที่ 4.22)



ภาพที่ 4.22 การบีบอัดสารนาโนซิติคอนลงบนผ้าฝ้าย

#### 4.7.3 การอบผ้าฝ้ายไล่ความชื้นในตู้อบ

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการรีดด้วยไม้กลมแล้ว ไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที (ภาพที่ 4.23)

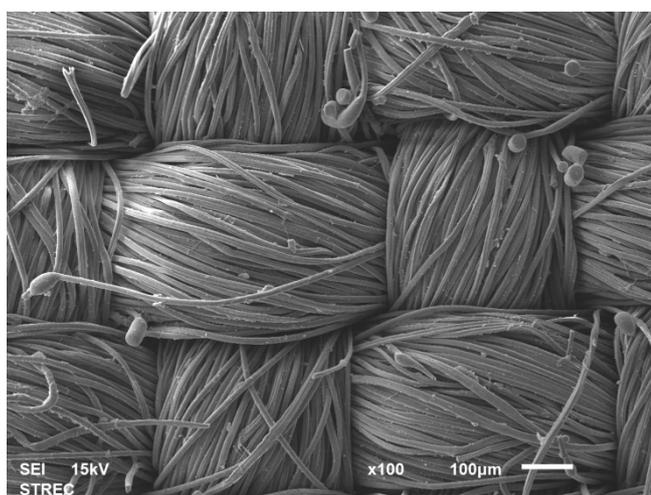


ภาพที่ 4.23 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนแล้วมาอบแห้ง

#### 4.8 การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ด้วยเทคนิค SEM

##### 4.8.1 ผลของการนำผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค SEM

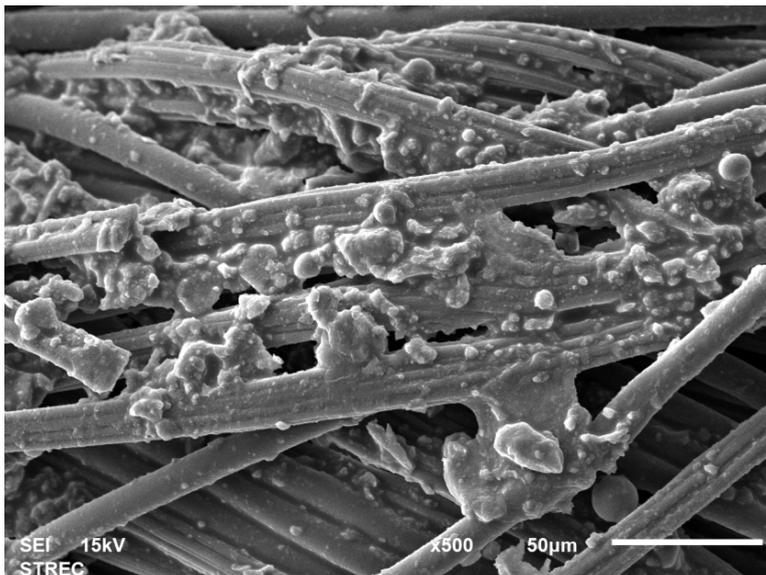
นำผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้าย พบว่า ไม่มีสารใดๆบนเส้นใยผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน (ภาพที่ 4.24)



ภาพที่ 4.24 ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน

#### 4.8.2 ผลของการนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค SEM

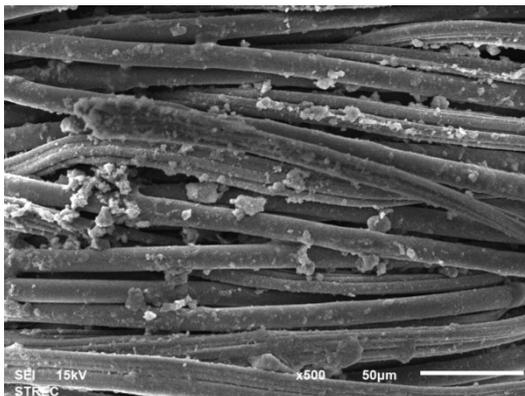
นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้าย พบว่า มีสารนาโนซิลิคอนยึดเกาะเส้นใยในปริมาณน้อย และรวมตัวกันเป็นกลุ่ม (ภาพที่ 4.25)



ภาพที่ 4.25 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

#### 4.8.3 ผลของการนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค SEM

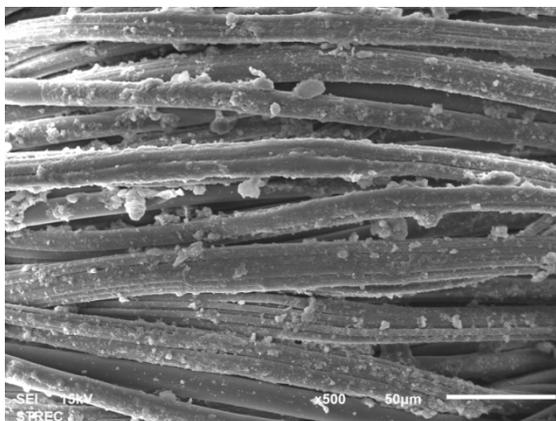
นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้าย พบว่า มีสารนาโนซิลิคอนกระจายตัวยึดเกาะบนเส้นใยผ้าฝ้ายมากกว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (ภาพที่ 4.26)



