

Received: December 7, 2022; Revised: February 14, 2023; Accepted: March 21, 2023

ไหมเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ Silk coated zinc oxide pillared montmorillonite dyeing with natural dyes from riceberry leaves

สุรณี เสนคราม^{1*} สุดาพร ตั้งควนิช¹ และปรีชา มุลสิน¹Surapee Senkram^{1*}, Sudaporn Tangkawanit¹ and Preecha Moonsin¹¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี¹Faculty of Science Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani Province

*Corresponding Author E-mail Address: surapee.sg61@ubru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เตรียมซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) ด้วยวิธีเอ็บซุ่มและปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล โดยทำการเอ็บซุ่มแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ด้วยสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 9%, 11%, 13% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร นำเส้นไหมมาเคลือบ ZnO-MMT ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT มาย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 80°C เติมน้ำช่วยติดสี ได้แก่ คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เพอร์รัสซัลเฟต โพแทสเซียมอะลัม และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ วิเคราะห์ค่าความเข้มสีของเส้นไหม ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี (Ultraviolet Protection Factor: UPF) ความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้าง ผลการวิจัยพบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบ ZnO-MMT มีผิวหน้าที่เรียบ ส่วนเส้นไหมที่เคลือบจะปรากฏอนุภาคนาโน ZnO-MMT ที่ผิวหน้า ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้เส้นไหมดูดซับโมเลกุลสีย้อมได้มากขึ้น ความคงทนของสีต่อแสงของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบด้วย ZnO-MMT เฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดีถึงดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้าง ครั้งที่ 10 อยู่ในระดับ 4 (ดี) เมื่อนำเส้นไหมไปทดสอบ UPF โดยปกติผ้าที่มี UPF สูงจะเป็นการบอกว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันยูวีได้ดีกว่าผ้าที่มีค่า UPF ต่ำ และเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม โดยมีค่า UPF เท่ากับ 44.86

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ เส้นไหม สารช่วยติดสี ใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

Abstract

In this study, zinc oxide pillared montmorillonite (ZnO-MMT) was prepared by impregnation method and hydrothermal reaction. The montmorillonite (MMT) clay was with $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution at 9%, 11%, 13% and 15% concentrations. It was then hydrothermal in ammonium hydroxide (NH_4OH) solution at 85°C for 24 hr to obtain zinc oxide pillared montmorillonite (ZnO-MMT). Silk was coated with zinc oxide pillared montmorillonite (ZnO-MMT) at various concentration. The physical properties of the coated silk was characterized by using scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectrophotometer (FT-IR). The coated silk was dyed with natural dyes from riceberry leaves at 80°C , for 30 minutes and also mordanted with copper (II) sulphate, ferrous sulfate, potassium alum and calcium hydroxide. The color strength, color fastness, UV protection. The results showed that uncoated silk had a smooth surface, while the coated silk appeared zinc oxide pillared montmorillonite nanoparticles on the silk surface. This increases the surface area of silk fibers to absorb more dye molecules. Light fastness of uncoated silk and silk coated with ZnO-MMT at various concentrations average in level of 4-5 (good to very good) and washing fastness of 10 washed cycle was in level 4 (good). Ultraviolet Protection Factor is a scale to measure how much UV radiation passes through fabric to skin. A high UPF has better UV protection than a low UPF. Silk coated with 9ZnO-MMT had the highest UV protection capability with a UPF value of 44.86.

