

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อสกัดสารที่มีคุณสมบัติในการหน่วงไฟ ได้แก่ สารนาโนซิลิคอน โดยสกัดจากฟางข้าว และแกลบข้าว ตกแต่งลงบนผ้าและศึกษาประสิทธิภาพในการหน่วงไฟ เพื่อพัฒนาเป็นผ้าหน่วงไฟ สำหรับผลิตชุดปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากอัคคีภัย ผ้าม่าน และผ้าบุเฟอร์นิเจอร์ เพื่อให้ผ้าเหล่านั้นมีคุณสมบัติในการทนต่อการลุกติดไฟ โดยมีการดำเนินการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

1. การสกัดซิลิคอน โดยกระบวนการเผาและสกัดด้วยเทคนิคการใช้เบส
2. การสังเคราะห์ซิลิคอนให้มีขนาดอนุภาคเป็นนาโน โดยโดยเทคนิครีฟลักซ์ และกระบวนการอบ
3. วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ ด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) และวิเคราะห์นาโนซิลิคอนที่ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค Transmission Electron Microscopy (TEM)
4. วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนโดยวิธี microdetermination
5. การเตรียมผ้าก่อนการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน
6. การตกแต่งอนุภาคนาโนซิลิคอนบนผ้าด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง
7. การทดสอบการหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน การหน่วงไฟและการป้องกันลุกลามของไฟไหม้ที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์

#### 3.1 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.1 ผ้าทดลองที่ใช้ในการวิจัย

ผ้าที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผ้าฝ้ายและผ้าไหมมัดหมี่ทอมือ 100 เปอร์เซ็นต์ จากศูนย์ไหมนครชัยบุรินทร์ อำเภอบึงระจิง จังหวัดนครราชสีมา

##### 3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Contherm รุ่น Thermotech
- 2) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) ยี่ห้อ Ohaus
- 3) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ HANNA
- 4) เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) รุ่น Denpa
- 5) อ่างให้ความร้อน (Water bath) ยี่ห้อ Memmert
- 6) ตะแกรงร่อนขนาด 58 แมช รุ่น Retsch Test sieve
- 7) ปิเปต (Pipette) ขนาด 1, 5, 10 และ 20 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex
- 8) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 50, 100 และ 1,000 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Duran
- 9) ปีกเกอร์พลาสติก (Plastic beaker) ขนาด 50 มิลลิลิตร

- 10) ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 250, 1000 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Duran
  - 11) ขวดดูแรน (Duran) ขนาด 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Duran
  - 12) ถ้วยทนไฟ (Crucible) ขนาด 50 มิลลิลิตร
  - 13) กรวยกรอง (Filter Funnel) ยี่ห้อ Pyrex
  - 14) กระดาษกรอง เบอร์ 4 Whatman (Filter Paper Grade 4)
  - 15) ตะเกียงบุนเซน (Bunsen burner)
  - 16) แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod) ยี่ห้อ Duran
  - 17) ช้อนตักสาร (Spatula)
  - 18) คีมแบบเรียบ (Smooth forceps)
  - 19) ถุงซิปล (Zipper bags)

### 3.1.3 สารเคมี

- 1) สารนาโนซิลิคอน (Nano silicon)
- 2) สารนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide Nano) ยี่ห้อ Nano Materials เกรตวิเคราะห์
- 3) โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulphite) ยี่ห้อ Ajax finechem เกรตวิเคราะห์
- 4) โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ (Sodium hypophosphite) ยี่ห้อ Ajax finechem เกรตวิเคราะห์
- 5) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ยี่ห้อ QReC เกรตวิเคราะห์
- 6) แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate) ยี่ห้อ Ajax finechem เกรตวิเคราะห์
- 7) กรดออกซาลิก (Oxalic acid) ยี่ห้อ Ajax finechem เกรตวิเคราะห์
- 8) กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) ยี่ห้อ Millipore เกรตวิเคราะห์
- 9) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ยี่ห้อ QReC เกรตวิเคราะห์
- 10) กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) ความเข้มข้น 70% ยี่ห้อ Gammaco เกรตอุตสาหกรรม
- 11) มีทอล (Metol) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich เกรตวิเคราะห์
- 12) ซิลิโคนอิมัลชัน (Silicone emulsion) ความเข้มข้น 30% ยี่ห้อ Kim huat เกรตอุตสาหกรรม
- 13) ไคโตซาน (Chitosan) ยี่ห้อ VNT Chitosan เกรตอุตสาหกรรม
- 14) สบู่เปียม (Wetting agent) ยี่ห้อ Phua Kiam Seen เกรตอุตสาหกรรม