ภาพที่ 4.26 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

#### 4.8.4 ผลของการนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค SEM

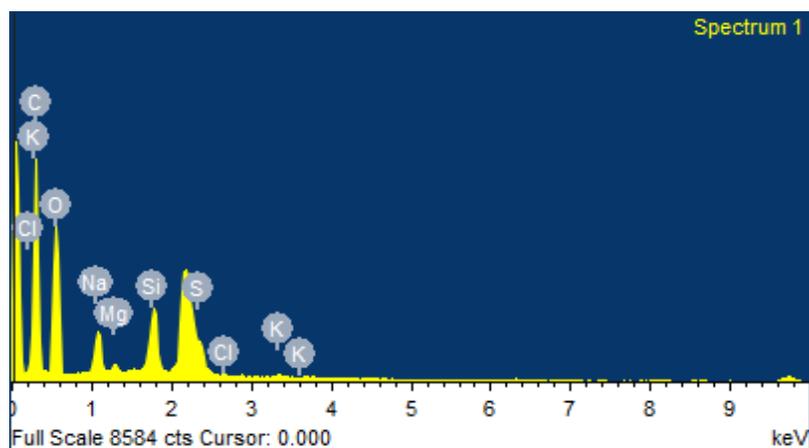
นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าฝ้าย พบว่า มีสารนาโนซิลิคอนกระจายตัวยึดเกาะเส้นใยผ้าฝ้ายได้ทั่วผืนผ้าและสม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.27)



ภาพที่ 4.27 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

#### 4.8.5 ผลของการนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณสารที่ยึดเกาะบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค EDX

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณสารที่ยึดเกาะบนผ้าฝ้าย พบว่า มีปริมาณสารนาโนซิลิคอนเกาะบนเส้นใยผ้าฝ้าย 3.80% โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด (ภาพที่ 4.28)



ภาพที่ 4.28 แสดงองค์ประกอบของสารที่ยึดเกาะบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน โดยใช้เทคนิค EDX

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน

ธาตุ (Element)	น้ำหนัก (Weight) %	อะตอม (Atomic) %
C K	53.14	61.93
O K	38.35	33.56
Na K	3.10	1.89
Mg K	0.52	0.30
Si K	3.80	1.89
S K	0.37	0.16
Cl K	0.34	0.14
K K	0.38	0.13
Totals	100.00	

#### 4.9 การทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน

##### 4.9.1 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน

ทำการทดสอบ โดยการเผาในตู้ทดสอบที่ออกแบบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

1) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวระดับ 45 องศา จากนั้นเผาด้วยเปลวไฟ จดบันทึก เวลาการเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และ เวลาเริ่มต้นการคุแดง (ตาราง 4.5)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง สารนาโนซิลิคอน แนวระดับ 45 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1.1	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	36	36	36	37	36	36	36	36	36	36	36.1	
เริ่มต้นการหลอม	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2.1	
ละลาย												
เริ่มต้นการकुแดง	37	37	37	38	37	37	37	37	37	37	37.1	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1.2	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	36	36	36	37	36	36	37	36	36	36	36.2	
เริ่มต้นการหลอม	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2.2	
ละลาย												
เริ่มต้นการकुแดง	37	37	37	38	37	37	38	37	37	37	37.2	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
เริ่มต้นการหลอม	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
ละลาย												
เริ่มต้นการकुแดง	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.2	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	37	37	36	36	36	36	36	36	36	36	36.2	
เริ่มต้นการหลอม	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2.2	
ละลาย												
เริ่มต้นการकुแดง	38	38	37	37	37	37	37	37	37	37	37.2	

2) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวระดับ 90 องศา จากนั้นเผาด้วยเปลวไฟ บันทึกเวลาเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และ เวลาเริ่มต้นการकुแดง (ตาราง 4.6)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง สารนาโนซิลิคอน แนวนระดับ 90 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3.1	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	38	38	38	39	38	38	38	38	38	38	38.1	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4.1	
เริ่มต้นการकुแดง	39	39	39	40	39	39	39	39	39	39	39.1	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3.2	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	38	38	38	39	38	38	39	38	38	38	38.2	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4.2	
เริ่มต้นการकुแดง	39	39	39	40	39	39	40	39	39	39	39.2	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
เริ่มต้นการकुแดง	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3.2	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	39	39	38	38	38	38	38	38	38	38	38.2	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4.2	
เริ่มต้นการकुแดง	40	40	39	39	39	39	39	39	39	39	39.2	

#### 4.9.2 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายทอหวงไฟที่ตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ทำการทดสอบ โดยการเผาในตู้ทดสอบที่ออกแบบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

1) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวนระดับ 45 องศา เผาด้วยเปลวไฟ จดบันทึกเวลาเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และเวลาเริ่มต้นการकुแดง (ตาราง 4.7)

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่ง สารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
 ในแนวระดับ 45 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	43	43	43	43	43	42	43	43	43	43	42.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4.9	
เริ่มต้นการकुแดง	44	44	44	44	44	43	44	44	44	44	43.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	43	43	42	43	43	43	43	43	43	43	42.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4.9	
เริ่มต้นการकुแดง	44	44	43	44	44	44	44	44	44	44	43.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
เริ่มต้นการकुแดง	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
เริ่มต้นการकुแดง	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	

2) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวระดับ 90 องศา จากนั้นเผาด้วยเปลวไฟ บันทึกเวลา  
 เริ่มต้นการลุกไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และ เวลาเริ่มต้นการकुแดง  
 (ตาราง 4.8)

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง สารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร แนวนระดับ 90 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	45	45	45	45	45	44	45	45	45	45	44.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	6.9	
เริ่มต้นการकुแดง	46	46	46	46	46	45	46	46	46	46	45.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	45	45	44	45	45	45	45	45	45	45	44.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	6.9	
เริ่มต้นการकुแดง	46	46	45	46	46	46	46	46	46	46	45.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
เริ่มต้นการकुแดง	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
เริ่มต้นการकुแดง	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	