Keywords: Zinc Oxide Pillared Montmorillonite, Silk, Mordant, Riceberry leaves

บทนำ

ปัจจุบันการนำนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะเป็นวิธีการที่จะช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความสามารถในการป้องกันรังสียูวี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มนวัตกรรมและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ วัสดุนาโนที่นิยมนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ นาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร มีสมบัติป้องกันได้ทั้ง รังสียูวี เอ ยูวีบี และไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศศิธร และสุดาพร (2555) ที่ได้พัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ย้อมด้วยสีธรรมชาติแบบผงจากใบสาบเสือ พบว่า เส้นไหมที่เคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกและสารพอลิเอเทอร์ฟอสเฟตมีความคงทนของสีต่อแสงในระดับดีเมื่อเติมสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกและสารพอลิเอเทอร์ฟอสเฟตมีความคงทนของสีต่อการซัก อยู่ในระดับดีเมื่อเติมจุนสีเป็นสารช่วยติดสี สอดคล้องกับ สุตกมล และรุ่งภา (2559) ได้พัฒนาผ้าให้มีคุณสมบัติเพิ่มความเข้มสี ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้างด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยใช้เคมีสีเขียวและผ้าฝ้ายที่ไม่มีการดัดแปร พบว่า ผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ค่าความเข้มสี (K/S) 3.021 ความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 4 (ดี) ความคงทนต่อการซักล้างจำนวน 1-5 ครั้ง อยู่ในระดับ 4 (ดี) ซึ่งสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่มีการดัดแปร สอดคล้องกับงานวิจัยของ EL-Hady (2013) ได้ศึกษาผลของสารกรดคาร์บอกซิลิก 2 ชนิด คือ Succinic Acid (SA) และ 1,2,3,4-Butane Tetracarboxylic Acids (BTCA) ร่วมกับ Sodium Hypophosphite (SHP) ในฐานะตัวเร่งปฏิกิริยาและนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารหน่วงไฟสำหรับผ้าฝ้าย/โพลีเอสเตอร์ การวิเคราะห์การป้องกันรังสียูวี พบว่า ผ้าฝ้าย/โพลีเอสเตอร์ ที่บำบัดด้วย 0.5% (w/v) ZnO, 6% BT, 6% SHP เท่ากับ 50+

(ดีเยี่ยม) นอกจากนี้ยังมีการนำนาโนซิงค์ออกไซด์มาคอมโพสิตกับแร่ดินเหนียว เช่น มอนต์มอริลโลไนต์ เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับเส้นไหม เพราะเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีประจุลบอยู่ในโครงสร้างและมีราคาถูกจึงทำให้สามารถดูดซับสีย้อมที่มีประจุบวกได้ดี มีประจุในโครงสร้างมากพอที่จะสามารถแลกเปลี่ยนไอออนและสามารถขยายตัวได้มาก Francisco (2001) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือก มอนต์มอริลโลไนต์มาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นไหมและความคงทนของสีธรรมชาติ โดยนำซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) มาเคลือบบนเส้นไหม เนื่องจากเป็นอนุภาคนาโน และมีการกระจายตัวจับกับเส้นไหม สามารถไปเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงผิวของเส้นไหมของผ้าไหม อนุภาคเหล่านี้จะไปสร้างพันธะทางเคมีใหม่กับโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเส้นไหมผ้าไหม หรืออาจเข้าไปแทรกอยู่ในระหว่างโครงสร้างโมเลกุลของเส้นไหมผ้าไหม จากนั้นนำมาย้อมด้วยสีธรรมชาติจากใบข้าว ซึ่งข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจลำดับต้น ๆ ของไทย สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศมากกว่า 200 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2561) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 รูปร่างเมล็ดเรียวยาว สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2552) นอกจากการปรับปรุงพันธุ์ข้าว การสร้างคุณค่าและคุณประโยชน์จากข้าวด้วยวิธีอื่นก็มีความสำคัญ ในฤดูกาลทำนามีใบกล้าข้าวที่เหลือจากการทำนามาก ดังนั้นจึงมีการนำใบข้าวไปใช้ประโยชน์ คือ นำไปย้อมเส้นไหมเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ลักขณา และคณะ, 2553) จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและต้องการนำเสนอกระบวนการเตรียมและการนำซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) มาเคลือบบนเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้สารช่วยติดสี เป็นการพัฒนาต่อยอด ค้นหาวิธีการใหม่ ๆ มาเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเส้นไหมตลอดจนสีธรรมชาติที่นำมาใช้ก็ถือเป็นเรื่องใหม่ เนื่องจากไม่ปรากฏว่าเคยมีการนำใบข้าวมาสกัดเป็นสีย้อม ตลอดจนศึกษาความสามารถในการป้องกันรังสียูวี ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งจะช่วยให้ได้นวัตกรรมเส้นไหมที่สามารถป้องกันรังสียูวี มีความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างเพิ่มขึ้น เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้กับเกษตรกร เป็นแนวทางในการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