### 3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) วิเคราะห์โครงสร้างระดับนาโน วิเคราะห์ลักษณะสัณฐาน (morphology) โครงสร้างจุลภาค (microstructure) โครงสร้างผลึก (crystal structure) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) (รุ่น JEOL JEM 2010 200kV TEM/EDX) ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) วิเคราะห์พื้นผิวของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) (รุ่น JEOL JSM 6610LV) ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอนโดยเทคนิค Microdetermination ด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrophotometer ณ ศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

5) วิเคราะห์และทดสอบผ้าหลังการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ด้วยตู้ทดสอบสิ่งทอที่ประกอบขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การสกัดซิลิคอน โดยกระบวนการและสกัดด้วยเทคนิคการใช้เบส (ณัฐบดี วิริยาวัฒน์และคณะ, 2558)

- 1) จัดเตรียมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ฟางข้าว และแกลบข้าว
- 2) นำฟางข้าวมาตัดให้มีขนาดประมาณ 2 – 3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปล้างน้ำให้สะอาด
- 3) นำไปอบในตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven)

4) นำฟางข้าวที่ผ่านการอบแล้วมาซังน้ำหนัก แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเตาเผา ถ้าเข้ายังไม่ขาวให้เผาซ้ำอีกครั้ง โดยลดเวลาการเผาเหลือ 2 ชั่วโมง แล้วนำเข้าซังน้ำหนักหลังเผา ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เตาเผาไฟฟ้า (Electric Furnaces)

5) นำเถ้าที่ได้มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.3 (ก) จะได้โซเดียมซิลิเกต ทำการกรองแยกตะกอนออกจากสารละลายโซเดียมซิลิเกต ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน แล้วเก็บน้ำล้างตะกอนเพื่อเตรียมสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ดังภาพที่ 3.3 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.3 (ก) นำเถ้าที่ได้มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้สารละลายโซเดียมซิลิเกต (ข) ทำการกรองเอาตะกอนออก ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนแล้วเก็บน้ำล้างตะกอนแล้วเก็บน้ำล้างตะกอนเพื่อเตรียมสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

6) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5 นอร์มอล ลงในสารละลายโซเดียม ซิลิเกตให้มี pH เท่ากับ 10 ดังภาพที่ 3.4 (ก) ทิ้งไว้ให้เกิดเจล และเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจนกระทั่งมี pH เท่ากับ 2 ดังภาพที่ 3.4 (ข) จะได้ซิลิโคนไดออกไซด์หรือซิลิโคน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.4 (ก) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5 นอร์มอล ลงในสารละลายโซเดียมซิลิเกต ให้มี pH เท่ากับ 10 (ข) เติมสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้น จนกระทั่งมี pH เท่ากับ 2 โดยขั้นตอนนี้ใช้เครื่องวัด pH วัดความเป็นกรด-ด่าง ในขั้นตอนนี้จะได้ซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิคอน

7) เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นให้มี pH เท่ากับ 8.5 ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมงครึ่ง แล้วทำการกรอง

8) นำตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้และล้างด้วยน้ำจนกระทั่ง pH เท่ากับ 7

9) นำไปอบให้แห้งอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

3.2.2 การสังเคราะห์สารซิลิคอนให้มีขนาดอนุภาคเป็นนาโน โดยทำการศึกษา 2 วิธี คือ

3.2.2.1 การสังเคราะห์นาโนซิลิคอน โดยเทคนิครีฟลักซ์ (Sabita Patel. 2547)

1) นำซิลิคอนที่ได้มา 10 กรัม มาทำการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.5 หลังจากนั้นนำมากรอง และ ล้างด้วยน้ำซ้ๆจนกระทั่งมีค่า pH เป็นกลาง

