

Flame retardation added on silk with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate

^{1*}Jindaphorn Suebkumpet and ²Munee Chantarank

¹Department of Physics, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

²Department of Electrical Technology, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University

*Corresponding author : jindaphorn.sk@bru.ac.th

Received
11/07/2023

Reviewed
08/12/2023

Revised
28/12/2023

Accepted
29/12/2023

Abstract

This research was to find the appropriate proportions of flame retardation silk with Polydimethylsiloxane (PDMS) and Diammonium Phosphate (DAP), and examine washing durability by measuring contact angle between water drop and silk surface, flame retardation, and to analyze the surface by Scanning electron microscope. Coating materials for silk cloth Polydimethylsiloxane : Diammonium Phosphate : Deionized water were combined into three different proportions, that is, 10 : 2 : 88, 10 : 6 : 84, and 10 : 10 : 80 by mass respectively. For the analysis of the surface condition of the silk cloth after coated with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate, before and after the 5th, 10th, 20th and 30th washing with magnifying power at 50, 500, 5000, and 10,000 times, it showed that the surface of silk cloth was rough before washing, and less rough when washed 5, 10, and 20 times. However, the 30th washing it was found that there was still coated material on silk cloth with smooth, not rough texture. For standard test of NFPA 701-1 of 10 samples of silk PD1010, it was found that the average of lost weight was 2.63 % and the average time of burning at liquid dropping was 0 second per piece. As for durability to washing of silk, the findings showed that the contact angles on average between water drop and silk surface before and after the 5th, 10th, 20th, and 30th washing were 138.45, 122.87, 122.73, 122.07, and 118.63 respectively. At the 30th washing, the contact angle was between 90 and 120 degree.

Keyword : Silk; Polydimethylsiloxane; Diammonium Phosphate; Flame retardant

การเพิ่มคุณสมบัติหน่วงการลามไฟบนผ้าไหม โดยใช้พอลิไดเมทิลซิลลอกเซน และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต

^{1*}จินดาพร สืบข้าเพชร และ ²มูณี จันทะรัง

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

²สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

*ผู้นิพนธ์หลัก : jindaphorn.sk@bru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้สารพอลิไดเมทิลซิลลอกเซน (PDMS) และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) เคลือบผ้าไหมผ้าไหมเพื่อเพิ่มสมบัติหน่วงการลามไฟ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 อัตราส่วนโดยมวล คือ พอลิไดเมทิลซิลลอกเซน : ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต : น้ำปราศจากไอออน 10 : 2 : 88, 10 : 6 : 84 และ 10 : 10 : 80 ซึ่งพบว่า อัตราส่วน 10 : 10 : 80 มีคุณสมบัติในการต้านการลามไฟดีที่สุดจาก 3 อัตราส่วนดังกล่าว จึงนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติอื่น ๆ จากการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวผ้าไหมหลังเคลือบสารพอลิไดเมทิลซิลลอกเซนและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ก่อนซัก และหลังซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ ที่กำลังขยาย 50, 500, 5000 และ 10,000 เท่า พบว่า สภาพพื้นผิวของผ้าไหมก่อนซักมีลักษณะขรุขระ เมื่อผ้าไหมผ่านการซัก 5, 10, และ 20 รอบ มีสภาพพื้นผิวที่ขรุขระน้อยลง และเมื่อทำการซัก 30 รอบ สภาพพื้นผิวของผ้าไหมนั้นยังคงแสดงลักษณะของชั้นเคลือบอยู่แต่จะมีผิวที่เรียบ ผลการทดสอบมาตรฐาน NFPA 701-1 ของผ้าไหม จำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของมวลที่หายไปเท่ากับ 2.63 % มีเวลาเฉลี่ยของการลุกไหม้ที่ของเหลวเริ่มหยดเท่ากับ 0 วินาทีต่อชิ้นงาน ผลการทดสอบความคงทนต่อการซักพบว่าค่ามอดุลสัมประสิทธิ์ของหยดน้ำบนผ้าไหม ก่อนซัก และหลังซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ เท่ากับ 138.45, 122.87, 122.73, 122.07 และ 118.63 องศา ตามลำดับ ในตัวอย่างที่มีจำนวนการซัก 30 รอบ มีค่ามอดุลสัมประสิทธิ์อยู่ระหว่าง 90 ถึง 120 องศา และในตัวอย่างก่อนซัก และหลังซัก 5, 10 และ 20 ครั้ง มีค่ามอดุลสัมประสิทธิ์มากกว่า 120 องศา เรียกว่า พื้นผิวไม่ชอบน้ำอย่างยิ่ง ซึ่งเมื่อมอดุลสัมประสิทธิ์น้อยลง จะทำให้ประสิทธิภาพของการหน่วงไฟลดลงตามไปด้วย

