

การพัฒนาการย้อมสีดำเส้นไหมจากผลมะเกลือโดยการปรับปรุงพื้นผิวเส้นไหมด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน  
Development of Black Silk Dyed from Ebony Fruit (*Diospyros mollis Griff*)  
by Surface Modification of Silk Fiber with Poly (ethyleneimine)

กนกวรรณ ยันตะบุศย์\* และเกริกพล จำสมศรี

Kanokwan Yantaboot\* and Kroekpon Jarsomsri

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Surinda Rajabhat University

\*Email: Yantaboot.kanok@gmail.com

Received: 15 Aug 19

Revised: 22 Nov 19

Accepted: 10 Dec 19

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการย้อมสีดำเส้นไหม จากผลมะเกลือตามภูมิปัญญาท้องถิ่น อำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์ และพัฒนากระบวนการย้อมสีดำเส้นไหม โดยวิธีการปรับปรุงเส้นไหมด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน (PEI) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษา 1) ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ PEI บนเส้นไหมเลือกกำหนดเวลา 3 6 12 และ 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของ PEI เท่ากับ 1.0g/l 2) ศึกษาการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ และ 3) ศึกษาผลของการตกสีของเส้นไหม ผลการวิจัยพบว่า เวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ PEI บนเส้นไหม คือ 12 ชั่วโมง ร้อยละการดูดซับ เท่ากับ  $69.62 \pm 8.6$  เมื่อนำเส้นไหมที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมาย้อมสีจะได้เฉดสีเทาถึงดำย้อมซ้ำเพียง 4 ครั้ง เส้นไหมมีความคงทนต่อเหงื่อในระดับคุณภาพดีมาก (4-5) และการตกสีของเส้นไหมในระดับต่ำ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ สามารถลดระยะเวลาการย้อมเส้นไหมสีดำจากผลมะเกลือให้มีระยะเวลาน้อยลง

**คำสำคัญ:** มะเกลือ สารช่วยติดสี การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติ ความคงทนของสี พอลิเอทิลีนอิมิน

Abstract

This study investigated the development of ebony fruit silk dyeing process in order to study the traditional dyeing process from the villagers living in Somlongtab District, Surin Province and to develop the dying process by surface modification of silk with poly (ethyleneimine) (PEI). The parameters affecting all methods were investigated and optimized such as the effect of time for the adsorption of PEI as 3, 6, 12, and 24 h with controlled concentration of PEI at 1g/l, color fastness to perspiration and the quality of dyeing. The results showed the optimal condition of time for adsorption was 12 h. The percentage of adsorbed PEI as  $69.62 \pm 8.6$ . The color of silk changed from gray to black after being dyed 4 times. The dyed silk's color fastness to perspiration was quite good to excellent (4-5) and color resistance to fade are high quality. Therefore, the outstanding point of this work is the reduction of time for ebony fruit dyeing process.