2) นำซิลิคอน 2 กรัม ที่ได้ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้ว มาทำการรีฟลักซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7.5 – 8.5 กรอง และ ล้างด้วยน้ำ

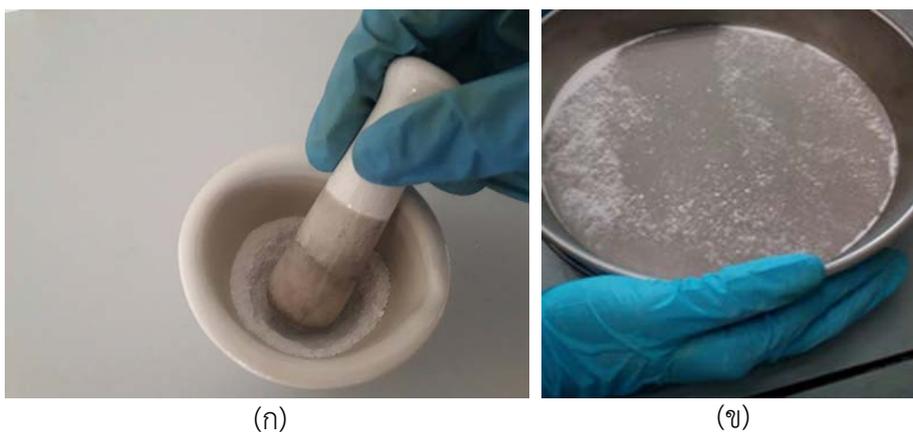
3) ทำการตกตะกอนซ้ำด้วยน้ำร้อน กรอง และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำมาผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช



ภาพที่ 3.5 การสังเคราะห์นาโนซิลิคอน โดยเทคนิครีฟลักซ์

3.2.2.2 การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนโดยกระบวนการบด ดังนี้ (ดัดแปลงจาก สุทธิษา ก้อนเรือง, 2545)

- 1) นำสารซิลิคอนปริมาณ 4 กรัม มาทำการบดด้วยโกร่งบดสาร จนกระทั่งเป็นผงละเอียดสีขาว ดังภาพที่ 3.6 (ก)
- 2) นำสารซิลิคอนที่ผ่านการบดแล้ว มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช จำนวน 2 รอบ ดังภาพที่ 3.6 (ข)
- 3) เก็บผงที่ผ่านการร่อนตะแกรงแล้วไปตรวจสอบด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.6 การสังเคราะห์นาโนซิลิคอนด้วยวิธีการบด (ก) นำซิลิคอนปริมาณ 4 กรัม มาทำการบดด้วยโกร่งบดสาร จนกระทั่งเป็นผงละเอียดสีขาว (ข) นำสารซิลิคอนที่ผ่านการบดแล้ว มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 58 เมช จำนวน 2 รอบ

### 3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณและโครงสร้างจุลภาคของนาโนซิลิคอน

วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ ด้วย EDX และวิเคราะห์นาโนซิลิคอนที่ได้ ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค TEM ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 วิเคราะห์นาโนซิลิคอนที่ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค TEM

### 3.2.4 การเตรียมสารละลายนาโนซิลิคอน โดยวิธีการใช้ตัวทำละลาย (ดัดแปลงจากชั้นัง พงษ์ จริงจิตรและคณะ, ม.ป.ป)

นำสารนาโนซิลิคอน ปริมาณ 1 กรัม มาทำการละลายในภาชนะพลาสติกด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น 70% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ละลายจนสารเป็นสีใส และเติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 97% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 97% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร อีกครั้ง คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าสารละลายนาโนซิลิคอนเป็นสีเหลืองใส ไม่มีตะกอน ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 สารนาโนซิลิคอนที่ผ่านการละลายด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลาย

### 3.2.5 วิเคราะห์ปริมาณนาโนซิลิคอน โดยวิธี Microdetermination

1.1) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต : ชั่งสารแอมโมเนียมโมลิบเดต ปริมาณ 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่มีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 60 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