คำสำคัญ : ผ้าไหม; พอลิไดเมทิลซิลลอกเซน; ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต; สารหน่วงไฟ

บทนำ

สารหน่วงไฟ เป็นสารเคมีที่ใส่ลงในวัสดุระหว่างหรือหลังกระบวนการผลิต เพื่อลดหรือหน่วงกระบวนการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์ในช่วงต่าง ๆ เช่น ช่วงที่มีความร้อนเพิ่มขึ้น ช่วงวัสดุเกิดการสลายตัว และช่วงการจุดติดของประกายไฟ หรือป้องกันไม่ให้เกิดไฟลุกลามการขยายตัวเป็นวงกว้าง เพื่อให้เราสามารถหนีออกจากบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ได้ทันเวลา ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาจึงพบว่ามีจำนวนผู้เสียชีวิตเนื่องจากเพลิงไหม้ลดลงทั่วโลก ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการใช้สารหน่วงการติดไฟในวัสดุ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เพอร์นิเจอร์ วัสดุก่อสร้างและเสื้อผ้า เช่น สหรัฐอเมริกา หรือญี่ปุ่น มีกฎหมายกำหนดให้เสื้อผ้า เช่น ชุดนอนเด็ก ผ้าผ่าน พรหม ที่นอน ต้องผ่านการตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ (Flame retardant finishes)

ผ้าไหมถือเป็นสินค้าในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ เนื่องจากเป็นสินค้าในชุมชนที่มีมูลค่าสูงและมีการผลิตอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีการผลิตอยู่ทั่วทุกพื้นที่ เช่น จังหวัดบุรีรัมย์ นครราชสีมา สุรินทร์ ขอนแก่น ฯลฯ ซึ่งถือเป็นรายได้ที่ดีแก่ชุมชน โดยเฉพาะเป็นรายได้เสริมแก่กลุ่มเกษตรกร ผ้าไหมสามารถนำมาทำเป็นวัสดุตกแต่งภายใน เพอร์นิเจอร์ กระเป๋า และอื่น ๆ ซึ่งตลาดผ้าไหมในรูปแบบผลิตภัณฑ์นั้น ยังขาดความน่าสนใจ ทำให้กลุ่มแม่บ้านผู้ผลิตผ้าไหม มักจะขายสินค้าได้ในรูปแบบของผ้าผืน การตกแต่งสำเร็จด้านการลามาไฟ จึงเป็นอีกทางเลือกที่ทำให้ผลิตภัณฑ์จากผ้าไหมมีความน่าสนใจ และอาจจะทำให้สามารถขายผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ที่ผ่านมา Boonthamsong Korrabin (2012) ได้มีการค้นคว้าเกี่ยวกับการต้านทานการลามาไฟในผ้าฝ้าย และมีการใช้สารเคมีต่าง ๆ เพื่อนำมาตกแต่งสำเร็จในผ้าฝ้าย Lertkajornsook Panittha (2010) ได้ศึกษาการตกแต่งหน่วงไฟและด้านการลอมหดยผ้าพอลิเอสเตอร์โดยใช้ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เบนโทไนต์และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ Sansuksom Pakkarada (2018) และ P. Zhu, S. Sui, B. Wang, K. Sung and G. Sun (2004) ได้ศึกษาการหน่วงไฟของเนื้อผ้าคอตตอน Boonyayut Rachata, Sangsirimongkolying Rassamee and Sakong Phornkamol (2019) ได้การศึกษการเพิ่มสมบัติหน่วงไฟผ้าฝ้ายย้อมครามธรรมชาติ รวมไปถึง Wongjaikam Wijitra and Wongsawang Doonyapong (2016) ได้สร้างพลาสมาแคมเบอร์โดยใช้คลื่นวิทยุในการเหนี่ยวนำให้เกิดอาร์กอนพลาสมาเพื่อเคลือบสารหน่วงไฟบนผ้าไหมไทย ดังนั้น หากสามารถนำมาตกแต่งสำเร็จในผ้าไหม โดยใช้สารเคมีอย่างง่ายและปลอดภัย น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน

งานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาการเตรียมผ้าไหมที่มีสมบัติหน่วงการลามาไฟ โดยใช้สารหน่วงไฟ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate, DAP) และพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane, PDMS) ซึ่งมีราคาถูก หาซื้อง่าย คนในชุมชนสามารถเข้าถึงได้ อัตราส่วนในการผสมและขั้นตอนการทำไม่ยุ่งยาก เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในตลาดไหม และพัฒนาต่อไปในอนาคตได้