**Keywords:** Ebony tree, Dyeing with Natural Dye, Color fastness, Poly (ethyleneimine)

## 1. บทนำ

จังหวัดสุรินทร์ เป็นจังหวัดหนึ่งทางตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือ อีสานใต้ ที่มีวัฒนธรรมการทอผ้าไหม สืบทอดเป็นมรดกจากรุ่นสู่รุ่น จนกลายเป็นเอกลักษณ์ประจำจังหวัด ดังคำขวัญประจำจังหวัดที่กล่าวว่า “สุรินทร์ถิ่นช้างใหญ่ ผ้าไหมงาม ประคำสวย ร่ำรวยปราสาท ผักกาดหวาน ข้าวสารหอม งามพร้อมวัฒนธรรม” ไหมเป็นเส้นใยพอลิเมอร์ธรรมชาติที่หนอนไหมสร้างเส้นใยจากโปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) และ เซรีซิน (sericin) โดยเซรีซินมีลักษณะเป็นกาวไหมทำหน้าที่ช่วยยึดเส้นใยให้ติดกัน กระบวนการย้อมเส้นไหมเป็นขั้นตอนหลังจากการฟอกกาวไหม โดยสีที่ใช้ในการย้อมเส้นไหมที่ชาวบ้านนิยมใช้มี 2 ประเภท คือ 1) สีสังเคราะห์ หรือสีเคมี ซึ่งเป็นสีย้อมที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผู้ประกอบการ เพราะ สะดวก สามารถย้อมผ้าได้ในจำนวนมาก แต่การใช้สีสังเคราะห์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1-2] 2) สีธรรมชาติ เช่น สีแดงจากครั่ง สีเหลืองจากแก่นขนุน สีน้เงินจากคราม สีดำจากผลมะเกลือ [3-6] วิธีการย้อมสีธรรมชาติ จะมีขั้นตอนการย้อมที่ซับซ้อนมากกว่าวิธีการย้อมด้วยสีสังเคราะห์จึงไม่ได้รับความนิยมจากชาวบ้านและผู้ประกอบการ เนื่องจากต้นทุนในการจัดซื้อวัตถุดิบที่นำมาย้อมสีค่อนข้างสูง แต่ปัจจุบันกระแสรักโลก และสิ่งแวดล้อมได้รับความนิยม ส่งผลให้กระบวนการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติได้รับความนิยมมากขึ้น ในจังหวัดสุรินทร์การย้อมเส้นไหมสีดำด้วยผลมะเกลือ โดยเฉพาะชาตพันธุ์กัญ ในอำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์ เป็นแหล่งเรียนรู้การย้อมไหมจากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่สืบทอดจากอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยสีดำที่ใช้ย้อมจากผลมะเกลือ ในกระบวนการย้อมเส้นไหมหรือผ้าไหมจะใช้เวลาในการย้อมค่อนข้างนานและต้องย้อมซ้ำประมาณ 20 ครั้งจึงได้สีดำ หนึ่งในทางเลือกของกระบวนการย้อมสี คือสารช่วยติดสี (Mordant) เป็นสารที่ช่วยให้สีติดกับเส้นไหมดีขึ้นแบ่งได้ 2 ประเภท คือ สารช่วยติดสีเคมี เช่น สารส้ม สารช่วยติดสีธรรมชาติ เช่น น้ำด่างหรือ น้ำขี้เถ้า หรือ กรดจากพืชที่มีรสเปรี้ยว เช่น น้ำมะขามเปียก น้ำมะนาว และน้ำส้มป่อย นอกจากสารช่วยติดสีทั้ง 2 ชนิด ยังมีสารช่วยติดสีอีกชนิดคือ พอลิเอทิลีนอิมิน (PEI) สุชาติ ศรีเบญญา และคณะ [7] ศึกษาการปรับปรุงผิวของเส้นใยฝ้ายด้วยสาร PEI พฤติกรรมการดูดซับ และ ศึกษาจลนพลศาสตร์การติดสีจากครั่ง พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายด้วยสาร PEI มีการดูดซับสีย้อมจากครั่งเพิ่มขึ้น สุรพงษ์ จันทรหอม และคณะ [8] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีจากครั่งบนเส้นใยฝ้ายด้วยสาร PEI พบว่า การเพิ่มปริมาณของสาร PEI ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีจากครั่งของเส้นใยฝ้ายมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากการดูดซับสีจากครั่ง สุรพงษ์ จันทรหอม และคณะ [9] ได้นำเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสาร PEI ศึกษาการดูดซับโลหะหนัก ดังนั้น PEI จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของสารช่วยติดสี ซึ่งสาร PEI จัดอยู่ในกลุ่มพอลิอิมินที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ หากแบ่ง PEI ตามโครงสร้างสามารถแบ่งได้ 2 โครงสร้าง คือ PEI ที่มีโครงสร้าง

แบบเส้นตรง (linear PEI) และ PEI ที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง (branched PEI) โครงสร้างทั้ง 2 ชนิด แสดงใน Figure 1

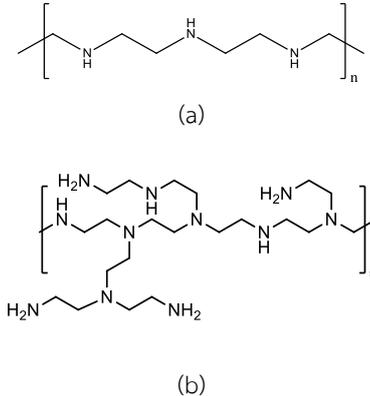


Figure 1 Chemical formulae of (a) linear PEI and (b) branched PEI [10]