1.1) สารละลายมีทอล : ชั่งสารมีทอล ปริมาณ 10 กรัม ลงในน้ำที่มีสารโซเดียมซัลไฟต์ ปริมาณ 6 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนครบ 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

1.2) สารละลายกรดออกซาลิก 10% (w/v) : ชั่งสารกรดออกซาลิก ปริมาณ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

1.3) สารละลายกรดซัลฟิวริก 9 นอร์มอล : ปิเปตกรดซัลฟิวริก ปริมาณ 59 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 120 มิลลิลิตร

1.4) สารละลายรีตีวซิง : ผสมสารละลายมีทอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร, สารละลายกรดออกซาลิก 10% w/v ปริมาตร 60 มิลลิลิตร, สารละลายกรดซัลฟิวริก 9 นอร์มอล ปริมาตร 120 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในขวดพลาสติกโพลีเอธิลีน และนำไปเก็บไว้ในตู้เย็น

#### 2) ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐานซิลิคอน

2.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานซิลิคอน โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซิลิคอน ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร

2.2) การทำให้เกิดสี โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซิลิคอนเตรียมไว้ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายรีตีวซิงเอเจนต์ อย่างรวดเร็ว ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.3) นำสารละลายมาตรฐานซิลิคอนที่ได้ ในข้อ 2.2) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 810 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ชนิด single beam ดังภาพที่ 3.2 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารซิลิคอนมาตรฐานและสร้างกราฟมาตรฐานซิลิคอน

#### 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน

##### 3.1) การย่อยตัวอย่างสารนาโนซิลิคอน

นำสารนาโนซิลิคอน ปริมาณ 0.10 กรัม ใส่ในนิกเกิลครุชีเบล ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงบนสารนาโนซิลิคอนให้ทั่ว ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไอของกรดซัลฟิวริกหมดไป จากนั้นหลอมซิลิคอนในตัวอย่าง โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 1.5 กรัม และนำไปหลอมบนตะเกียงเบนเซน ประมาณ 20 นาที จนก้นถ้วยครุชีเบลร้อนแดง เพื่อให้เกิดการหลอมสมบูรณ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนถ้วย ครุชีเบลเย็น นำครุชีเบลที่ผ่านการหลอมซิลิคอนอย่างสมบูรณ์แล้วมาล้างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 120 มิลลิลิตร ถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร นำบีกเกอร์ไปตั้งบน

อย่างให้ความร้อน จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างระเหยเหลือประมาณ 120 มิลลิลิตร และทำการกรองตะกอนสีดำออก นำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการกรองตะกอนแล้วมาปรับค่า pH ให้เป็น 7 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมล ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดพลาสติกพอลิเอธิลีนและนำไปพัฒนาสีเพื่อหาปริมาณซิลิคอน

### 3.2) ขั้นตอนการทำให้เกิดสี

ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ย่อยแล้ว ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เติมสารละลายรีดิวซิงเอเจนต์อย่างรวดเร็ว ปริมาตร 15 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

### 3.3) การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน

นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ในข้อ 3.2) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 810 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ดังภาพที่ 3.9 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารนาโนซิลิคอน



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์หาปริมาณสารซิลิคอน โดยเทคนิค microdetermination ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

### 3.2.6 การเตรียมผ้าก่อนการตกแต่ง

การเตรียมผ้าฝ้าย และผ้าไหมเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยตัดผ้าให้มีขนาดกว้างคูณยาวเท่ากับ  $5 \times 14$  เซนติเมตร โดยตัดให้ด้านยาวอยู่ในแนวด้ายยืน แต่ละการทดลองใช้ผ้าตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น ดังนั้นจึงใช้ผ้าตัวอย่างในการทดลองจำนวนทั้งสิ้น 40 ชิ้น นำผ้าทดลองไปทำความสะอาดด้วยวิธีการต้ม ในสารละลายสบู่เทียม 5 กรัม ต่อลิตร อัตราส่วนน้ำต่อผ้า 1 : 20 โดยปริมาตร อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