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารพอลิไดเมทิลซิลอกเซน สารไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และน้ำปราศจากไอออน

เป็นขั้นตอนการหาอัตราส่วนของสารต่าง ๆ โดยคำนึงถึงความง่ายของเกษตรกรผู้ที่จะนำไปใช้จริง โดยอัตราส่วนนี้จะถูกนำไปหาความต้านทานการลามไฟ เพื่อเลือกอัตราส่วนที่สามารถต้านทานการลามไฟได้มากที่สุด ในการนำไปทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ

Table 1 Mixing ratio for 100 g

Code number	สาร PDMS (g)	สาร DAP (g)	น้ำ DI (g)
PD102	10	2	88
PD106	10	6	84
PD1010	10	10	80

2. วิธีการผสมสารและเคลือบผ้าไหม

2.1 ขั้นตอนเตรียมสารและเตรียมผ้าไหม

2.1.1 ทอผ้าไหมด้วยวิธีทอมือ ใช้สีธรรมชาติ นำมาซักด้วยน้ำยาซักผ้าไหม จากนั้นตากให้แห้ง

2.1.2 นำผ้าไหมมาตัดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อการทดสอบ

2.1.3 ชั่งสารพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) และน้ำปราศจากไอออน (DI) แล้วนำมาผสมกัน

2.2 ขั้นตอนการเคลือบผ้าไหม

2.2.1 นำผ้าไหมลงไปเคลือบในสารที่ผสมเรียบร้อยแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.2.2 ตากผ้าไหมให้แห้ง

2.2.3 นำผ้าไหมไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส $\pm$ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.3 ขั้นตอนเตรียมขึ้นทดสอบ

2.3.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐาน NFPA701-1 ตามมาตรฐานของ Department of Public Works and Town & Country Planning (2019)

เตรียมผ้าตัวอย่าง ขนาด 40 x 15 เซนติเมตร จำนวนตัว 10 ชิ้น นำชิ้นตัวอย่างไปติดตั้งกับ pin bar สำหรับแขวน ถ่วงน้ำหนักด้วยคลิบน้ำหนัก 3 กรัม ($\pm$ 0.2 กรัม) โดยมุมจับของคลิปอยู่เหนือจากปลายขึ้นทดสอบ 5 มิลลิเมตร ($\pm$ 1 มิลลิเมตร) จุดไฟ จับเวลา 45 $\pm$ 1 วินาที (flame time) และดับไฟ หากชิ้นตัวอย่างมีการหยด บันทึกระยะเวลาตั้งแต่หยดที่ติดไฟจนหยดนั้นดับ หลัง 45 วินาที หากชิ้นตัวอย่างมีการลุกไหม้ต่อให้จับเวลา (after flame time) จนกว่าไฟจะดับ หลังจากบันทึกผลการทดสอบ

ครบทั้ง 10 ตัวอย่าง นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนัที่หายไป ซึ่งน้ำหนัที่หายไปต้องไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์จึงจะผ่านมาตรฐาน NFPA 701-1 โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนัที่หายไป} = \frac{\text{น้ำหนัก่อนทดสอบ} - \text{น้ำหนัหลังทดสอบ}}{\text{น้ำหนัก่อนทดสอบ}} \times 100\%$$

2.3.2 การทดสอบความคงทนต่อการซักด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส

ก่อนการทดสอบผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบเคลือบสารพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) และสารหน่วงไฟไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) สูตร PD1010 นำผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำผ้าไหมไปซักใช้เวลาการปั่นผ้าที่ความเร็วรอบการหมุน 740 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 3 นาทีต่อ 1 รอบ นำมาตากให้แห้ง นับเป็นการซัก 1 รอบ ทดสอบการซักทั้งหมด 30 รอบ แล้วนำมาวัดค่ามุมสัมผัสตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการซัก และตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ ตัดผ้าไหมแต่ละตัวอย่างให้มีขนาด 1×1 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 ชิ้น แล้วจึงทดสอบโดยนำหลอดฉีดของเหลว ดูดน้ำกลั่นปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร หยดของเหลวออกจากหลอดฉีด ปริมาณประมาณ 0.005 มิลลิลิตร ลงบนตัวอย่างผ้าไหม วัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา ($^{\circ}$) สุ่มวัดมุมสัมผัสจำนวน 3 ตำแหน่งบนผ้าไหม แล้วหาค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัส โดยทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยค่ามุมสัมผัสอยู่ระหว่าง 90 ถึง 120 องศา ของเหลวจะเป็นหยดและไม่เปียกพื้นผิว เรียกว่าพื้นผิวไม่ชอบน้ำ และหากมีค่ามุมสัมผัสมากกว่า 120 องศาขึ้นไป เรียกว่า พื้นผิวไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ดังนั้น เมื่อมุมสัมผสน้อยลงจะทำให้ประสิทธิภาพของการหน่วงไฟลดลงตามไปด้วย