PEI โครงสร้างแบบกิ่งมีหมู่เอมีนสูงกว่าโครงสร้างแบบเส้นตรงจึงสามารถช่วยให้การติดสีมากขึ้น โดยใช้สาร PEI มาปรับปรุงพื้นผิวของเส้นไหม และเส้นใยฝ้ายก่อนการย้อมสี [11] เส้นไหมหรือเส้นใยพอลิเอไมด์ (polyamide) เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ประกอบด้วยกรด แอลฟาอะมิโน ต่างชนิดกันต่อกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาว ซึ่งหมู่เอมีโน สามารถสร้างพันธะและติดสีย้อมได้ หากเพิ่มหมู่เอมีโนให้กับเส้นไหมความสามารถในการติดสีของเส้นไหมเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนากระบวนการย้อมเส้นไหมด้วยผลมะเกลือโดยจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นไหมด้วยสาร PEI การทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อเหงื่อกรด เหงื่อเบส และการตกสี

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 วัสดุ และ สารเคมี

ผลมะเกลือ (*Diospyros mollis Griff*) รับประทานจากชาวบ้านในอำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์ เส้นไหมเบอร์ 6 ซื้อจากบริษัทจุลไหมไทยที่ผ่านการฟอกกาวไหม สารช่วยติดสี เลือกกำหนด คือ น้ำมะขาม โดยมะขามซื้อจากตลาดสด อำเภอ เมือง จังหวัดสุรินทร์ พอลิเอทิลีนอิมิน (polyethylenimine, PEI) ที่มีโครงสร้าง แบบกิ่ง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (Mw) ประมาณ 25,000 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) L-histidine monohydrochloride monohydrate (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>O<sub>2</sub>·HCl·H<sub>2</sub>O) Disodium hydrogen orthophosphate dodecahydrate (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O) คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO<sub>4</sub>) และ น้ำปราศจากไอออน (DI)

### 2.2 การศึกษาผลของเวลาต่อการปรับปรุงพื้นผิวเส้นไหมด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน

ชั่งเส้นไหม 1.0 กรัม แช่ในสารละลาย PEI ความเข้มข้น 1.0 g/l ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่เวลา 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นไหม ล้าง และตากให้แห้ง

กำหนดให้สัญลักษณ์ของเส้นไหมในขั้นตอนนี้คือ “PEI-treated SK”

### 2.3 การสกัดสีน้ำย้อม

นำผลมะเกลือแก่จัดไปตากแห้งเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ซึ่งผลมะเกลือแห้ง 10 กิโลกรัม บดให้ละเอียด จากนั้นนำผงของผลมะเกลือมาต้มด้วยน้ำสะอาดปริมาตร 10 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ครั้งจะได้สีน้ำย้อมจากผลมะเกลือ

### 2.4 การย้อมไหม

การย้อมไหมด้วยมะเกลือจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ชุดควบคุม ชุดที่ 2 เส้นไหมที่ผ่านการปรับปรุง (PEI-treated SK) ย้อมด้วยมะเกลือ

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม (Control) ย้อมเส้นไหมด้วยน้ำย้อมสีดำจากมะเกลือ โดยเส้นไหม (native SK) ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย PEI (native SK) โดยนำน้ำย้อมจากมะเกลือจำนวน 250 มิลลิลิตร และเติมน้ำมะขาม จนมีค่า pH เท่ากับ 5 นำเส้นไหม (native SK) ลงไปย้อมกับน้ำย้อมมะเกลือเป็นเวลา 4 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที ทุก ๆ 5 นาที พลิกเส้นไหมเพื่อให้สีติดอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นบีบน้ำพอลอดออกมาไปฝั่งลมประมาณ 15 นาที แล้วนำผ้ามาล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งน้ำใส แล้วนำไปฝั่งลมให้แห้ง

ชุดที่ 2 ย้อมเส้นไหมที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย PEI (PEI-treated SK) กระบวนการย้อมเหมือนกับ ชุดที่ 1