### 3.2.7 การตกแต่งสารนาโนซิลิคอนบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง

1) ทำการละลายสารนาโนซิลิคอน ปริมาณ 1 กรัม ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น 70% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร (ควรใช้ภาชนะพลาสติก) จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 98% ปริมาตร 8 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดฟลูออไรด์ที่ตกค้างในสารละลาย และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หรือจนสารละลายใสไม่มีตะกอน

2) เตรียมสารละลายนาโนซิลิคอน ที่มีความเข้มข้นต่างกัน โดยมีความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

3) จากนั้นเตรียมสารละลายที่จะนำมาผสมรวมกับสารละลายนาโนซิลิคอน โดยเตรียมสาร Sodium Hypophosphite ความเข้มข้น 4.5 % สาร Silicone Emulsion ความเข้มข้น 1 % และสาร Chitosan ความเข้มข้น 10 % โดยสารนี้มีคุณสมบัติช่วยยึดเกาะสารนาโนซิลิคอนลงบนผ้าทดสอบ

4) นำผ้าทดสอบที่ทำความสะอาดแล้วมาทำการจุ่มในสารละลายที่มีสารละลายนาโนซิลิคอน สาร Sodium Hypophosphite ความเข้มข้น 4.5 % สาร Silicone Emulsion ความเข้มข้น 1% และสาร Chitosan ความเข้มข้น 10 % เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งขั้นตอนนี้คือการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนลงบนผ้าทดสอบ

5) เมื่อทำการตกแต่งผ้าทดสอบแล้ว นำผ้ามาทำการรีดด้วยไอน้ำนวดแบ่งเป็นจำนวน 20 รอบ เพื่อให้อนุภาคของสารติดลงบนผ้าทดสอบได้ดียิ่งขึ้น

6) นำผ้าที่ผ่านการรีดด้วยไอน้ำนวดแบ่งแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบความร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที

7) นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนไปวิเคราะห์พื้นผิวของผ้า เพื่อดูการเกาะติดของสารนาโนซิลิคอนและวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพด้วยเทคนิค SEM และ EDX ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 วิเคราะห์พื้นผิวของผ้าด้วยเทคนิค SEM

### 3.2.8 การตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนผ้าไหม ด้วยวิธีจุ่ม อัด อบแห้ง (ดัดแปลงจาก เณศรา แก้วคง, 2557)

ในการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารนาโนซิลิคอนที่ใช้สำหรับการตกแต่งลงบนผ้าไหม เมื่อทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารนาโนซิลิคอนที่ใช้ในการตกแต่งเบื้องต้น พบว่า การเติมสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผ้าไหมมีลักษณะเป็นคราบ มีเนื้อผ้าแข็ง และสารเกาะตัวเป็นก้อนบนผิวของผืนผ้า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกปริมาณสารนาโนซิลิคอนที่ใช้ในการทดลอง คือ สารนาโนซิลิคอนปริมาณ 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมีวิธีการตกแต่งดังนี้

#### 1) การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการตกแต่งผ้าไหม

เตรียมสารละลายนาโนซิลิคอนตามความเข้มข้นที่กำหนด ได้แก่ ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร, 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผสมกับสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2% และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้มาผสมกับสารโซเดียมไฮโปฟอสเฟต ความเข้มข้น 4.5%, สารซิลิโคนอีมีลชัน ความเข้มข้น 1%, สารโคโตซาน ความเข้มข้น 10% โดยสารนี้เป็นสารยึดเกาะที่จะทำให้อนุภาคของสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์นั้นติดลงบนผ้า

2) นำผ้าไหมที่ผ่านการทำความสะอาดมาจุ่มลงในสารตกแต่งที่ผสมไว้ในข้อ 1) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้จะเป็นการตกแต่งอนุภาคสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนผ้าไหม เพื่อให้สารละลายแทรกซึมเข้าไปในผ้า

3) นำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาทำการรีดด้วยไม้คี่เป็นจำนวน 20 รอบ ขั้นตอนนี้จะเป็นการบีบอัดสารตกแต่งลงบนผ้าไหม เพื่อให้อนุภาคของสารนั้นติดลงบนผ้าไหมอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4) จากนั้นนำผ้าไหมที่ผ่านการบีบอัดไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยอนุภาคนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ไปวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าหลังผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยเทคนิค SEM