2.3.3 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การเตรียมผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบเรียบร้อยแล้วไปซัก ใช้เวลาการปั่นผ้าที่ความเร็วรอบการหมุน 740 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 3 นาทีต่อ 1 รอบ นำมาตากให้แห้ง นับเป็นการซัก 1 รอบ ทดสอบการซักทั้งหมด 30 รอบ แล้วนำมาวิเคราะห์สภาพพื้นผิวตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการซักและตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ

ทำการทดสอบผ้าไหมทั้ง 5 ตัวอย่าง โดยตัดผ้าไหมแต่ละตัวอย่างให้มีขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร นำตัวอย่างผ้าไหมที่ตัดแล้วไปเคลือบด้วยทองคำ วิเคราะห์สภาพพื้นผิวผ้าไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย $\times 50$ เท่า, $\times 500$ เท่า, $\times 5,000$ เท่า และ $\times 10,000$ เท่า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

1.1 การทดสอบการลามไฟ เพื่อหาสูตรสารเคลือบผ้าไหมที่ต้านการลามไฟได้สูงสุด ณ ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติอื่น ๆ ต่อไป

Table 2 Flame retardant behavior of silk after coating PD102, PD106 and PD1010 By testing according to standards NFPA 701-1 which is used to test the ability to resist flame spread in textiles.

ตัวอย่าง	หลังเผา	รายละเอียด
PD102		ผ้าไหมสูตร PD102 หลังจากทดสอบการลามไฟทำให้มีรอยไหม้เกิดขึ้น พบว่ามวลที่หายไปเฉลี่ยเท่ากับ 10.87 %
PD106		ผ้าไหมสูตร PD106 หลังจากทดสอบการลามไฟทำให้มีรอยไหม้เกิดขึ้น พบว่ามวลที่หายไปเฉลี่ยเท่ากับ 10.57 %
PD1010		ผ้าไหมสูตร PD1010 หลังจากทดสอบการลามไฟทำให้มีรอยไหม้เกิดขึ้น พบว่ามวลที่หายไปเฉลี่ยเท่ากับ 7.90 %

Table 3 Results of fire retardant test after coating PD102, PD106 and PD1010

สูตร/ชิ้นงานตัวอย่าง		มวลก่อนทดสอบ (g)	มวลหลังทดสอบ (g)	มวลที่หายไป (%)
PD102	1	12.00	10.00	16.67
	2	13.00	12.00	7.69
	3	12.00	11.00	8.33
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)		12.33	11.00	10.78
PD106	1	13.00	11.00	15.38
	2	12.00	11.00	8.33
	3	13.00	12.00	7.69
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)		12.67	11.33	10.57
PD1010	1	13.00	12.00	7.69
	2	13.00	12.00	7.69
	3	12.00	11.00	8.33
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)		12.67	11.67	7.90

จากการทดสอบการลามไฟของผ้าไหมหลังเคลือบสูตร PD102, PD106 และ PD1010 จำนวนสูตรละ 3 ตัวอย่าง พบว่าสูตร PD102 ได้ค่ามวลที่หายไปมากที่สุดคือ 16.67 % น้อยที่สุดคือ 7.69 % และค่าเฉลี่ยของมวลที่หายไป คือ 10.78 % สูตร PD106 ได้ค่ามวลที่หายไปมากที่สุดคือ 15.38 % น้อยที่สุดคือ 7.69 % และค่าเฉลี่ยของมวลที่หายไป คือ 10.57 % สูตร PD1010 ได้ค่ามวลที่หายไปมากที่สุดคือ 8.33 % น้อยที่สุดคือ 7.69 % และค่าเฉลี่ยของมวลที่หายไปคือ 7.90 % ซึ่งเป็นสูตรที่ต้านทานการลามไฟได้มากที่สุด เลือกสูตรนี้ในการทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ต่อไป

1.2 การทดสอบมาตรฐาน NFPA 701-1 ในผ้าไหมสูตร PD1010

นำผ้าไหมเคลือบสูตร PD1010 ทดสอบมาตรฐานการลามไฟ NFPA 701-1 ณ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ พระโขนง คลองเตย กรุงเทพฯ โดยผลการทดสอบดังตารางที่ 3