เส้นไหมที่ศึกษา ได้แก่ เส้นไหมขนาด 100/120 D เกลียว 150 จากบริษัทจุลไหมไทย จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ วัสดุนาโนที่ใช้ ได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ และซิงค์ออกไซด์ พืชที่ใช้ย้อม ได้แก่ ใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้ส่วนที่เป็นใบ เก็บจากบ้านไพรพัฒนา ตำบลไพรพัฒนา อำเภอกงสุรินทร์ จังหวัดศรีสะเกษ สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite), ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4), สารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต (NaH_2PO_4) สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) โพแทสเซียมอะลัม $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2. วิธีการการดัดแปรโครงสร้างแร่ดินเหนียวมอนต์ มอริลโลไนต์ ด้วยซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ด้วยวิธีการเอ็บซุ่ม (Impregnation)

เตรียมแร่มอนต์มอริลโลไนต์ 5 กรัม กับ ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 9% 11% 13% และ 15% โดยมวลต่อปริมาตร ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ มาผสมกับ MMT โดยค่อย ๆ หยดสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ลงใน MMT จนมีลักษณะเอ็บซุ่ม และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10-15 นาที แล้วทำซ้ำโดยการค่อย ๆ หยดสารละลาย $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ จนหมด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C ทิ้งไว้ 1 คืน ให้แห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียดได้เป็นซิงค์ไอออนมอนต์มอริลโลไนต์ (Zn^{2+} -MMT) (กิตติชัย, 2558)

3. การเตรียม ZnO-MMT ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล และการเตรียมสารละลาย Cross-link agent 1,000 มิลลิลิตร

ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลโดยนำสาร Zn^{2+} -MMT 5 กรัม และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 100 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล โดยทำการรีฟลักซ์ที่ อุณหภูมิ $85^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยบุชเนอร์ โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 นำไปอบที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. การเตรียมสารละลายครอสลิงก์และการเคลือบเส้นไหมด้วยสารละลายครอสลิงก์

เตรียมกรดซัลฟอนิก 6% โดยมวล ในสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 4% โดยมวล โดยชั่งสารโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ชั่งกรดซัลฟอนิก 60 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 940 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเข้ากัน (Karimi et al., 2010)

ตวงสารละลายครอสลิงก์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทลงปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำเส้นไหมแต่ละผืนลงไปจุ่มในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ $85^{\circ}C$ นาน 3 นาที จากนั้นอบที่อุณหภูมิ $180^{\circ}C$ นาน 2 นาที ผึ่งให้แห้ง (Karimi et al., 2010)

5. การเตรียมสารแขวนลอยของอนุภาคอัตราส่วนระหว่าง ZnO-MMT

ชั่ง 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT อย่างละ 3 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนแล้วนำไปแช่ (Sonicate) นาน 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก นำเส้นไหมที่ผ่านการครอสลิงก์ไปจุ่มลงในสารแขวนลอยที่เตรียมไว้ แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ $75^{\circ}C$ นาน 1 ชั่วโมง นำเส้นไหมขึ้นพักแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ นาน 30 นาที นำเส้นไหมไปแช่ (Sonicate) ด้วยน้ำกลั่น นาน 10 นาที เพื่อล้างอนุภาคนาโนที่ไม่เกิดอันตรกิริยาออก (กิตติชัย, 2558)

6. การเตรียมสีย้อม และการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

ชั่งใบข้าว 4 กิโลกรัม ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปต้มในน้ำปริมาตร 10 ลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองจะได้น้ำสีย้อมจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ นำเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไนต์แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแช่ในสารละลายโพแทสเซียมอะลัม เป็นเวลา 30 นาที ตวงน้ำสีย้อมจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำแต่ละปิกเกอร์ลงไปยังอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ $80^{\circ}C$ นำเส้นไหมที่แช่สารละลายโพแทสเซียมอะลัมแล้วลงย้อม เป็นเวลา 30 นาที ครบกำหนดเวลานำปิกเกอร์ลง และปล่อยเส้นไหมให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้วลงแช่ในสารละลายช่วยติดสี ได้แก่ สารละลายโพแทสเซียมอะลัมปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เพนตะไฮเดรต 100 มิลลิลิตร สารละลายแอมโมเนียม เพอร์รัสซัลเฟต (II) เฮกซะไฮเดรต 100 มิลลิลิตร สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที ครบกำหนดเวลา นำเส้นไหมขึ้นบิดพอหมาด กระตุกเส้นไหมเบา ๆ นำไปล้างน้ำ จนน้ำล้างใส ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และนำไปทดสอบต่อไป (ศศิธร และสุตาพร, 2555; สุตาพร, 2562)