### 3.2.9 การทดสอบการหน่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน (ดัดแปลงจาก ศันสนีย์ เหลืองสุวรรณ, 2544)

1) เตรียมผ้าที่ไม่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และผ้าที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

2) ทำการทดสอบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักทดสอบสิ่งทอการลุกติดไฟของเสื้อผ้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ภาพ 3.11) ซึ่งจะทำให้การทดสอบการลุกไหม้ของผ้า 2 แนว คือ ทดสอบการลุกไหม้ของผ้าในแนวตั้ง และทดสอบการลุกไหม้ของผ้าในแนวเฉียง ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน FTMS 191 Method 5903



ภาพที่ 3.11 ตู้ทดสอบสิ่งทอการลุกลัดไฟของเสื้อผ้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3) เริ่มทำการทดสอบการลุกลัดไหม้ โดยการทดสอบการลุกลัดไหม้บนผ้าแบ่งตามการวางมุมชิ้นทดสอบเป็น 8 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 การทดสอบการลุกลัดไหม้ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง โดยนำผ้าทดลองที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน จำนวน 10 ชิ้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบเวลาเริ่มต้นการลุกลัดไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกลัดไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และเวลาเริ่มต้นการकुแดงของผ้า ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การทดสอบการลุกลัดไหม้ของผ้าทดลองที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง

การทดลองที่ 2 การทดสอบการลุกลัดไหม้ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง โดยนำผ้าทดลองที่มีความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 10 ชิ้น และทำการ

ทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการทดสอบ ของเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ เวลาการสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และ เวลาเริ่มต้นการคุ้แดงของผ้า ดังภาพที่ 3.13



**ภาพที่ 3.13** การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง

การทดลองที่ 3 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง โดยนำผ้าทดลองที่มีความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 10 ชิ้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการทดสอบ ของเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และ เวลาเริ่มต้นการคุ้แดงของผ้า ดังภาพที่ 3.14



**ภาพที่ 3.14** การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง

การทดลองที่ 4 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง โดยนำผ้าทดลองที่มีความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 10 ชั้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการทดสอบ ของเวลาเริ่มต้นการลุกลามไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกลามไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และ เวลาเริ่มต้นการकुแดงของผ้า ดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 การทดสอบการลุกลามไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง

การทดลองที่ 5 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวเฉียง 45 องศา โดยนำผ้าทดลองที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน จำนวน 10 ชั้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการทดสอบ ของเวลาเริ่มต้นการลุกลามไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกลามไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และ เวลาเริ่มต้นการकुแดงของผ้า ดังภาพที่ 3.16



**ภาพที่ 3.16** การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน  
ในแนวเฉียง 45 องศา

การทดลองที่ 6 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวเฉียง 45 องศา โดยนำผ้าทดลองที่มีความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 10 ชั้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการทดสอบ ของเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และเวลาเริ่มต้นการคุดแดงของผ้า ดังภาพที่ 3.17



**ภาพที่ 3.17** การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน  
ที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวเฉียง 45 องศา

การทดลองที่ 7 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวเฉียง 45 องศา โดยนำผ้าทดลองที่มีความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 10 ชั้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการ

ทดสอบ ของเวลาเริ่มต้นการลุกไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และ เวลาเริ่มต้นการคุแดงของผ้า ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน ที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวเฉียง 45 องศา

การทดลองที่ 8 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวเฉียง 45 องศา โดยนำผ้าทดลองที่มีความเข้มข้นของ สารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 10 ชิ้น และทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ นำมาวางบนแท่นวางทดสอบ ภายในตู้ทดสอบ จากนั้นนำเปลวไฟไปจ่อที่ผ้าทดสอบเป็นเวลา 1 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก และทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดู ผลการทดสอบ ของเวลา เริ่มต้นการลุกไหม้ เวลาสิ้นสุดการลุกไหม้ เวลาเริ่มต้นการหลอมละลายของผ้า และ เวลาเริ่มต้นการ คุแดงของผ้า ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลองความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน ที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวเฉียง 45 องศา