Table 4 Fire retardant test results according to standard NFPA701-1

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	มวลก่อน ทดสอบ (g)	มวลหลัง ทดสอบ (g)	มวลที่หายไป (%)	เวลาการลุกไหม้ ที่ของเหลวเริ่ม หยด (s)	เกณฑ์ที่ผ่าน
1	13.60	12.40	8.82	0	ค่าเฉลี่ยของมวลที่ หายไปน้อยกว่า 40 %
2	13.40	12.70	5.22	0	
3	13.40	13.20	1.49	0	
4	13.30	13.10	1.50	0	
5	13.70	13.50	1.46	0	
6	13.10	13.00	0.76	0	เวลาการลุกไหม้ที่ ของเหลวเริ่มหยด น้อยกว่า 2 วินาที/ ชิ้นงาน
7	12.90	12.90	0.00	0	
8	13.30	13.30	0.00	0	
9	12.80	11.90	7.03	0	
10	12.90	12.90	0.00	0	
ค่าเฉลี่ย	13.20	12.90	2.63	0	

จากการทดสอบการลามไฟมาตรฐาน NFPA701-1 ในผ้าไหมที่เคลือบสูตร PD1010 จำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่ามวลก่อนทดสอบมากที่สุดคือ 13.70 กรัม ในตัวอย่างที่ 5 น้อยที่สุดคือ 12.90 กรัม ในตัวอย่างที่ 7 และตัวอย่างที่ 10 มวลหลังทดสอบมากที่สุดคือ 13.50 กรัม ในตัวอย่างที่ 5 น้อยที่สุดคือ 11.90 กรัม ในตัวอย่างที่ 9 และมวลที่หายไปมากที่สุดคือ 8.82 % ในตัวอย่างที่ 1 น้อยที่สุดคือ 0.00 % ในตัวอย่างที่ 7 , 8 และตัวอย่างที่ 10 และค่าเฉลี่ยของมวลที่หายไปทั้ง 10 ตัวอย่าง คือ 2.63 % มีเวลาเฉลี่ยของการลุกไหม้ที่ของเหลวเริ่มหยดทั้ง 10 ตัวอย่างเท่ากับ 0 วินาที ซึ่งหมายถึงเมื่อเผาแล้ว มีการหยดของของเหลวทันที

2. ผลการทดสอบความคงทนต่อการซักด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Analyzer: OCA20)

เมื่อนำผ้าไหมที่เคลือบด้วยสูตร PD1010 ทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ เพื่อทดสอบความคงทนของสารที่ใช้เคลือบต้านทานการลามไฟจากการซัก โดยการนำตัวอย่างมาตัดเป็นขนาด 1x1 เซนติเมตร ติดกับสไลด์ แล้วนำไปทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact Angle Analyzer ; OCA20) ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ด้วยการหยดน้ำลงไปบนผืนผ้าไหม แล้วใช้โปรแกรมวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่หยดลงไปบนผืนผ้าไหมแบบก่อนซัก หลังซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ

Table 5 Contact angle of silk PD1010 before and after washing 5, 10, 20 and 30 times

จำนวน การซัก (รอบ)	ค่ามุมสัมผัส (องศา)						ค่าเฉลี่ย (องศา)
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	
0	137.50	137.70	138.00	137.60	139.80	140.10	138.45
5	121.50	121.90	125.90	124.70	121.50	121.70	122.87
10	121.50	121.90	125.90	124.70	120.50	121.90	122.73
20	125.70	126.90	120.40	121.10	118.90	119.40	122.07
30	117.90	118.00	117.60	118.10	119.80	120.40	118.63

ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้าไหมที่เคลือบสูตร PD1010 ก่อนซักมุมสัมผัสมากที่สุดคือ 140.10 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 3 มุมด้านขวา น้อยที่สุดคือ 137.50 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 1 มุมด้านซ้าย และค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย คือ 138.45 องศา หลังซัก 5 รอบ มุมสัมผัสมากที่สุดคือ 125.90 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 2 มุมด้านซ้าย น้อยที่สุดคือ 121.50 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 1 มุมด้านซ้าย และการทดสอบครั้งที่ 3 มุมด้านซ้าย และค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย คือ 122.87 องศา หลังซัก 10 รอบ มุมสัมผัสมากที่สุดคือ 125.90 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 2 มุมด้านซ้าย น้อยที่สุดคือ 120.50 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 3 มุมด้านซ้าย และค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย คือ 122.73 องศา หลังซัก 20 รอบ มุมสัมผัสมากที่สุดคือ 126.90 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 1 มุมด้านขวา น้อยที่สุดคือ 118.90 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 3 มุมด้านซ้าย และค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย คือ 122.07 องศา หลังซัก 30 รอบ มุมสัมผัสมากที่สุดคือ 120.40 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 3 มุมด้านขวา น้อยที่สุดคือ 117.60 องศา ในการทดสอบครั้งที่ 2 มุมด้านซ้าย และค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย คือ 118.63

3. ผลการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

ทำการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวผ้าไหมหลังเคลือบสารพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) และสารหน่วงไฟไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) สูตร PD1010 ก่อนซัก และหลังซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ ที่กำลังขยาย 50 เท่า, 500 เท่า, 5000 เท่า และ 10,000 เท่า ดังแสดงใน figure 1, 2, 3, 4, 5 ตามลำดับ ใน figure 1 พบว่าสภาพพื้นผิวของผ้าไหมก่อนซัก มีลักษณะขรุขระที่เกิดจากสารที่ไม่ชอบน้ำ (PDMS) เมื่อผ้าไหมที่เคลือบสารสูตร PD1010 ผ่านการซัก 5, 10, และ 20 รอบ ทำให้เห็นถึงความขรุขระบนพื้นผิวที่ลดลง ดัง figure 2, 3 และ 4 และเมื่อทำการซัก 30 รอบ สภาพพื้นผิวของผ้าไหมนั้นยังคงแสดงลักษณะของชั้นเคลือบอยู่ มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบและไม่ขรุขระ ดัง figure 5 อย่างไรก็ตาม การซักส่งผลให้สารเคลือบที่อยู่บนผ้าไหมลดลง อาจทำให้ประสิทธิภาพในการหน่วงไฟนั้นลดลงตามไปด้วย

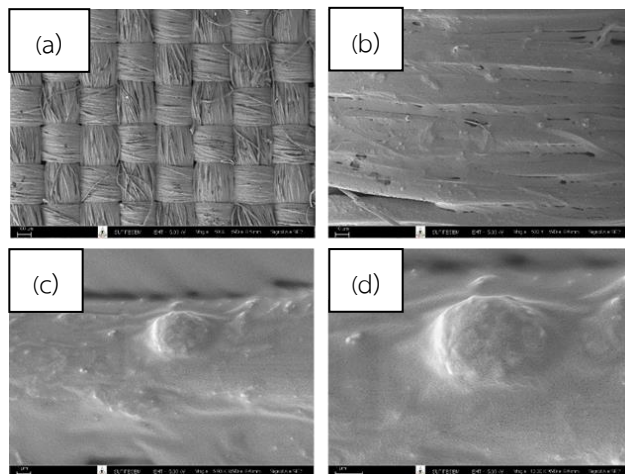


Figure 1 Surface of the silk after coated with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate PD1010 before washing a) 50X b) 500X c) 5,000X and d) 10,000 X

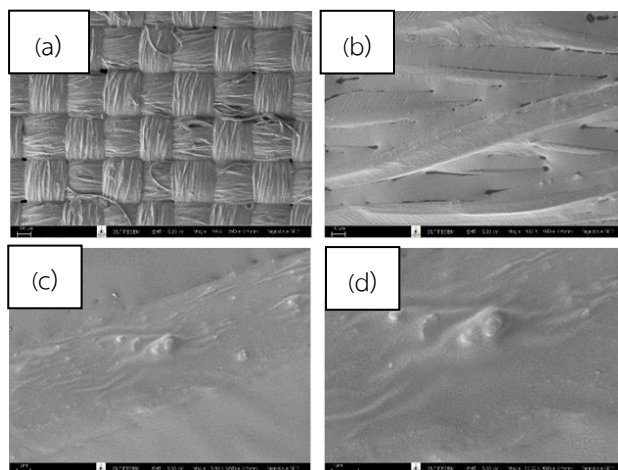


Figure 2 Surface of the silk after coated with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate PD1010 after washing 5 times a) 50X b) 500X c) 5,000X and d) 10,000X

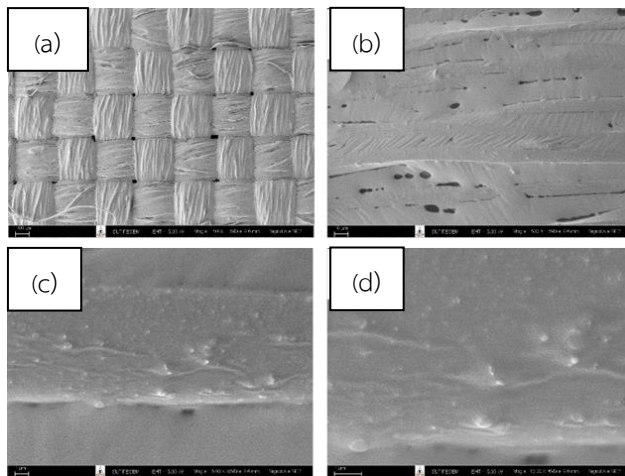


Figure 3 Surface of the silk after coated with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate PD1010 after washing 10 times a)50X b) 500X c) 5,000X and d) 10,000X