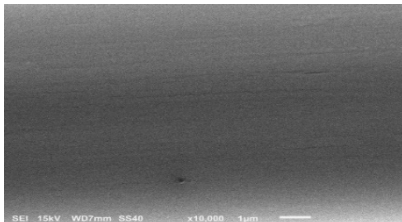
7. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นไหม

นำเส้นไหมที่ผ่านการเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไนต์ ไปทดสอบสัณฐานวิทยาของเส้นไหมก่อนและหลังเคลือบซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และพิสูจน์เอกลักษณ์ ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ความเข้มสีของเส้นไหมด้วยเครื่องวัดสี Color Meter CIELAB ที่ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี เพื่อหาค่า L^* , a^* , b^* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) และ K/S ซึ่งเป็นค่าบอกความเข้มของสีเมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ค่า K/S ของวัสดุที่บ่งชี้จะมีค่าคล้าย ๆ กับค่าดูดกลืนแสง

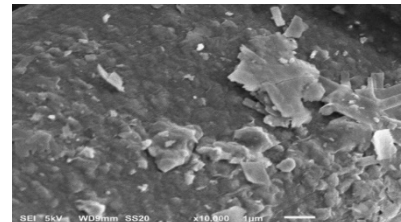
(Absorbance) ของสารละลาย (สุตกมล, 2560) ส่งวิเคราะห์สมบัติการป้องกันรังสียูวี ด้วยเครื่องวัดความสามารถในการป้องกันยูวี UV-Vis Spectroscopy ยี่ห้อ Agilent รุ่น Carry 300 ที่หน่วยบริการห้องปฏิบัติการทดสอบและรับรองมาตรฐาน อาคารสิรินธรวิศวะพัฒน์ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสง และค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง

ผลการวิจัย

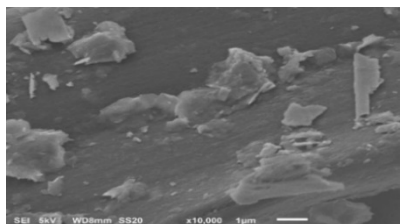
ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่า เส้นไหมที่ไม่ได้เคลือบด้วย ซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์มีลักษณะพื้นผิวเรียบ เมื่อนำเส้นไหมไปเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ พบว่า บริเวณพื้นผิวของเส้นไหมมีลักษณะขรุขระ เนื่องจากมีอนุภาคซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ มาเกาะอยู่อย่างกระจุกกระจาย ดังแสดงในรูปที่ 1