#### 4.9.3 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายหนองไฟที่ผ่านการตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอนความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ทำการทดสอบ โดยการเผาในตู้ทดสอบที่ออกแบบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

- 1) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวนระดับ 45 องศา เผาด้วยเปลวไฟ บันทึกเวลาเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และเวลาเริ่มต้นการकुแดง (ตาราง 4.9)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่ง สารนาโนซิลิโคน ที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
 แนวนระดับ 45 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
เริ่มต้นการकुแดง	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	61	62	62	62	62	62	62	62	62	62	61.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7.9	
เริ่มต้นการकुแดง	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	62.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
เริ่มต้นการकुแดง	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4.8	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	62	62	62	62	61	61	62	62	62	62	61.8	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7.8	
เริ่มต้นการकुแดง	63	63	63	63	62	62	63	63	63	63	62.8	

2) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวนระดับ 90 องศา จากนั้นเผาด้วยเปลวไฟ บันทึก  
 เวลาเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และ เวลาเริ่มต้นการ  
 คุแดง (ตาราง 4.10)

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่ง สารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร แนวนระดับ 90 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
เริ่มต้นการकुแดง	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	63	64	64	64	64	64	64	64	64	64	63.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.9	
เริ่มต้นการकुแดง	64	65	65	65	65	65	65	65	65	65	64.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
เริ่มต้นการकुแดง	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	6.8	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	64	64	64	64	63	63	64	64	64	64	63.8	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	9.8	
เริ่มต้นการकुแดง	65	65	65	65	64	64	65	65	65	65	64.8	

#### 4.9.4 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายห่วงไฟที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ทำการทดสอบ โดยการเผาในตู้ทดสอบที่ออกแบบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

1) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวนระดับ 45 องศา เผาด้วยเปลวไฟ จดบันทึกเวลาเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และเวลาเริ่มต้นการकुแดง (ตาราง 4.11)

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่ง สารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร แนวนระดับ 45 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	78	78	78	78	78	78	77	78	78	78	77.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11	10.9	
เริ่มต้นการकुแดง	79	79	79	79	79	79	78	79	79	79	78.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	7	6	7	7	6	7	6.8	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	78	78	78	78	78	77	78	78	77	78	77.8	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	11	11	11	11	11	10	11	11	10	11	10.8	
เริ่มต้นการकुแดง	79	79	79	79	79	78	79	79	78	79	78.8	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
เริ่มต้นการकुแดง	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
เริ่มต้นการकुแดง	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	

2) วางผ้าฝ้ายลงบนแท่นทดสอบ ในแนวนระดับ 90 องศา จากนั้นเผาด้วยเปลวไฟ จดบันทึก เวลาเริ่มต้นการลุกติดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และ เวลาเริ่มต้นการ कुแดง (ตาราง 4.12)

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิกอน ที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แนวนระดับ 90 องศา

เกณฑ์การทดสอบ	เวลาการทดสอบ (วินาที)										ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10		
<b>ชุดการทดสอบที่ 1</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9	8.9	0.31623
การสิ้นสุดการลุกไหม้	80	80	80	80	80	80	79	80	80	80	79.9	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	12.9	
เริ่มต้นการकुแดง	81	81	81	81	81	81	80	81	81	81	80.9	
<b>ชุดการทดสอบที่ 2</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	9	9	9	9	9	8	9	9	8	9	8.8	0.42164
การสิ้นสุดการลุกไหม้	80	80	80	80	80	79	80	80	79	80	79.8	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	13	13	13	13	13	13	13	13	12	13	12.8	
เริ่มต้นการकुแดง	81	81	81	81	81	81	81	81	80	81	80.8	
<b>ชุดการทดสอบที่ 3</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
เริ่มต้นการकुแดง	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
<b>ชุดการทดสอบที่ 4</b>												
เริ่มต้นการลุกไหม้	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8.8	0
การสิ้นสุดการลุกไหม้	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	79.8	
เริ่มต้นการหลอมละลาย	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12.8	
เริ่มต้นการकुแดง	81	81	81	81	8	81	81	81	81	81	80.8	

4.9.5 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิกอน และผ้าฝ้ายผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิกอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่แนวนระดับ 45 องศา

1) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการหน่วงไฟ การเริ่มต้นการลุกไหม้ ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิกอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิกอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิกอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการหน่วงไฟต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.125 \pm 1.13$  วินาที ถึง  $6.925 \pm 6.93$  วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่

ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกไหม้ ที่ 1.125 วินาที 2.95 วินาที และ 4.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ดีที่สุดถึง 6.925 วินาที (ตารางที่ 4.13)