### 2.5 การวิเคราะห์

#### การวิเคราะห์ปริมาณ PEI ที่ถูกดูดซับบนเส้นไหม

ชั่งเส้นไหม 1.0 กรัม แช่ในสารละลาย PEI ความเข้มข้น 1.0 g/L ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เวลาต่าง ๆ จากนั้นนำเส้นไหม ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น นำสารละลาย PEI ที่เหลือจากการแช่เส้นไหมมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ความเข้มข้น 0.5 %w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้สาร PEI ที่อยู่บนเส้นไหมเกิดสารประกอบเชิงซ้อนปริมาณของสาร PEI ที่เหลือจากนั้นวิเคราะห์ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Ultraviolet-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV 1601 (Shimadzu, Japan) ที่ความยาวคลื่น 751 นาโนเมตร ปริมาณของสาร PEI ที่ถูกดูดซับบนเส้นไหมสามารถคำนวณจากปริมาณการดูดซับของสารละลาย  $\text{Cu}(\text{II})$  บนเส้นไหมดังสมการ

**ปริมาณของ PEI** = (ความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{Cu}^{2+}$  ก่อนการดูดซับ) - (ความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{Cu}^{2+}$  หลังการดูดซับ)

### การวิเคราะห์เอกลักษณ์เส้นไหมก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน

นำเส้นไหม (native SK) ก่อน และหลังการปรับปรุงพื้นผิว (PEI-treated SK) วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated total reflection-Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy ที่ความละเอียด (resolution)  $4 \text{ cm}^{-1}$  จำนวนครั้งในการสแกน 32 จาก  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$

### การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเส้นไหมก่อนการปรับปรุง และหลังการย้อมเส้นไหม

นำเส้นไหม (native SK) เส้นไหม (PEI-treated SK) และเส้นไหมหลังย้อมด้วยมะเกลือ (Silk dyed ebony) มาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1450 VP นำตัวอย่างเส้นไหมทั้ง 3 ชนิด อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น จากนั้นตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาเคลือบด้วยทอง เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า

### การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Color Fastness to perspiration) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-E04:2008

เตรียมผ้าฝ้ายมาตรฐานขนาด  $5 \times 5$  เซนติเมตร และเส้นไหมขนาดความยาว 4 เซนติเมตร เตรียมสารละลายเหงื่อกรด และเหงื่อด่าง ดังนี้

#### 1) การเตรียมสารละลายเหงื่อด่าง

ชั่งสารละลาย  $\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2 \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$  ปริมาณ 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) 5 กรัม และ Disodium hydrogen orthophosphate dodecahydrate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) 5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ปรับสารละลายให้ค่า pH เท่ากับ 8 ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 2) การเตรียมสารละลายเหงื่อกรด

ชั่งสารละลาย L-histidine monohydrochloride monohydrate 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และ Disodium hydrogen orthophosphate dodecahydrate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) 2.2 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ปรับสารละลายให้ค่า pH เท่ากับ 8 ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์  $0.1 \text{ mol/L}$  จากนั้นนำเส้นไหมไปชุบสารละลายเหงื่อต่าง และเหงื่อกรด ปิดพอลอด ๆ นำผ้าฝ้ายและเส้นไหมมาวางระหว่างแผ่นอะคริลิกเรซิน หรือ แผ่นแก้ว 2 แผ่น โดยวางแผ่นอะคริลิกก่อนแล้วตามด้วยผ้าฝ้ายและวางเส้นไหมลงบนผ้าฝ้ายจากนั้นนำผ้าฝ้ายที่วางทับอีกครั้ง นำชิ้นงานเข้าเครื่อง Perspiration Tester อบที่อุณหภูมิ  $37 \pm 2^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นแยกผ้าฝ้ายและเส้นไหมออกจากกัน ประเมินการเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายทันทีด้วย Grey Scale for Color Change การประเมินความคงทนของสีเป็นตัวเลข 9 ระดับ [12]

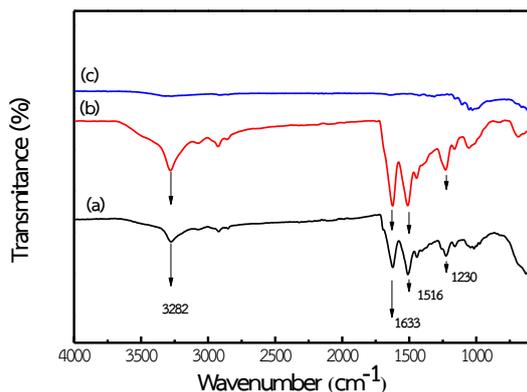
**Table 1** percentages of Cu (II) adsorbed onto treated silks