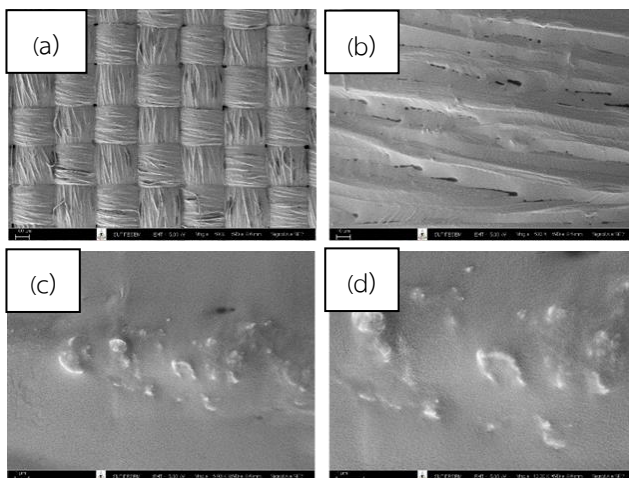


Figure 4 Surface of the silk after coated with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate PD1010 after washing 20 times a) 50X b) 500X c) 5,000X and d) 10,000X

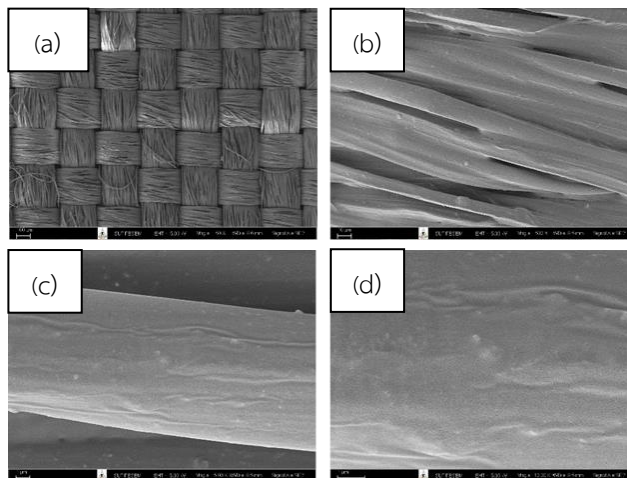


Figure 5 Surface of the silk after coated with Polydimethylsiloxane and Diammonium Phosphate PD1010 after washing 30 times a) 50X b) 500X c) 5,000X and d) 10,000X

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มคุณสมบัติท่วงการลามไฟบนผ้าไหม เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยใช้สารพอลิไดเมทิลซิลอกเซนและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยนำผ้าไหมเคลือบแบบวิธีจุ่ม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสามารถวิเคราะห์งานวิจัยได้ดังนี้

ผลการทดสอบการลามไฟบนผ้าไหมที่เคลือบสารพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) ทั้ง 3 สูตร ได้แก่ สูตร PD102, PD106 และ PD1010 เพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด พบว่าร้อยละของค่าเฉลี่ยมวลที่หายไปได้เท่ากับ 10.78 %, 10.57 % และ 5.29 % ตามลำดับ ในทั้ง 3 สูตร มวลที่หายไปน้อยกว่า 40 % แสดงว่าทั้งสามสูตรนี้ผ่านมาตรฐาน โดยผ้าไหมที่เคลือบสูตร PD1010 เป็นสูตรที่ต้านการลามไฟได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยมวลที่หายไปน้อยกว่าสูตรอื่น

ผลการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวผ้าไหมหลังจากเคลือบการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวผ้าไหมหลังเคลือบสารพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) สูตร PD1010 ก่อนซัก และหลังซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ ที่กำลังขยาย 50, 500, 5000 และ 10,000 เท่า แสดงถึงสภาพพื้นผิวของผ้าไหมก่อนซัก มีลักษณะขรุขระที่เกิดจากสารที่ไม่ชอบน้ำ เมื่อผ้าไหมที่เคลือบสารสูตร PD1010 ผ่านการซัก 5, 10, และ 20 รอบ มีสภาพพื้นผิวที่ขรุขระน้อยลง และเมื่อทำการซัก 30 รอบ สภาพพื้นผิวของผ้าไหมนั้น ยังคงแสดงลักษณะของชั้นเคลือบอยู่ แต่มีผิวที่เรียบและไม่ขรุขระ สรุปได้ว่าการซักจำนวนที่มากขึ้นเรื่อย ๆ อาจส่งผลให้สารเคลือบที่อยู่บนผ้าไหมลดลง และทำให้ประสิทธิภาพในการท่วงไฟนั้นลดลงไปด้วย

ผลการทดสอบมาตรฐาน NFPA 701-1 ของผ้าไหมสูตร PD1010 จำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปเท่ากับ 2.63 % และมีเวลาเฉลี่ยของการลุกไหม้ที่ของเหลวเริ่มหยดเท่ากับ 0 วินาที มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปน้อยกว่า 40 % และมีเวลาเฉลี่ยของการลุกไหม้ที่ของเหลวเริ่มหยดน้อยกว่า 2 วินาทีต่อชิ้นงาน แสดงว่า สูตร PD1010 นั้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมีผลการทดสอบที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของกรพินธุ์ บุญธรรมสง (2555) ที่เตรียมผ้าฝ้ายที่มีสารหน่วงติดไฟสูตร PDS152 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปเท่ากับ 55.64 %

ผลการทดสอบความคงทนต่อการซักของผ้าไหมสูตร PD1010 ด้วยเครื่องวัดมัมส์สัมผัส พบว่าค่ามัมส์สัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำบนผ้าไหมก่อนซัก หลังซัก 5, 10, 20 และ 30 รอบ เท่ากับ 138.45, 122.87, 122.73, 122.07 และ 118.63 องศา ตามลำดับ สรุปได้ว่าในตัวอย่างที่มีจำนวนการซัก 30 รอบ ที่มีค่ามัมส์สัมผัสอยู่ในระหว่าง 90 ถึง 120 องศา ของเหลวจะเป็นหยดและไม่เปียกพื้นผิว เรียกว่า พื้นผิวไม่ชอบน้ำ และในตัวอย่างก่อนซัก และหลังซัก 5, 10 และ 20 รอบ มีค่ามัมส์สัมผัสมากกว่า 120 องศา ขึ้นไป เรียกว่า พื้นผิวไม่ชอบน้ำอย่างยิ่ง ดังนั้นเมื่อมัมส์สัมผัสน้อยลง จะทำให้ประสิทธิภาพของการหน่วงไฟลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonthamsong Korrapin (2012) ที่เตรียมผ้าฝ้ายที่มีสารหน่วงติดไฟ มีค่ามัมส์สัมผัสเฉลี่ยของสูตร PDS152 ก่อนและหลังซัก 20 รอบ เท่ากับ 127.27 องศา และ 121.80 องศา ตามลำดับ

References

- Boonthamsong Korrapin. (2012). Preparation of cotton fabric with flame retardant properties. (1st ed.). King Mongkut's University Of Technology North Bangkok.
- Boonyayut Rachata, Sangsirimongkolying Rassamee and Sakong Phornkamol (2019). The Study of Adding Fire Retardant Property in Natural Indigo Dye Fabric for Indigo Dyeing Community Enterprise. EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology. 13(3). 132-142.
- Department of Public Works and Town & Country Planning. (2019). Criteria for evaluating and verifying Fire safety of decorative materials used inside buildings. (1st ed.). Department of Public Works and Town & Country Planning.
- Lertkajornsook Panittha. (2010). Flame retardant and antidripping of polyester fabric using diammonium hydrogen phosphate, bentonite and aluminium hydroxide. [Master's thesis, Chulalongkorn University]. Thailis.
https://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php
- P. Zhu, S. Sui, B. Wang, K. Sung and G. Sun. (2004). A study of pyrolysis and pyrolysis product of flame-retardant cotton fabric by DSC, TGA and PY-GC-MS. J. Anal. Appl. Pyrolysis, Vol. 71, pp. 645-655.
- Sansuksom Pakkarada. (2018). A Study on Thermal Resistance Efficiency and Flame Retardancy Performance of Cotton Fabric Coated by Synthesis Silica and Silica Derived from Rice Husk Ash. APHETI JOURNALS. 7(2). 71-81.
- Wongjaikam Wijitra and Wongsawang Doonyapong. (2016). Improvement of Flame Retardancy of Thai Silk Fabric by Environmentally-Friendly Plasma Treatment Process. Kasetsart Engineering Journal. 29(97). 37-50.