**ตารางที่ 4.13** ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอนที่ ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	เวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด การทดสอบที่ 1	ชุด การทดสอบที่ 2	ชุด การทดสอบที่ 3	ชุด การทดสอบที่ 4	
0	1.1	1.2	1	1.2	1.125 ± 1.13 <sup>a</sup>
0.2	2.9	2.9	3	3	2.95 ± 2.95 <sup>b</sup>
0.4	5	4.9	5	4.8	4.925 ± 4.93 <sup>c</sup>
0.6	6.9	6.8	7	7	6.925 ± 6.93 <sup>d</sup>
<i>p</i> – Values					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากเวลาการสิ้นสุดการลุกไหม้ ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการสิ้นสุดการลุกไหม้ ของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาการสิ้นสุดการลุกไหม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 36.125 ± 36.08 วินาที ถึง 77.925 ± 77.93 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกไหม้ ที่ 36.125 วินาที 42.95 วินาที และ 61.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการสิ้นสุดการลุกไหม้ดีที่สุดคือ 77.925 วินาที (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการสิ้นสุดการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอนที่ ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4	
0	36.1	36.2	36	36.2	36.125 ± 36.08 <sup>a</sup>
0.2	42.9	42.9	43	43	42.95 ± 42.95 <sup>b</sup>
0.4	62	61.9	62	61.8	61.925 ± 61.93 <sup>c</sup>
0.6	77.9	77.8	78	78	77.925 ± 77.93 <sup>d</sup>
<i>p</i> – Values					*

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากเวลาการเริ่มต้นการหลอมละลาย ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยเวลาการเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาการสิ้นสุดการหลอมละลายเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.125 ± 2.08 วินาที ถึง 10.925 ± 10.93 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการหลอมละลายที่ 2.125 วินาที 4.95 วินาที และ 7.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการหลอมละลายได้ดีที่สุดในเวลา 10.925 วินาที (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอนที่ ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	เวลาการเริ่มต้นการหลอมละลาย (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบ ที่ 4	
0	2.1	2.2	2	2.2	2.125 ± 2.08 <sup>a</sup>
0.2	4.9	4.9	5	5	4.95 ± 4.95 <sup>b</sup>
0.4	8	7.9	8	7.8	7.925 ± 7.93 <sup>c</sup>
0.6	10.9	10.8	11	11	10.925 ± 10.93 <sup>d</sup>
<i>p</i> – Values					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง ของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 37.125 ± 37.08 วินาที ถึง 78.925 ± 78.90 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกไหม้ ที่ 37.125 วินาที 43.95 วินาที และ 62.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการคุ้แดงได้ดีที่สุดในเวลา 78.925 วินาที (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการทอของผ้าฝ้าย โดยพิจารณาจากการเริ่มต้นการคูด่างของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิโคน ที่ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	เวลาการเริ่มต้นการคูด่าง (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4	
0	37.1	37.2	37	37.2	37.125 ± 37.08 <sup>a</sup>
0.2	43.9	43.9	44	44	43.95 ± 43.95 <sup>b</sup>
0.4	63	62.9	63	62.8	62.925 ± 62.93 <sup>c</sup>
0.6	78.9	78.8	79	79	78.925 ± 78.90 <sup>d</sup>
$\rho$ – Valuses					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $\rho < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.9.6 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิโคน และผ้าฝ้ายผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่แนวระดับ 90 องศา

1) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการทอของผ้าฝ้าย โดยพิจารณาจากการทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิโคน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิโคน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิโคน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $\rho < 0.05$ ) โดยเวลาเริ่มต้นการลุกลามเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.125 ± 3.13 วินาที ถึง 8.925 ± 8.93 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิโคนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกลามที่ 3.125 วินาที 4.95 วินาที และ 6.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามได้ดีที่สุดในเวลา 8.925 วินาที (ตารางที่ 4.17)

ตารางที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการทอของผ้าฝ้าย โดยพิจารณาจากการทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอนที่ ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	เวลาเริ่มต้นการลุกลาม (วินาที)				เวลาในการ ทดสอบเฉลี่ย (วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4	
0	3.1	3.2	3	3.2	3.125 ± 3.13 <sup>a</sup>
0.2	4.9	4.9	5	5	4.95 ± 4.95 <sup>b</sup>
0.4	7	6.9	7	6.8	6.925 ± 6.93 <sup>c</sup>
0.6	8.9	8.8	9	9	8.925 ± 8.93 <sup>d</sup>
$\rho$ - Values					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการทอของผ้าฝ้าย โดยพิจารณาจากเวลาการสิ้นสุดการลุกลามของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการสิ้นสุดการลุกลามของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาการสิ้นสุดการลุกลามเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 38.125 ± 38.13 วินาที ถึง 79.925 ± 79.93 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกลาม ที่ 38.125 วินาที 44.95 วินาที และ 63.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการสิ้นสุดการลุกลามดีที่สุด คือ 79.925 วินาที (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการสิ้นสุดการลุกไหม้ของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอนที่ ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4	
0	38.1	38.2	38	38.2	38.125 ± 38.13 <sup>a</sup>
0.2	44.9	44.9	45	45	44.95 ± 44.95 <sup>b</sup>
0.4	64	63.9	64	63.8	63.925 ± 63.93 <sup>c</sup>
0.6	79.9	79.8	80	80	79.925 ± 79.93 <sup>d</sup>
$\rho$ – Valuses					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากเวลาการเริ่มต้นการหลอมละลาย ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยเวลาการเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาการสิ้นสุดการหลอมละลายเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.125 ± 4.13 วินาที ถึง 12.925 ± 12.93 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการหลอมละลายที่ 4.125 วินาที 6.95 วินาที และ 9.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการหลอมละลายได้ดีที่สุดในเวลา 12.925 วินาที (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอน ที่ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	เวลาการเริ่มต้นการหลอมละลาย (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4	
0	4.1	4.2	4	4.2	4.125 ± 4.13 <sup>a</sup>
0.2	6.9	6.9	7	7	6.95 ± 6.95 <sup>b</sup>
0.4	10	9.9	10	9.8	9.925 ± 9.93 <sup>c</sup>
0.6	12.9	12.8	13	13	12.925 ± 12.93 <sup>d</sup>
$\rho$ - Values					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยการใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าที่ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง ของผ้าฝ้าย ทั้ง 4 ความเข้มข้น มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 39.125 ± 39.13 วินาที ถึง 80.925 ± 80.93 วินาที ซึ่งผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกไหม้ ที่ 39.125 วินาที 44.95 วินาที และ 64.925 วินาที ตามลำดับ และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการคุ้แดงได้ดีที่สุดในเวลา 80.925 วินาที (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการเริ่มต้นการคุแดงของผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น สารนาโนซิลิคอน ที่ตกแต่งผ้าฝ้าย (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	เวลาการเริ่มต้นการคุแดง (วินาที)				เวลาในการทดสอบ เฉลี่ย(วินาที)
	ชุด	ชุด	ชุด	ชุด	
	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4	
0	39.1	39.2	39	39.2	39.125 ± 39.13 <sup>a</sup>
0.2	44.9	44.9	45	45	44.95 ± 44.95 <sup>b</sup>
0.4	65	64.9	65	64.8	64.925 ± 63.55 <sup>c</sup>
0.6	80.9	80.8	81	81	80.925 ± 80.93 <sup>d</sup>
$\rho$ – Values					*