ระยะเวลาการดูดซับ PEI (ชั่วโมง)	ปริมาณ Cu(II)					ร้อยละการดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ (ppm)	หลังการดูดซับ (ppm)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$\bar{X}$	
3	4830.9	1559.2	1571.8	1538.6	1556.53	67.7±16.7
6	4830.9	1554.6	1544.9	1526.1	1508.53	68.7±14.4
12	4830.9	1477.5	1462.0	1463.0	1467.50	69.62±8.6
24	4830.9	1416.3	1403.4	1409.4	1409.67	70.89±6.4

### 3. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของเส้นไหมก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี (ATR-FTIR)

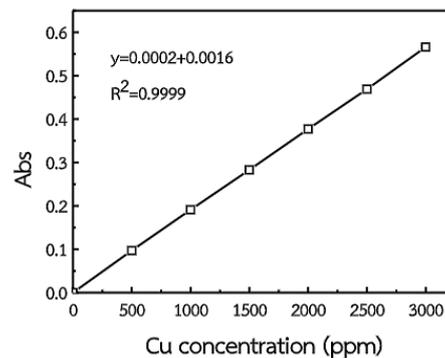
จาก Figure 1 ATR-FTIR (Fourier transform Infrared) สเปกตรัม ของ (a) เส้นไหมก่อนการปรับปรุงพื้นผิว (native SK) (b) เส้นไหมที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน (PEI-treated SK) และ (c) เส้นไหมปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีนอิมินแล้วนำแช่สารละลาย  $\text{CuSO}_4$  (Cu-PEI treated SK) พบว่า เส้นไหม (a) และ (b) มีการสั่นของหมู่ N-H amide I, amide II and amide III ที่ตำแหน่งของพีค 3282, 1633, 1516 และ  $1230 \text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ เอกลักษณ์ของหมู่ฟังก์ชันของเอมีนที่บ่งบอกถึงโครงสร้างของเส้นไหม พบที่ตำแหน่งพีค  $1633 \text{ cm}^{-1}$  และการสั่นของหมู่ฟังก์ชันของไพลโบรอนที่มีโครงสร้างแบบ  $\alpha$ -helix พบที่ตำแหน่งพีค  $1516 \text{ cm}^{-1}$  [13] ส่วน เส้นไหม (c) เอกลักษณ์ของ Cu อยู่ในช่วงปลายนิ้วมือจึงไม่พบพีคเอกลักษณ์



**Figure 1** ATR-FTIR spectrum of (a) native silk (b) PEI-treated SK and (c) Cu-PEI treated SK

#### 3.2 การวิเคราะห์ปริมาณ PEI ที่ถูกดูดซับบนเส้นไหม

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นไหมด้วยสารละลาย PEI ที่เวลา 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าร้อยละการดูดซับของสารละลาย Cu(II) เท่ากับ  $67.77 \pm 16.76$ ,  $68.77 \pm 14.49$ ,  $69.62 \pm 8.67$  และ  $70.89 \pm 6.46$  ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1 คำนวณปริมาณของ Cu(II) จากกราฟมาตรฐาน ดังภาพที่ 2



**Figure 2** Standard curve of  $\text{Cu}^{2+}$

#### 3.3 การวิเคราะห์ลักษณะสีของเส้นไหมหลังการปรับปรุงพื้นผิวและ เส้นไหมที่ย้อมด้วยน้ำย้อมจากผลมะเกลือ

ลักษณะของเส้นไหมก่อนและหลังการย้อมสี ด้วยน้ำย้อมจากผลมะเกลือ พบว่า เมื่อนำเส้นไหมมาเปรียบเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน (pantone) เส้นไหมที่เคลือบด้วย PEI สีของเส้นไหมหลังการย้อมจะให้สีที่เข้มและเงา ลักษณะของสีหลังย้อม แสดงใน Table 2 นำเส้นไหมก่อนการปรับปรุงผิวด้วย PEI (native silk) (3a) เส้นไหมหลังการปรับปรุงด้วย PEI (treated PEI) (3b) และ เส้นไหมหลังการปรับปรุงด้วย PEI ย้อมสีดำ (silk dyed ebony) (3c) มาวิเคราะห์สีพื้นฐานของเส้นไหม ด้วยกล่องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด พบว่า เส้นไหม (3a) มีลักษณะของเส้นไหมค่อนข้างเรียบ ส่วน (3b) และ (3c) มีลักษณะของเส้นไหม ขรุขระ เนื่องจาก PEI ถูกดูดซับบนพื้นผิวของเส้นไหม ดังภาพที่ 3