### 3.2.10 การทดสอบการหน่วงไฟและการป้องกันลุกลามของผ้าไหมหลังการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์ (ดัดแปลงจาก ศันสนีย์ เหลืองสุวรรณ, 2544)

#### 1) การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าไหมหลังตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน

การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าไหม ด้วยตัวทดสอบสิ่งทอการลุกลามไหม้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยทำการทดสอบการลุกลามไหม้ของผ้าตามวิธีมาตรฐาน FTMS 191 Method 5903 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบการลุกลามไหม้ของผืนผ้าในแนวเฉียงหรือมุม 45 องศา และทดสอบการลุกลามไหม้ของผืนผ้าในแนวตั้งหรือมุม 90 องศา ซึ่งการทดสอบการลุกลามไหม้จะแบ่งตามการวางมุมของผ้าทดลองเป็น 8 การทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวเฉียง โดยนำผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับและนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 45 องศา ดังภาพที่ 3.6 (ก) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกลามไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุ้แดง และระยะเวลาการลุกลามไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 2 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวเฉียง โดยนำผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับและนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 45 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ก) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกลามไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุ้แดง และระยะเวลาการลุกลามไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 3 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวเฉียง โดยนำผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับและนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 45 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ก) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกลามไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุ้แดง และระยะเวลาการลุกลามไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 4 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวเฉียง โดยนำผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับและนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 45 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ก) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกลามไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุ้แดง และระยะเวลาการลุกลามไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 5 การทดสอบการลุกลามไหม้ในแนวตั้ง โดยนำผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่ง ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับและนำไปวางในตู้ทดสอบลักษณะทำมุม 90 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ข) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลว

ไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกไหม้ ระยะเวลา หลอมละลาย ระยะเวลาคุแดง และระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 6 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวตั้ง โดยนำผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับ และนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 90 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ข) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุแดงและระยะเวลาการ ลุกไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 7 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวตั้ง โดยนำผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับ และนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 90 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ข) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุแดงและระยะเวลาการ ลุกไหม้ทั้งหมด

การทดลองที่ 8 การทดสอบการลุกไหม้ในแนวตั้ง โดยนำผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิโคนที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางบนแท่นยึดจับ และนำไปวางในตู้ทดสอบ ลักษณะทำมุม 90 องศา ดังภาพที่ 3.20 (ข) จากนั้นนำเปลวไฟเข้าไปจ่อกับปลายผ้าทดลองนาน 5 วินาที แล้วนำเปลวไฟออก ทำการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อดูผลการทดสอบของเวลาเริ่มต้นลุกไหม้ ระยะเวลาหลอมละลาย ระยะเวลาคุแดง และระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.20 การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าทดลอง (ก) ในแนวเฉียงหรือมุม 45 องศา (ข) ในแนวตั้งหรือมุม 90 องศา

## 2) การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมหลังตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ (ดัดแปลงจาก ณัฐวุฒิ เนียมจันทร์, 2553)

การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหม โดยนำผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ไปวัดค่า UV Protection (%) ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ดังภาพที่ 3.21 ตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC Test Method 183-2004



ภาพที่ 3.21 เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer สำหรับใช้วิเคราะห์หาค่า UV Protection (%)

### 3.2.11 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติการทอของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ได้แก่ เวลาเริ่มต้นการลุกลไหม เวลาสิ้นสุดการลุกลไหม เวลาเริ่มต้นการหลอมละลาย และเวลาเริ่มต้นการคูดง ในการทดลองที่ 1 ถึง การทดลองที่ 8 วิเคราะห์ค่าความแตกต่างที่ได้จากการทดลอง วิเคราะห์ผลประสิทธิภาพของสารนาโนซิลิคอนด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS โดยใช้หลักการวิเคราะห์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อนำผลที่ได้มาสรุปผลของการศึกษาประสิทธิภาพของผ้าไหม และนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งและผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าความแตกต่าง (T-test) เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติมาสรุปผลประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมหลังผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์