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่าแสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.9.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าฝ้ายผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่แนวระดับ 45 องศา และ 90 องศา

1) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.29) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.30) พบว่า เกิดการเผาไหม้จนหมดผืนผ้า และลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะรวมตัวกันเป็นก้อนสีดำขนาดเล็ก



ภาพที่ 4.29 ลักษณะทางกายภาพของผ้า  
ฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ใน  
แนวระดับ 45 องศา



ภาพที่ 4.30 ลักษณะทางกายภาพของผ้า  
ฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ใน  
แนวระดับ 90 องศา

2) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.31) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.32) พบว่า เกิดการเผาไหม้จนหมดผืนผ้า และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นสีดำเกาะตัวกันเป็นแผ่นขนาดเล็ก



ภาพที่ 4.31 ลักษณะทางกายภาพของผ้า  
ฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความ  
เข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
ในแนวระดับ 45 องศา



ภาพที่ 4.32 ลักษณะทางกายภาพของผ้า  
ฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความ  
เข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
ในแนวระดับ 90 องศา

3) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.33) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.34) พบว่า เกิดการเผาไหม้จนเกือบหมดผืนผ้า และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะ

เป็นแผ่นสีดำเกาะรวมตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าฝ้ายก่อนเกิดการเผาไหม้ และ ถ้าบางส่วนที่เกิดการเผาไหม้หลุดออกจากผืนผ้า และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน



ภาพที่ 4.33 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้าย  
ที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความ  
เข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
ในแนวระดับ 45 องศา



ภาพที่ 4.34 ลักษณะทางกายภาพของผ้า  
ฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความ  
เข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
ในแนวระดับ 90 องศา

4) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.35) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.36) พบว่า เกิดการเผาไหม้เพียงบางส่วน และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าฝ้ายก่อนเกิดการเผาไหม้



ภาพที่ 4.35 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้าย  
ที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความ  
เข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
ในแนวระดับ 45 องศา



ภาพที่ 4.36 ลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้าย  
ที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความ  
เข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร  
ในแนวระดับ 90 องศา

#### 4.1 ผลการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนผ้าไหมด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารนาโนซิลิคอนที่ใช้ในการตกแต่งเบื้องต้น พบว่า การเติมสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผ้าไหมมีลักษณะเป็นคราบ มีเนื้อผ้าแข็ง และสารเกาะตัวเป็นก้อนบนผิวของผืนผ้า ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกปริมาณความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเข้มข้น 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ซึ่งขั้นตอนการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ทำได้โดยเตรียมสารละลายนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผสมกับสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% และนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร ผสมกับสารโซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ ความเข้มข้น 4.5% สารซิลิโคนอิมัลชัน ความเข้มข้น 1% และสารโคโตซาน ความเข้มข้น 10% แล้วนำผ้าไหมที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาจุ่มลงในสารตกแต่งที่ผสมไว้ ดังภาพที่ 4.37 (ก) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งในแต่ละความเข้มข้นมาทำการรีดอัดด้วยไม้คัลเป็นจำนวน 20 รอบ ดังภาพที่ 4.37 (ข) เพื่อให้อนุภาคของสารติดบนผ้าไหมอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และนำผ้าไหมที่ผ่านการบีบอัดแล้วไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ดังภาพที่ 4.38 เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น พบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะกายภาพ คือ ผ้ามีความยืดหยุ่นของเส้นใยที่ดี เนื้อผ้านุ่ม สีของผ้าคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 4.39



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.37 การตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ติดลงบนผ้าไหม (ก) ขั้นตอนการจุ่มผ้าทดสอบลงในสารละลายเพื่อให้สารละลายแทรกซึมเข้าไปในผ้า (ข) ขั้นตอนการบีบอัดสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนผ้าไหมเพื่อให้อนุภาคของสารนั้นติดลงบนผ้าทดสอบยิ่งขึ้น



ภาพที่ 4.38 การอบแห้งผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงออกไซด์ในตู้อบลมร้อน



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.39 ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นต่าง ๆ และนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% ด้วยกระบวนการจุ่ม อัด อบแห้ง (ก) ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (ข) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (ค) ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (ง) ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

## 4.2 การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าไหมที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค SEM