Table 2 The characteristics color of silk dyed by ebony

ระยะเวลาการดูดซับ PEI (ชั่วโมง)	สีมาตรฐาน (Pantone)	ลักษณะของสี	ของเส้นไหม
3			
6			
12			
24			
ชุดควบคุม			

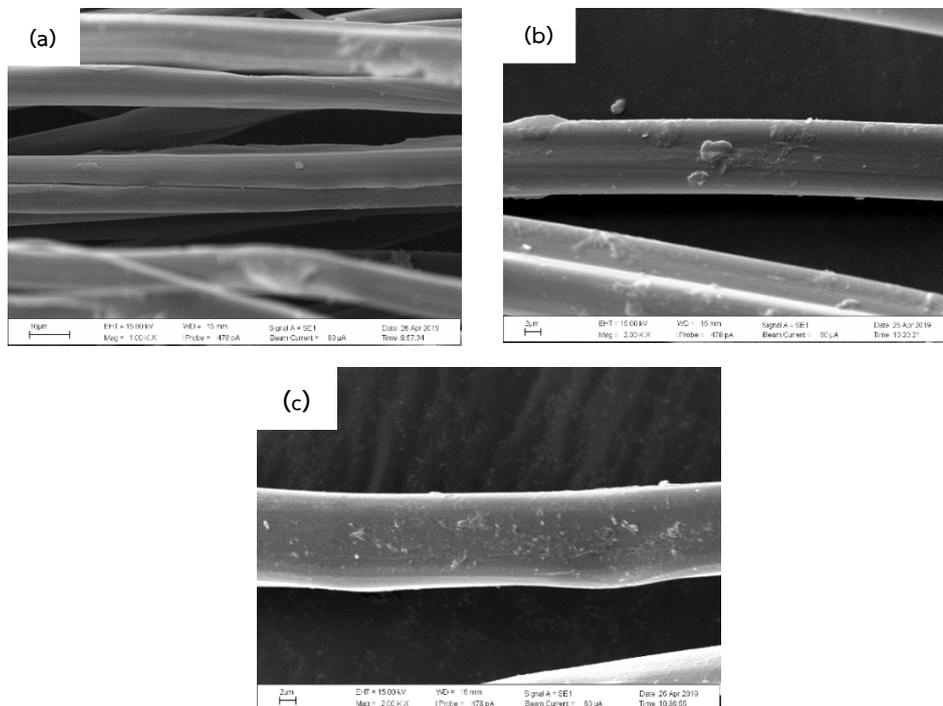


Figure 3 Morphology of (a) Native silk, (b) Treated PEI SK and (c) Silk dyed ebony

### 3.4 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

ภายหลังการย้อมเส้นไหม เส้นไหมจะถูกนำมาทดสอบความคงทนของสีผลการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ แสดงใน Table 3 พบว่า การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะกรด เส้นไหมที่เคลือบด้วยสาร PEI เวลา 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง มีความคงทนเหงื่อกรด อยู่ในช่วงคุณภาพดีถึงดีมากที่สุด และความคงทนต่อเหงื่อในสภาวะด่างมีคุณภาพอยู่ในช่วงคุณภาพค่อนข้างดีมาก การทดสอบการตกสีของเส้นไหมที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสาร PEI ที่เวลา 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง เทียบกับเส้นไหมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว พบว่า การตกสีของเส้นไหมทั้ง 2 ชนิด อยู่ในระดับต่ำ ถึงต่ำที่สุด แสดงว่า เส้นไหมทั้งสองชนิดเมื่อย้อมสีดำ แล้วทำความสะอาดเส้นไหมทั้ง 2 ชนิด แทบไม่ตกสี

**Table 3** Color Fastness to perspiration of silk

ระยะเวลาการดูดซับ PEI (ชั่วโมง)	ลักษณะของสี		
	เหงื่อกรด	เหงื่อเบส	ทดสอบการตกสี
3	5	4/5	½
6	5	4/5	½
12	5	5	1
24	5	4/5	1
ชุดควบคุม	4/5	5	½