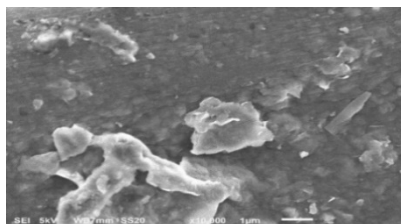
(ก) SEM เส้นไหมที่ไม่เคลือบ ZnO-MMT



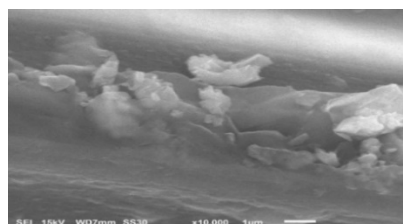
(ข) SEM เส้นไหมเคลือบ 9ZnO-MMT



(ค) SEM เส้นไหมเคลือบ 11ZnO-MMT



(ง) SEM เส้นไหมเคลือบ 13ZnO-MMT

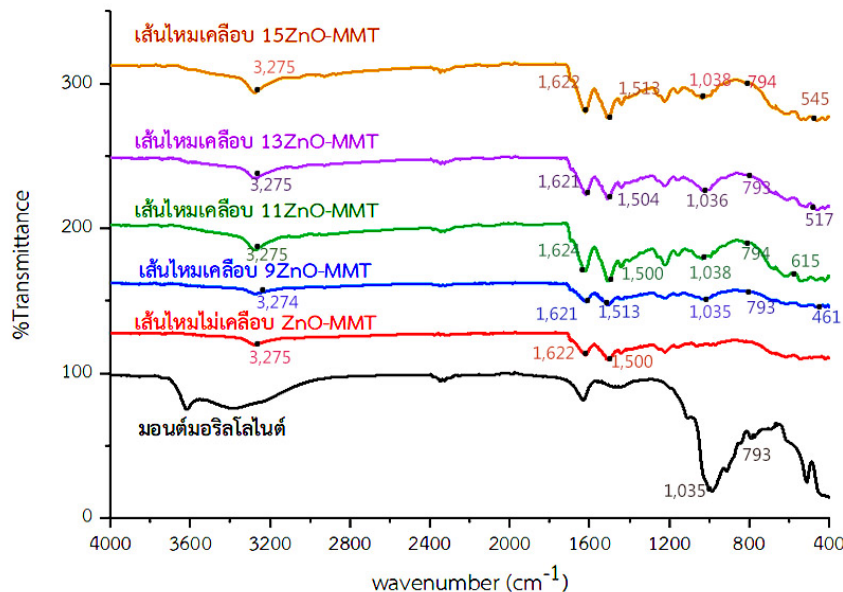


(จ) SEM เส้นไหมเคลือบ 15ZnO-MMT

รูปที่ 1 ภาพถ่ายเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบ 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

ซึ่งสอดคล้องกับแถบการสั่นที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ดังแสดงใน รูปที่ 2 เส้นไหมเคลือบ 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT พบว่า ปรากฏแถบการสั่นของ N-H Stretching ที่ตำแหน่ง $3,274\text{--}3,276\text{ cm}^{-1}$ (Chitichotpanya et al., 2017) ที่ตำแหน่ง $1,621\text{--}1,624\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ ตำแหน่ง $1,500\text{--}1,513\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ทุติยภูมิ ตำแหน่ง $1,226\text{--}1,227\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ตติยภูมิ (Dayioglu et al., 2015) ตำแหน่ง $461\text{--}615\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ Zn-O

bonding จึงสามารถระบุได้ว่ามีนาโนซิงค์ออกไซด์เข้าไปยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นไหม ส่วนตำแหน่ง $793\text{--}794\text{ cm}^{-1}$ และ $1,035\text{--}1,038\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ Al-O และ Si-O ตามลำดับ (Khataee et al., 2016) จึงสามารถระบุได้ว่ามีมอนต์มอริลโลไนต์เข้าไปยึดเกาะอยู่บนผิวของเส้นไหม



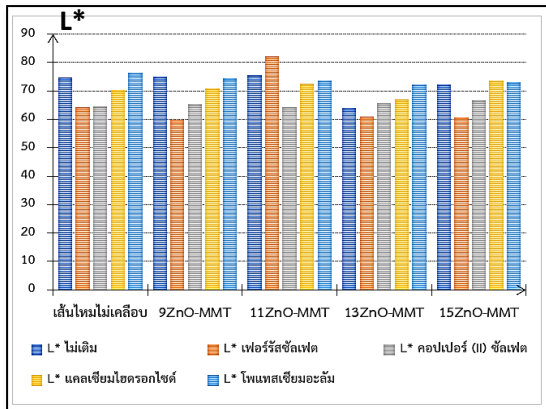
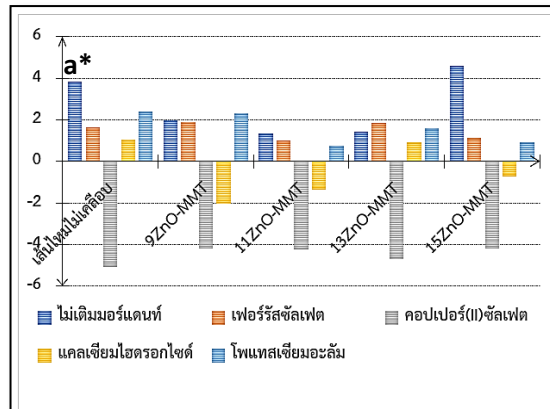
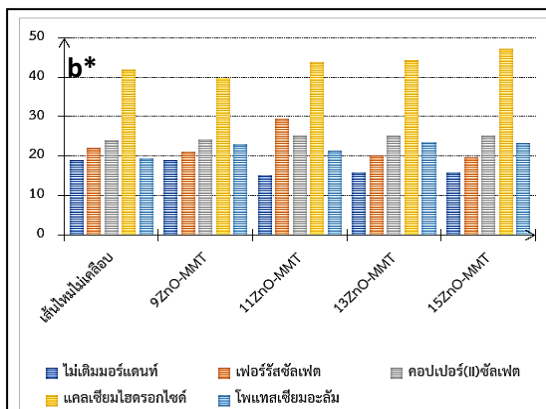
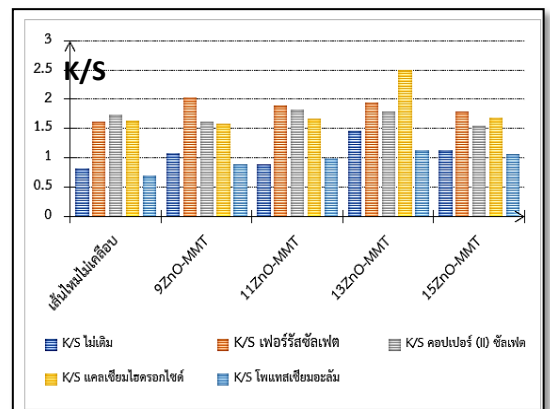
รูปที่ 2 เปรียบเทียบ IR Spectrum ของ Montmorillonite กับเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบ 9ZnO-MMT, 11ZnO-MMT, 13ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT

เมื่อนำเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมน้ำสารช่วยติดสีชนิดต่าง ๆ พบว่า สารช่วยติดแต่ละชนิดมีผลทำให้เส้นไหมมีเฉดสีที่ต่างกัน สีที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารช่วยติดสี ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ เช่น โพแทสเซียมอะลัม จะช่วยจับยึดสีกับเส้นใยและ ช่วยให้สีสด สว่างขึ้น มักใช้กับการย้อมสี น้ำตาล-เหลือง-เขียว คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ช่วยให้สีติดและเข้มขึ้นมักใช้กับการย้อมสีเขียว-น้ำตาล เพอร์รัสซัลเฟต จะช่วยให้สีติดเส้นใยและช่วยเปลี่ยนเฉดสีธรรมชาติเดิมจากพีชเดิมเป็นสีโทน เทา-ดำ ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะช่วยให้สีสดใสเปลี่ยนสีธรรมชาติจากเดิมให้เป็นสีโทนเหลือง (ศศิธร และสุดาพร, 2555) ดังงานวิจัยนี้จะได้เส้นไหมเฉดสีน้ำตาลเมื่อไม่เติมน้ำสารช่วยติดสี เนื่องจากสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นสีน้ำตาล จะได้สีน้ำตาลที่สว่างขึ้นเมื่อใช้โพแทสเซียมอะลัมเป็นสารช่วยติดสี ได้เฉดสีเขียวเมื่อใช้คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี ได้เฉดสีเหลืองเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสี และได้เฉดสีน้ำตาลดำเมื่อใช้เพอร์รัสซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี เมื่อเปรียบเทียบเฉดสีของเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สีที่ได้ใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 3



(ก) ไม่เติมน้ำสารช่วยติดสี (ข) โพแทสเซียมอะลัม (ค) คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (ง) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (จ) เพอร์รัสซัลเฟต

รูปที่ 3 เฉดสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมน้ำสารช่วยติดสีต่าง ๆ

(ก) ค่า L^* (ข) ค่า a^* (ค) b^* (ง) ค่า K/S รูปที่ 4 ค่า L^* a^* b^* และ K/S ของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบ ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่

เติมสารช่วยติดสีชนิดต่าง ๆ

ค่า L^* แสดงถึง ความสว่างของสี

ค่า a^* แสดงถึง ความเป็นสีแดง (ค่าบวก) หรือสีเขียว (ค่าลบ)

ค่า b^* แสดงถึง ความเป็นสีเหลือง (ค่าบวก) หรือสีน้ำเงิน (ค่าลบ)

ค่า K/S แสดงถึง ค่าความเข้มสี

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่เติมโพแทสเซียมอะลัมเป็นสารช่วยติดสี ให้ค่าความสว่างของสี (L^*) สูงสุดเท่ากับ 76.47 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 11ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่เติมเฟอร์รัสซัลเฟต ให้ค่าความสว่างของสี (L^*) สูงสุดเท่ากับ 82.25 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยไม่เติมสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงสุดเท่ากับ 3.83 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยไม่เติมสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงสุดเท่ากับ 4.60 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) สูงสุดเท่ากับ -5.09 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 13ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) สูงสุดเท่ากับ -4.71 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคอกซ์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริไลต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุด

เท่ากับ 41.97 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงสุดเท่ากับ 47.08 เส้นไหมที่ไม่เคลือบซึ่งคือออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคต (II) ซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสีให้ค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุดเท่ากับ 1.74 ในขณะที่เส้นไหมที่เคลือบ 13ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคตไฮดรอกไซด์ ให้ค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุดเท่ากับ 2.51

เส้นไหมที่มีสีสว่างที่สุด คือ เส้นไหมที่เคลือบ 11ZnO-MMT ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคตซัลเฟต เป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ให้โทนสีแดงมากที่สุดคือเส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีจากใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไม่เติมสารช่วยติดสีใด ๆ เส้นไหมที่ให้โทนสีเขียวมากที่สุด คือ เส้นไหมที่ไม่เคลือบและเติมนิโคต (II) ซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ให้โทนสีเหลืองมากที่สุด คือ เส้นไหมที่เคลือบ 15ZnO-MMT และใช้นิโคตไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสี และเส้นไหมที่ให้ค่าความเข้มสีมากที่สุดคือเส้นไหมที่เคลือบ 13ZnO-MMT และเติมนิโคตไฮดรอกไซด์ เป็นสารช่วยติดสี จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า L^* a^* b^* และ K/S เส้นไหมที่ไม่ได้เคลือบกับเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT นั้น มีเพียงค่าความเป็นสีเขียว (a^*) เพียงค่าเดียวที่เส้นไหมไม่ได้เคลือบมีค่ามากกว่า

ตารางที่ 1 ความสามารถในการต้านรังสียูวีของเส้นไหมที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ (ZnO-MMT)

ชื่อตัวอย่าง	ค่า UPF	ความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต
เส้นไหมไม่เคลือบ	7.92	น้อย
เส้นไหมเคลือบ 9ZnO-MMT	44.86	ดีเยี่ยม
เส้นไหมเคลือบ 15ZnO-MMT	29.47	ดีมาก

จากตารางที่ 1 พบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอริลโลไนต์ มีค่า UPF 7.92 ส่วนเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT มีค่า UPF 44.86 และ 29.47 ตามลำดับ เนื่องจาก 9ZnO-MMT มีอนุภาคเล็กกว่าจึงสามารถกระจายตัวและเข้าไปยึดเกาะจับกับเส้นใยไหมได้ดีกว่า ทำให้สามารถสะท้อนแสงและรังสียูวีได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีเยี่ยม เนื่องจากพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง (Becheri et al., 2008) อาจกล่าวได้ว่า 9ZnO-MMT มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตดีที่สุด

ตารางที่ 2 ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเส้นไหมที่เคลือบ 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมนิโคตซัลเฟตชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ชนิดสารช่วยติดสี	ระดับความคงทน		
		สีต่อแสง	สีต่อการซัก	
			ซัก 1 ครั้ง	ซัก 10 ครั้ง
เส้นไหมไม่เคลือบ	ไม่เติม	4	4-5	3
	เพอร์รัสซัลเฟต	4	5	4
	นิโคต (II) ซัลเฟต	4	5	3-4
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4	4-5	2-3
	โพแทสเซียมอะลัม	4	4-5	2-3
เส้นไหมเคลือบ	ไม่เติม	4-5	4-5	3
	เพอร์รัสซัลเฟต	4-5	5	4-5

9ZnO-MMT	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4-5	5	4
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4-5	4-5	3-4
	โพแทสเซียมอะลัม	4-5	5	4-5
เส้นไหมเคลือบ	ไม่เติม	4-5	4-5	3
	เฟอร์รัสซัลเฟต	4-5	5	4-5
	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4-5	5	4-5
15ZnO-MMT	คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	4-5	5	4-5
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4-5	4-5	3-4
	โพแทสเซียมอะลัม	4-5	5	4-5

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเส้นไหมที่เคลือบ 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมน้ำสารช่วยติดชนิดต่าง ๆ พบว่า ความคงทนของสีต่อแสงเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดีถึงดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหม ทั้งที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบ ZnO-MMT ความเข้มข้นต่าง ๆ หลังซักครั้งที่ 1 เฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดีถึงดีมาก) และเมื่อซัก 10 ครั้ง ความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT, และ 15ZnO-MMT อยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟต คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมอะลัม

บทสรุป

เส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้สารช่วยติดชนิดต่าง ๆ พบว่า สีที่ได้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารช่วยติดสี โดยเมื่อไม่เติมน้ำสารช่วยติดสี และใช้โพแทสเซียมอะลัมเป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีน้ำตาล เมื่อใช้คอปเปอร์เป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีเขียว เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีเหลือง และเมื่อใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นสารช่วยติดสีจะได้เส้นไหมสีน้ำตาลดำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์ พบว่า สีที่ได้ใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น แต่จะมีสีซีดจางลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับเส้นไหมที่ไม่ได้เคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ การศึกษาการต้านรังสี UV ของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) พบว่า เส้นไหมที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) มีความสามารถป้องกันรังสี UV ได้ในระดับดีถึงดีเยี่ยม ส่วนความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) ย้อมด้วยสีของใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ เติมน้ำสารช่วยติดสีชนิดต่าง ๆ พบว่า ความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมทั้งที่ไม่เคลือบและเคลือบซิงค์ออกไซด์ฟิลลาร์มอนต์มอร์ริสไลน์ต์ (ZnO-MMT) ซักครั้งที่ 1 อยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และเมื่อซัก 10 ครั้ง ความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่เคลือบด้วย 9ZnO-MMT และ 15ZnO-MMT อยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟต คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมอะลัม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย ศรีสำแดง, ภาณุวัฒน์ ดวงรัศมี และมงคล นิยมมูล. (2558). การเตรียมซิงค์ออกไซด์ฟิล์มบนผ้าไหมมัดหมี่สีธรรมชาติ
สำหรับการบำบัดน้ำเสีย. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- ลักขณา เบ็ญจวรรณ และคณะ. (2553). คุณค่าทางโภชนาการและผลิตภัณฑ์จากน้ำคั้นใบข้าว. ค้นเมื่อ 31 กรกฎาคม 2564.
https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?KPS/search_detail/result/309144.
- ศศิธร โนนสังข์ และสุภาพร ตั้งควนิช. (2555). การพัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยสัณฐานวิทยาแบบผง
จากใบสาบเสือ. ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13. บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 393-400.
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. (2563). ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Ricrbery). ค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2563. <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-ricersc-rgdu-knowledge/29-2015-03-27-02-0415/53-riceberry>.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (2561). สร้างสรรค์คุณค่าข้าวไทยด้วยเกษตรกรปลอดภัยและนวัตกรรมที่ยั่งยืน. ค้นเมื่อ
31 กรกฎาคม 2564. https://oer.learn.in.th/search_detail/result/117059.
- Becheri A., Durr M., Nostro P.L. and Baglioni P. (2008). Synthesis and characterization of zinc oxide
nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers. Journal of Nanoparticle Research. 10: 679-
689.
- Chitchotpanya P. and Chayanisa C. (2017). Vitro assessment of sericin silver functionalized silk fabrics for
enhanced UV protection and antibacterial properties using experimental design. Coatings. 7(9): 1-17.
- Dayioglu H., Kut D., Merdan N. and Canbolat S. (2015). The effect of dyeing properties of fixing agent and
plasma treatment on silk fabric dyed with natural dye extract obtained from *Sambucus ebulus* L.
plant. In World conference on technology, innovation and entrepreneurship. Procedia-Social and
Behavioral Sciences. 195: 1609-1617.
- El-Hady. A., Farouk A. and Sharaf S. (2013). Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using
nano ZnO and polycarboxylic acids. Carbohydrate polymers. 92(1): 400-406.
- Francisco R., Valenzuela D. and Santo P.D.S. (2001). Studies on the acid activation of Brazilian smectitic clay.
Quimica Nova. 24(3): 345-353.
- Karimi L., Mirjalili M., Yazdanshenas M.E. and Nazari A. (2010). Effect of nano TiO₂ on self-cleaning property
of cross-linking cotton fabric with succinic acid under UV irradiation. Photochemistry and
photobiology. 86(5): 1030-1037.
- Khataee A., Kiransan M., Karaca S. and Arefi-Oskoui S. (2016). Preparation and characterization of ZnO/MMT
nanocomposite for photocatalytic ozonation of a disperse dye. Turkish Journal of Chemistry. (40):
546-564.