### 4.5.1 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค SEM

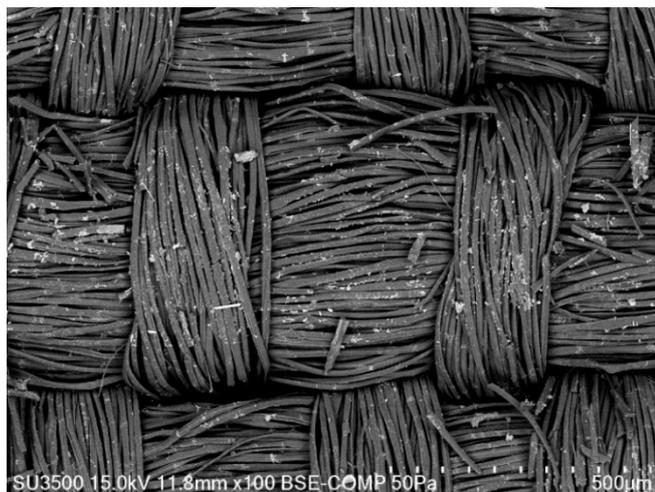
นำผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ มาวิเคราะห์พื้นผิวของผ้า พบว่า ไม่มีสารใด ๆ บนเส้นใยผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ดังภาพที่ 4.40



ภาพที่ 4.40 พื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์

### 4.5.2 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค SEM

นำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟ ดีที่สุดมาวิเคราะห์พื้นผิวบนผ้าไหม พบว่า สารนาโนซิลิคอนมีการแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยผ้าและสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีการกระจายตัวยึดเกาะบนเส้นใยผ้าไหมได้ดี ดังภาพที่ 4.41

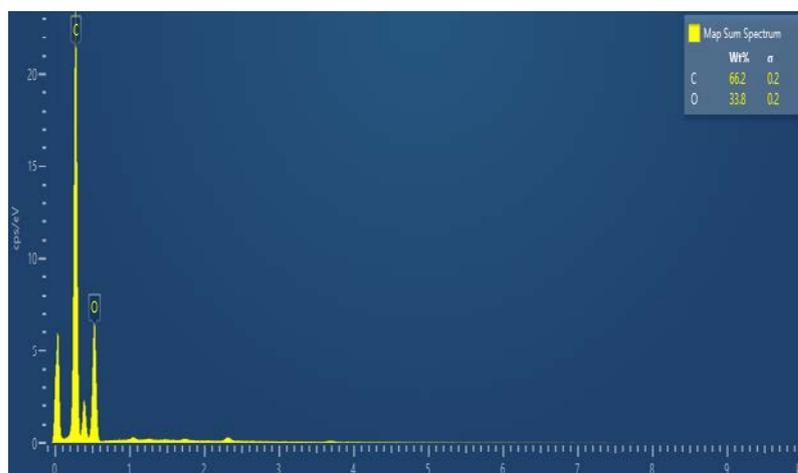


ภาพที่ 4.41 พื้นผิวของผ้าไหมหลังผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2%

#### 4.6 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ EDX

##### 4.6.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค EDX

นำผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่ยึดเกาะบนผ้าไหม พบว่า มีปริมาณสารคาร์บอน 66.2% และออกซิเจน 33.8% โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งไม่พบสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าไหมก่อนการตกแต่ง ดังภาพที่ 4.42 และตารางที่ 4.21



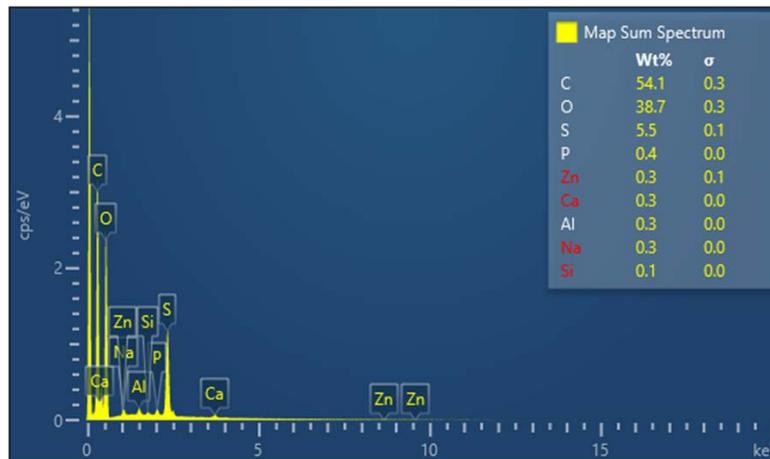
ภาพที่ 4.42 แสดงองค์ประกอบของสารที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิค EDX

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิกอนและนาโนซิงค์ออกไซด์

ธาตุ (Element)	น้ำหนัก (Weight) %
C	66.2
O	33.8
Totals	100.0

#### 4.6.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิกอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค EDX

นำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิกอนที่มีความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่ยึดเกาะบนผ้าไหม พบว่า มีปริมาณสารคาร์บอน 5.14% ออกซิเจน 38.7% กำมะถัน 5.5% ฟอสฟอรัส 0.4% แคลเซียม 0.3% อลูมิเนียม 0.3% โซเดียม 0.3% โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนสารนาโนซิลิกอน พบว่ามีปริมาณ 0.1% และสารนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า มีปริมาณ 0.3% โดยน้ำหนักของสารทั้งหมด ดังภาพที่ 4.43 และตารางที่ 4.22



ภาพที่ 4.43 แสดงองค์ประกอบของสารที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิกอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิค EDX

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุบนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์