หมายเหตุ: ระดับ 5 คือ คุณภาพดีมากที่สุด

ระดับ 4/5 คือ คุณภาพค่อนข้างดีมากที่สุด

ระดับ 4 คือ คุณภาพดีมาก

ระดับ 3/4 คือ คุณภาพดีค่อนข้างดีมาก

ระดับ 3 คือ คุณภาพดี

ระดับ 2/3 คือ คุณภาพค่อนข้างดี

ระดับ 2 คือ คุณภาพต่ำ

ระดับ 1/2 คือ คุณภาพค่อนข้างต่ำ

ระดับ 1 คือ คุณภาพต่ำมากที่สุด

### 4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นไหมโดยการเคลือบสาร PEI บนเส้นไหมพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 12 ชั่วโมง ค่าร้อยละการดูดซับ PEI บนเส้นไหมคือ  $69.62 \pm 8.6$  การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นไหมด้วยสาร PEI ส่งผลให้เส้นไหมมีหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการติดสีจากหมู่ฟังก์ชัน ( $-NH_2$ ) กับสารกลุ่ม diospyrol ในผลมะเกลือที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี ( $-OH$ ) ที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของหมู่อะมิโนบนเส้นไหม ทำให้เกิดการยึดกันระหว่างสีย้อม กับเส้นไหมได้ดีขึ้น การพัฒนากระบวนการย้อมเส้นไหมควรพัฒนาการย้อมจากสีธรรมชาติชนิดอื่น ๆ เช่น สีแดงจากครั่ง สีเหลืองจากแก่นขนุน สีนํ้าเงินจากคราม

### 5. References

- [1] Kozlovskaya, V., Baggett, J., Godin, B., Liu, X., and Kharlampieva, E. 2012. "Hydrogen-bonded multilayers of silk fibroin : From coatings to cell – mimicking shaped microcontainers." *ACS Macro Lett.* 1:384-387."
- [2] Satindar, K., D.P. Chattopadhyay and Varinder. K. 2012. "Dyeing of Bamboo with Tea as a natural Dye." *Research Journal of Engineering Sciences.* 1(4):21-26.
- [3] Uddin, G.M. 2014. "Effect of different Mordants on silk fabric dyed with onion outer skin extracts." *Journal of Textiles,* 1-8.
- [4] Mohd, Y., Mohd, S. and Fageer, M. 2017. "Natural Colorants : Historical, Processing and Sustainable Prospects." *Natural Products and Bioprospecting.* 7(1):123-145.
- [5] Oranuch, N. and et al. 2017. "Dyeing Silk with Seed and Seed Coat of Tamarind for Enhancing Commercial Value." *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandla Rajabhat University.* 5:59-70.
- [6] Pongsri, R. 2017. "Local Thai Plants for Natural Black Dyeing." *Journal of Faculty of Architecture, KMITL.* 2:163-175.
- [7] Suchadee, S. and Sunan, S. 2015. "Adsorption Behavior and Kinetics of Lac Dyeing on Poly (ethyleneimine)-Treated Bamboo Fibers." *Fibers and Polymers.* 16(11):2391-2400."
- [8] Sorapong, J. and et al. 2004. "Enhancement of lac dye adsorption on cotton fibres by poly(ethyleneimine)." *Dyes and Pigments.* 63(3): 231-237.
- [9] Sorapong, J. 2018. "Kinetic and thermodynamic studies of cationic and anionic surfactants adsorption onto polyethyleneimine-modified cotton cloths." *Chiang Mai Journal of Science.* 45(6): 2422-2437.
- [10] Yinchuan, T. and et al. 2013. "Improved Synthesis of a Branched Poly(ethylene imine)-Modified Cellulose-Based Adsorbent for Removal and Recovery of Cu(II) from Aqueous Solution." *Journal of Applied Polymer Science.* 129: 1799-1805.

- [11] Ying, P. and et al. 2017. "Influences of metal ions crosslinked alginate based coatings on thermal stability and fire resistance of cotton fabrics." **Carbohydrate Polymer**. 170: 133-139.
- [12] Maria, Z. and et al. 2010. "Colour and fastness of natural dyes:revival of traditional dyeing techniques." **Colorant Technology**. 127:18-27.
- [13] Bin, L. and et al. 2015. "Silk structure and degradation." **Colloids and surfaces B: Biointerfaces**. 131:122-128.