ธาตุ (Element)	น้ำหนัก (Weight) %
C	54.1
O	38.7
S	5.5
P	0.4
Zn	0.3
Ca	0.3
Al	0.3
Na	0.3
Si	0.1
<b>Totals</b>	<b>100.0</b>

#### 4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าไหมหลังการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

การทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ในตู้ทดสอบการลุกไหม้สิ่งทอที่ออกแบบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยนำผ้าทดสอบมาเผาด้วยเปลวไฟเป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นจับบันทึกระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ ระยะเวลาการหลอมละลาย ระยะเวลาการคุแดง และระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมด

4.7.1) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟระหว่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา

1) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการหน่วงการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการหน่วงการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.242 \pm 0.057$  วินาที ถึง  $1.942 \pm 0.372$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้เฉลี่ยที่เวลา 1.242, 1.360 และ 1.760 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถหน่วงการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ดีที่สุดถึง 1.942 วินาที ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.23 ผลระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา

ปริมาณสาร นาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	ระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ (วินาที)						Mean $\pm$ S.D.	$\rho$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5			
0	1.28	1.16	1.26	1.30	1.21	$1.242 \pm 0.057^a$	0.001*	
0.2	1.32	1.29	1.39	1.40	1.40	$1.360 \pm 0.051^a$		
0.4	1.49	2.08	2.10	1.54	1.59	$1.760 \pm 0.303^b$		
0.6	2.15	1.50	1.58	2.22	2.26	$1.942 \pm 0.372^b$		

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $\rho < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาหลอมละลายเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $4.306 \pm 0.787$  วินาที ถึง  $7.948 \pm 0.986$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาหลอมละลายที่ 7.948, 6.572 และ 5.618 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการหลอมละลายน้อยที่สุดเพียง 4.306 วินาที ดังตาราง 4.4

**ตาราง 4.24** ผลระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา

ปริมาณสาร นาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	ระยะเวลาหลอมละลาย (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	6.94	8.65	6.83	8.90	8.42	$7.948 \pm 0.986^a$	0.000*
0.2	6.15	6.72	6.80	6.37	6.82	$6.572 \pm 0.298^b$	
0.4	5.35	6.03	5.26	6.05	5.40	$5.618 \pm 0.389^c$	
0.6	5.06	3.01	4.21	4.53	4.72	$4.306 \pm 0.787^d$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาการคุดแดงของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาการคุดแดงของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการคุดแดงอยู่ระหว่าง  $0.602 \pm 0.018$  วินาที ถึง  $1.620 \pm 0.627$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการคุดแดงที่ 1.620, 0.910 และ 0.730 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการคุดแดงน้อยที่สุดเพียง 0.602 วินาที ดังตาราง 4.5

**ตาราง 4.25** ผลระยะเวลาการคุดแดงของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับในแนวระดับ 45 องศา

ปริมาณสารนาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ระยะเวลาการคุดแดง (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	2.06	2.12	0.98	0.89	2.05	$1.620 \pm 0.627^a$	0.001*
0.2	0.76	0.85	1.05	0.90	0.99	$0.910 \pm 0.114^b$	
0.4	0.70	0.65	0.63	1.02	0.65	$0.733 \pm 0.164^b$	
0.6	0.62	0.59	0.60	0.58	0.62	$0.602 \pm 0.018^b$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.606 \pm 0.428$  วินาที ถึง  $2.034 \pm 0.111$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดที่ 2.034, 1.932 และ 1.862 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดน้อยที่สุดเพียง 1.606 วินาที ดังตาราง 4.6

**ตาราง 4.26** ผลระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 45 องศา

ปริมาณสารนาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมด (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	2.07	2.10	1.95	2.16	1.89	$2.034 \pm 0.111^a$	0.000*
0.2	1.94	2.01	1.85	2.10	1.76	$1.932 \pm 0.133^{ab}$	
0.4	1.89	1.91	1.97	1.79	1.75	$1.862 \pm 0.090^b$	
0.6	1.62	1.65	1.59	1.54	1.63	$1.606 \pm 0.428^c$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.7.2) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟระหว่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่แนวระดับ 90 องศา

1) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากการหนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการหนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.946 \pm 0.372$  วินาที ถึง  $1.272 \pm 0.048$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการลุกไหม้ที่ 1.272, 1.502 และ 1.748 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถหนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ดีที่สุดถึง 1.946 วินาที ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.27 ผลระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา

ปริมาณสาร นาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	ระยะเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	1.32	1.20	1.29	1.30	1.25	$1.272 \pm 0.048^a$	0.008*
0.2	2.02	1.35	1.33	1.39	1.42	$1.502 \pm 0.292^{ab}$	
0.4	1.45	2.02	2.09	1.59	1.59	$1.748 \pm 0.287^{bc}$	
0.6	2.24	1.57	1.51	2.18	2.23	$1.946 \pm 0.372^c$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาการหลอมละลายของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการหลอมละลายเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $4.392 \pm 0.411$  วินาที ถึง  $7.776 \pm 0.791$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการหลอมละลายที่ 7.776, 7.442 และ 6.586 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการหลอมละลายน้อยที่สุดเพียง 4.392 วินาที ดังตาราง 4.8

**ตาราง 4.28** ผลระยะเวลาหลอมละลายของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา

ปริมาณสาร นาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	ระยะเวลาการหลอมละลาย (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	6.83	7.38	7.63	8.12	8.92	$7.776 \pm 0.791^a$	0.000*
0.2	7.51	8.30	7.07	7.10	7.23	$7.442 \pm 0.510^a$	
0.4	6.63	6.39	6.30	6.83	6.78	$6.586 \pm 0.234^b$	
0.6	4.23	4.72	4.43	4.80	3.78	$4.392 \pm 0.411^c$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาการคุ้แดงของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาการคุ้แดงของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการคุ้แดงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.604 \pm 0.030$  วินาที ถึง  $1.634 \pm 0.639$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการคุ้แดงที่ 1.634, 0.950 และ 0.742 วินาที ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการคุ้แดงน้อยที่สุดเพียง 0.604 วินาที ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.29 ผลระยะเวลาการคุ้แดงของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับในแนวระดับ 90 องศา

ปริมาณสาร นาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	ระยะเวลาการคุ้แดง (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	2.08	2.15	0.95	0.92	2.07	$1.634 \pm 0.639^a$	0.001*
0.2	1.02	0.80	1.03	0.94	0.96	$0.950 \pm 0.092^b$	
0.4	0.67	0.72	0.68	1.03	0.64	$0.742 \pm 0.166^b$	
0.6	0.59	0.63	0.61	0.56	0.63	$0.604 \pm 0.030^b$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้การวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมทั้ง 4 ความเข้มข้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.584 \pm 0.076$  วินาที ถึง  $2.034 \pm 0.086$  วินาที ซึ่งผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดที่ 2.034, 1.910 และ 1.840 ตามลำดับ ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการลุกไหม้น้อยที่สุดเพียง 1.584 วินาที ดังตาราง 4.10

**ตาราง 4.30** ผลระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับ 90 องศา

ปริมาณสาร นาโนซิลิคอน (มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร)	ระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมด (วินาที)					Mean $\pm$ S.D.	$p$
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5		
0	2.04	2.07	1.99	2.15	1.92	$2.034 \pm 0.086^a$	0.000*
0.2	1.90	2.03	1.82	2.07	1.73	$1.910 \pm 0.142^{ab}$	
0.4	1.92	1.95	1.87	1.75	1.71	$1.840 \pm 0.105^b$	
0.6	1.64	1.51	1.67	1.50	1.60	$1.584 \pm 0.076^c$	

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

อักษรภาษาอังกฤษในแนวตั้งเป็นค่า แสดงความแตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**4.7.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรตามลำดับ ที่แนวระดับ 45 องศา และ 90 องศา**

1) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.44) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.45) พบว่า เกิดการเผาไหม้จนหมดผืนผ้า และลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นสีดำเกาะตัวกันเป็นแผ่นขนาดเล็ก



**ภาพที่ 4.44** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 45 องศา



**ภาพที่ 4.45** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 90 องศา

2) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.46) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.47) พบว่า เกิดการเผาไหม้เกือบหมดผืนผ้า และลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะรวมตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าไหมก่อนเกิดการเผาไหม้ และเถ้าบางส่วนที่เกิดการเผาไหม้หลุดออกจากผืนผ้า



**ภาพที่ 4.46** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 45 องศา



**ภาพที่ 4.47** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 90 องศา

3) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.48) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.49) พบว่า เกิดการเผาไหม้เพียงบางส่วน และลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าไหมก่อนเกิดการเผาไหม้



**ภาพที่ 4.48** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 45 องศา



**ภาพที่ 4.49** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 90 องศา

4) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับ 45 องศา (ภาพที่ 4.51) และ 90 องศา (ภาพที่ 4.52) พบว่า เกิดการเผาไหม้เพียงเล็กน้อย และลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าไหมก่อนเกิดการเผาไหม้



**ภาพที่ 4.50** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 45 องศา



**ภาพที่ 4.51** ลักษณะทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร หลังการทดสอบการเผาไหม้ ในแนวระดับ 90 องศา

#### 4.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพป้องกันยูวีของผ้าไหมหลังการตกแต่งด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์

การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวี (UV Protection) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ สามารถวัดได้จากเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ซึ่งแบ่งการทดสอบตามช่วงความยาวคลื่น ดังนี้

##### 4.8.1 ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสี UV-A ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสี UV-A โดยเปรียบเทียบค่าความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A (ช่วงความยาวคลื่น 315 - 400 นาโนเมตร) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าความแตกต่าง (T-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A ระหว่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากตารางที่ 4.11 พบว่า ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A เท่ากับ 98.411% และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A เท่ากับ 99.708% จะเห็นได้ว่า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UV-A เพิ่มขึ้นถึง 1.297% เมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ตารางที่ 4.31 ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีเอ (UV-A) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าที่ใช้ในการทดสอบ	UV-A Protection (%)				
	$\bar{x}$	S.D.	$\sum D$	t	$p$ - Values
ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่ง	98.411	0.209			
ผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์	99.708	0.112	1.297	46.409*	0.00

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.8.2 ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีบี (UV-B) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสี UV-B โดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A (ช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 นาโนเมตร) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าความแตกต่าง (T-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยการป้องกันรังสี UV-B ระหว่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากตารางที่ 4.12 ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการป้องกันของรังสี UV-B เท่ากับ 98.428% และผ้าไหมหลังตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการป้องกันของรังสียูวีบี เท่ากับ 99.728% จะเห็นได้ว่า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UV-B เพิ่มขึ้นถึง 1.300% เมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ตารางที่ 4.32 ผลเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีบี (UV-B) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าที่ใช้ในการทดสอบ	UV-B Protection (%)				
	$\bar{x}$	S.D.	$\sum D$	t	$\rho$ - Values
ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่ง	98.428	0.225			
ผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์	99.728	0.107	1.300	29.924*	0.000

\* มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )