



ผลของสารรีดิวซ์จากธรรมชาติต่อเส้นไหมที่เคลือบซีโอไลต์ 4A ย้อมคราม

Natural Reducing Agents Affected on Silk Coated Zeolite 4A Dyeing with Indigo

กาวอน พูนคำ*

กัญญา ศิริลาภโกสิน

สุดาพร ตั้งควนิช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณของปูนขาวและปูนแดงที่เหมาะสมในการทำนํ้าย้อมคราม ศึกษาผลของสารรีดิวซ์จากเนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าในการเตรียมนํ้าย้อมครามต่อเจดสีของเส้นไหม และทดสอบสัณฐานวิทยาของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซีโอไลต์ 4A ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นไหม ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบซีโอไลต์ 4A ย้อมคราม ผลการวิจัยพบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบด้วยซีโอไลต์ 4A มีผิวหน้าเรียบ เส้นไหมที่เคลือบซีโอไลต์ 4A จะมีอนุภาคซีโอไลต์ 4A ที่ผิวหน้า เส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบซีโอไลต์ 4A 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม พบว่า ค่าความคงทนของสีต่อแสงเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และความคงทนของสีต่อการซักล้างเปลี่ยนไปเล็กน้อยเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการซักเป็น 10, 20 และ 30 ครั้ง เส้นไหมเคลือบซีโอไลต์ 4A 4 กรัม ย้อมครามโดยใช้เนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด โดยมีค่าความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 5 (ดีมาก) เมื่อผ่านการซักล้าง 30 ครั้ง ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และเส้นไหมที่เคลือบซีโอไลต์ 4A สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้

คำสำคัญ: ซีโอไลต์ 4A, เส้นไหม, สารรีดิวซ์จากธรรมชาติ, คราม

Abstract

This research studied the suitable quantity of white lime and red lime for producing indigo paste. The effect of reducing agents from tamarind and banana in the preparation of indigo dye on color shade of silk dyed was investigated. The morphology of uncoated and silk coated with zeolite 4A was characterized by using the scanning electron microscopy (SEM) and their functional group identification was carried out using a fourier transform infrared spectrophotometer (FT-IR). The properties of uncoated silk and silk coated with zeolite 4A and indigo dyed as antibacterial, light fastness and washing fastness were also investigated. The results showed that the uncoated silk had a smooth surface. Silk coated with zeolite 4A reflected zeolite particles on the surface. The uncoated silk and silk coated with zeolite 4A 1, 2, 3, 4 and 5 g showed that the average light fastness was in level of 4-5 (good to very good) and washing fastness slightly changed with increasing the number of washed cycle to 10, 20 and 30 washed. Silk coated with zeolite 4A 4 g and indigo dyed using banana as reducing agent was the best condition. The light fastness and washing fastness was 5 (excellent). After 30 washed cycles, the washing fastness was found to be of 4-5 (good to very good) and silk coated with zeolite 4A could inhibit *Staphylococcus aureus* bacteria.

Keywords: Zeolite 4A, Silk, Natural reducing agent, Indigo

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, E-mail: kavone2017@gmail.com

² อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

บทนำ

ผ้าครามเป็นภูมิปัญญาที่สืบทอดมาจากรบรรพบุรุษจากปู่ย่าตายาย สู่ลูกหลาน ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากผ้าครามธรรมชาติ กลายเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยมนอกจากประเทศต่าง ๆ ทั้งในทวีปยุโรปและแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี อินเดีย ลาว และประเทศไทย ซึ่งแต่ละประเทศมีองค์ความรู้ในการปลูกต้นคราม และการย้อมครามแตกต่างกันไป (อ้อยทิพย์ ผู้พัฒนา, 2552) เนื่องจากผ้าครามธรรมชาติเป็นผ้าที่มีสีและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ สามารถป้องกันรังสียูวี เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ 100% เป็นงานหัตถกรรมที่มีสีเป็นเอกลักษณ์เฉพาะพื้นไม่ซ้ำแบบใคร สามารถให้เจดสีได้ตั้งแต่เจดสีฟ้าอ่อนจนถึงน้ำเงินเข้ม และยังเป็นหนึ่งในแม่สีหลักของสีธรรมชาติ ดังนั้นสีครามจึงเป็นหนึ่งในความนิยม และได้รับการยอมรับว่าเป็นราชาแห่งสีย้อมที่สำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ (เนศรา แก้วคง, 2557)

ในอุตสาหกรรมการย้อมผ้าครามที่นิยมสูงมากเช่น กางเกงยีนส์สีน้ำเงิน ปัญหาการย้อมสีคราม คือ ครามธรรมชาติผลิตไม่ทันต่อความต้องการและกระบวนการก่อหม้อครามธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมยังไม่เสถียรมากพอ สีเคมีจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วทุกมุมโลกมาจนถึงปัจจุบัน เพราะขั้นตอนในการย้อมทำง่าย สีเข้ม หลากหลายเจดสี สีสม่ำเสมอ ราคาถูก ทนต่อแสง ทนต่อการซักล้างและสามารถผลิตผ้าได้มาก เนื้อครามที่เห็นทั่วไป คือ ครามสีน้ำเงิน (indigo blue) หรือครามซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นก่อนย้อมต้องทำให้ครามสีน้ำเงินเปลี่ยนไปเป็นครามไม่มีสี (indigo white) เรียกขั้นตอนนี้ว่า การก่อหม้อ เนื่องจาก indigo blue เป็นสารไม่ละลายน้ำจึงใช้ย้อมเส้นใยไม้ดีด แต่ indigo blue สามารถถูกทำให้เปลี่ยนเป็น indigo white ที่ไม่มีสี ละลายน้ำได้ ในภาวะที่เป็นค่า pH 10.5-11.5 อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส มีน้ำแข็ง และแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus alkaliophilus* (อนุรัตน์ สายทอง, 2552) หรือใช้สารรีดิวซ์ที่เป็นสารเคมีในการเปลี่ยน indigo blue ให้เป็น indigo white หรือสารรีดิวซ์จากธรรมชาติ เช่น น้ำตาลรีดิวซ์จากผลไม้ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมการย้อมคราม คือ โซเดียมไดไทโอไนท์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถรีดิวซ์สีครามได้ในเวลาสั้นมาก อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลที่ได้จากปฏิกิริยาทำให้เกิดสารซัลไฟด์ และซัลเฟต ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญคือ เมื่อน้ำย้อมที่ใช้แล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดน้ำเสีย เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สารเคมีตกค้างในเนื้อผ้า ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้สวมใส่ เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักหลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ผู้คนหันมาใช้สีย้อมจากธรรมชาติมากขึ้น และมีนักวิจัยจำนวนมากพยายามศึกษาการนำสารรีดิวซ์ที่มาจากธรรมชาติมาใช้แทนสารเคมี สารรีดิวซ์ที่นำมาใช้ในการย้อมสีครามเพื่อเปลี่ยน indigo ให้เป็นรูปแบบของ leuco-indigo ที่ละลายน้ำได้ คือ โซเดียมไดไทโอไนท์ ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด และใช้น้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโทส และน้ำตาลกาแลคโทส น้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ ได้แก่ น้ำตาลแลคโทส และน้ำตาลมอลโทส มาใช้เป็นสารรีดิวซ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้แทนโซเดียมไดไทโอไนท์ในการย้อมคราม ผลการวิจัยพบว่า น้ำตาลสามารถนำมาใช้ในการรีดิวซ์ความเป็นด่างของสีครามที่อุณหภูมิสูงขึ้นภายใน 10 นาที (Laksanawadee Saikhao *et al.*, 2018) มีรายงานการใช้สารรีดิวซ์จากกล้วย โดยศึกษาชนิด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า สภาวะในการเตรียมน้ำย้อมครามใช้สารรีดิวซ์จากกล้วยที่ให้ผลดีที่สุด คือ การใช้เนื้อกล้วยสุก หรือเนื้อกล้วยสุกหอม โดยเฉพาะเนื้อกล้วยหอมทอง เนื้อกล้วยหอมเขียว และเนื้อกล้วยน้ำว้าปริมาณ 4 กรัม คราม 0.1 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.8 โมล/ลิตรต่อน้ำย้อม 100 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์ 12 ชั่วโมง และน้ำตาลฟรุกโทสให้ประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ น้ำตาลกลูโคส และของผสมระหว่างน้ำตาลกลูโคสกับน้ำตาลฟรุกโทส ตามลำดับ การใช้กล้วยเป็นสารรีดิวซ์ในการเตรียมน้ำย้อมสีครามจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจใช้เวลาในการเตรียมน้อย และเป็นกระบวนการที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม (สุกมล ลาโสภา และคณะ, 2555) ในปี 2016 Delwar Hossain *et al.* รายงานความคงทนของสีย้อมครามธรรมชาติ โดยใช้สารรีดิวซ์ที่ได้จากธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ปาล์ม (palm) กล้วย และ แอปเปิ้ล โดยการต้ม เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสารรีดิวซ์และความเข้มข้นของปูนขาวในการเตรียมน้ำย้อมครามธรรมชาติ ต่อความคงทนของสี ค่า pH และค่าความเข้มข้น (K/S) พบว่า ค่าความเข้มข้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารรีดิวซ์ โดยสารรีดิวซ์ที่ให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด คือ ปาล์ม ที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ pH ช่วง 10.8 – 11 การใช้สารรีดิวซ์ธรรมชาติมีความคงทน

ของสีและความเข้มดีกว่าสารรีดิวซ์สังเคราะห์ การเตรียมน้ำย้อมครามสำหรับย้อมเส้นไหมโดยใช้สารรีดิวซ์จากธรรมชาติที่มีปริมาณมากและหาง่ายในท้องถิ่นเช่น เนื้อมะขามและเนื้อมะขามจึงเป็นที่น่าสนใจ

การย้อมเส้นไหม หรือผ้าไหมด้วยครามในปัจจุบันยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากปัญหาที่เกิดในการย้อมไหมด้วยครามแบบพื้นดั้งเดิมส่วนมากสีผ้าไหมไม่สม่ำเสมอและสีซีด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเนื้อครามที่นำมาทอหม้อมีปริมาณปูนมากเกินไป เมื่อนำมาย้อมเส้นไหมจึงทำให้สีของเส้นไหมไม่สม่ำเสมอและไม่คงทนต่อแสง นอกจากนี้เส้นไหมยังแข็งกระด้าง ขาดง่าย การทำเนื้อครามเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อคราม โดยเฉพาะการเติมปริมาณปูนลงไปเพื่อตกตะกอนเนื้อคราม หากเติมปูนลงไปปริมาณมากเกินไปจะทำให้ได้เนื้อครามที่มีน้ำหนักรวม แต่ส่งผลเสียต่อเจดสีและความคงทนของสีและความทนทานของเส้นไหม โดยเฉพาะเส้นไหมจะขาดง่ายและสีไม่สม่ำเสมอ ซึ่งในกระบวนการทำเนื้อครามตามภูมิปัญญาชาวบ้าน พบว่า ในขั้นตอนการกวนคราม ถ้าสังเกตเห็นน้ำใสสีเขียวแสดงว่าใส่ปูนน้อยเกินไปและมีสีครามเหลืออยู่ในน้ำครามจึงส่งผลให้ได้เนื้อครามในปริมาณน้อยมาก เมื่อนำเนื้อครามไปทอหม้อมีสีซีดและไม่ติดเส้นไหม ถ้าใส่ปูนในปริมาณพอดี น้ำครามใสเป็นสีน้ำตาลเหลือง (สีชา) หากใส่ปูนมากเกินไปเนื้อครามเป็นสีเทาใช้ไม่ได้ เนื้อครามที่ดีต้องเนื้อเนียนละเอียด สีน้ำเงินสดใส และเป็นเงา ซึ่งอาจเก็บเป็นเนื้อครามเปียกหรือเนื้อครามผง นอกจากนี้ยังพบว่าในการทำเนื้อคราม เมื่ออุณหภูมิของสีครามตั้งคืนในใบครามจะถูกสลาย ให้สีครามออกมาอยู่ในน้ำครามได้มากที่สุดในช่วงเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น และใช้น้ำที่อุณหภูมิปกติเพียง 12 ชั่วโมง (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร, 2560) ระยะเวลาในการแช่ต้องพอเหมาะหลังแยกกากใบครามออกทิ้ง แล้วต้องเติมปูนขาวในน้ำคราม และเติมปริมาณพอดี จึงทำการกวนให้เกิดฟอง และตกตะกอน หลังจากได้ตะกอนเนื้อครามแล้วจึงนำเนื้อครามมาผสมกับน้ำขี้เถ้า และน้ำขี้เถ้าต้องเค็มพอดี และผสมกันในสัดส่วนพอดี จึงจะเกิดสีครามในน้ำย้อมที่สามารถย้อมผ้าได้ ซึ่งปูนขาว หรือปูนแดงเป็นสารทำปฏิกิริยาทำให้ครามเกาะตัว หากใส่ปูนลงไปปริมาณมาก ๆ ทำให้ได้เนื้อครามปริมาณมาก แต่เนื้อครามจะค้างเวลาจะย้อมจะได้สีอ่อน และเวลานำมาย้อมเส้นไหมจะทำให้เส้นไหมต่าง และกระด้าง การใส่ปูนขาวต่อถึง 20 ลิตร จึงควรประมาณ 0.5-1 กิโลกรัม (ประวิทย์ อ่วมอารีย์ และวิจิตรา สุจริต, 2560)

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนบนเส้นใยฝ้ายและไหมโดยการนำวัสดุนาโนมาใช้กับสิ่งทอ เช่น นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ ซีโอไลต์ และไคโตซาน เป็นต้น เพื่อวัตถุประสงค์ให้ผ้ามีคุณสมบัติพิเศษขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ คุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ของสิ่งทอสามารถพัฒนาด้วยวัสดุนาโน ได้แก่ กันน้ำหรือสะท้อนน้ำ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย กันไฟฟอสไฟต์ ป้องกันการยับ การตกแต่งผ้านุ่ม การเพิ่มความสามารถในการดูดซับสีและเพิ่มความคงทนของสีและการป้องกันรังสียูวี เป็นต้น ซีโอไลต์เป็นผลึกของสารประกอบพอลิซิลิเกตของโลหะอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธ มีโครงสร้างสามมิติเกิดจากโครงข่ายของหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิหมู่เตตระไฮดรอลของ $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และ $[\text{AlO}_4]^{5-}$ มารวมตัวกันเชื่อมโดยอะตอมของออกซิเจน ได้หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิโครงสร้างของซีโอไลต์ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนที่เป็นโครงข่ายเตตระไฮดรอลของหมู่ $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และ $[\text{AlO}_4]^{5-}$ มาเชื่อมต่อกัน มีองค์ประกอบหลัก คือ Si, Al และ O 2) ส่วนที่เป็นแคตไอออนเป็นไอออนบวกของโลหะ เช่น Na^+ , K^+ , Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นต้น 3) ส่วนที่เป็นโมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ภายในโครงสร้าง ซึ่งซีโอไลต์จะมีน้ำที่ดูดซับอยู่ในโครงผลึก เมื่อให้ความร้อนจะระเหยได้ ทำให้เกิดช่องว่าง ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของซีโอไลต์ คือ สามารถเกิดการดูดซับโมเลกุลและไอออนขนาดเล็กได้ เนื่องจากซีโอไลต์มีขนาดและรูปร่างของช่องว่าง (channel) ภายในโมเลกุลของซีโอไลต์ที่เฉพาะเจาะจงสามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของอนุภาคเข้าไปภายในกรง (cage) ถ้าอนุภาคนั้นมีขนาดและรูปร่างเหมาะสมจะสามารถผ่านเข้าไปในกรง และถูกกักอยู่ภายในโครงสร้างได้ จากลักษณะของโครงสร้างทำให้ซีโอไลต์สามารถใช้เป็นตัวกรองโมเลกุล (molecular sieve) และการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ได้ดี (สุตาพร ดังควนิช, 2564) การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์มาเคลือบบนเส้นใยไหมและย้อมครามธรรมชาติจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

จากสภาพปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณของปูนขาว และปูนแดงในการทำเนื้อคราม ศึกษาผลของสารรีดิวซ์จากเนื้อมะขามและเนื้อมะขามน้ำว่าต่อเจดสีของเส้นไหมย้อมคราม และศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นไหม

ที่เคลือบซีโอโลด 4A ย้อมคราม ซึ่งทำให้ได้ทราบปริมาณปูนที่เหมาะสมในการทำเนื้อคราม ชนิดสารรีดิวซ์จากธรรมชาติที่เหมาะสม ในการย้อมเส้นไหม ได้เงื่อนไขในการย้อมเส้นไหมที่มีสมบัติความคงทนของสีต่อแสง และความคงทนของสีต่อการซักล้างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อขอยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านผ้าไหมย้อมคราม และเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณของปูนขาวและปูนแดงที่เหมาะสมในการทำเนื้อคราม
2. เพื่อศึกษาผลของสารรีดิวซ์จากเนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าต่อเจดสีของเส้นไหมย้อมคราม
3. เพื่อศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A ย้อมคราม

ขอบเขตการวิจัย

1. พืชที่ศึกษาได้แก่ คราม เก็บจากบ้านตอเรือ อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร
2. สารรีดิวซ์ที่ศึกษา ได้แก่ เนื้อมะขามสุกและเมล็ด น้ำตาล 7 % brix และ pH 3.55 และเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกงอม น้ำตาล 3.1 % brix และ pH 6.59
3. ปูนที่ศึกษา ได้แก่ ปูนขาว pH 12.77 และปูนแดง pH 12.73
4. เส้นไหมที่นำมาศึกษาเป็นเส้นไหมสีขาวที่ผ่านการฟอกแล้ว จากบริษัทจุลไหมไทย จังหวัดเพชรบูรณ์
5. วัสดุนาโนที่ศึกษา ได้แก่ ซีโอโลด 4A
6. ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยวิธี AATCC test method 147-2004

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การทำเนื้อคราม

1) นำต้นครามปริมาณ 20 กิโลกรัม แล้วนำไปล้างที่เตรียมไว้ 10 ถัง เทน้ำเปล่า 132 ลิตร ใส่จนท่วมต้นคราม ใช้ก้อนหิน หรือ วัสดุถ่วงต้นครามให้จมน้ำ เพื่อให้สีจากใบครามออกมาได้มากที่สุด โดยการแช่ทิ้งไว้นาน 12 ชั่วโมง แยกกากครามออกจะได้ น้ำครามสีฟ้าใส

2) เติมน้ำปูนขาว 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% ตามลำดับ และเติมน้ำปูนแดง 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% ตามลำดับ ตีน้ำครามให้ เกิดฟองสีน้ำเงินมาก ๆ จนกระทั่งฟองครามยุบ (เวลาที่ใช้ในการตีครามประมาณ 30 นาที) ทิ้งน้ำครามไว้นาน 12 ชั่วโมง เพื่อให้ เนื้อครามตกตะกอน รินน้ำใส ๆ ที่อยู่ด้านบนตะกอนทิ้ง จะได้เนื้อครามที่มีลักษณะเหมือนโคลน กรอง แล้วนำเอาเนื้อครามที่ได้ขึ้นแปล เพื่อกรองน้ำออกจากเนื้อคราม

2. การเตรียมสารละลาย Cross-link agent 1,000 มิลลิลิตร

เตรียมกรดซัลฟอนิกเข้มข้น 6% w/w ในสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต (NaH_2PO_4) เข้มข้น 4 % w/w โดยชั่งสาร โซเดียมไฮโปฟอสเฟต 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ชั่งกรดซัลฟอนิก (CH_3COOH) 60 กรัม เติมน้ำลงในสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 940 กรัม คนให้สารละลายเข้ากัน (Karimi *et al.*, 2010)

3. การเคลือบเส้นไหมด้วยสารละลาย Cross-link agent

แช่เส้นไหมในน้ำปราศจากไอออน นาน 30 นาที แล้วบิดให้หมาด ตวงสารละลาย cross-link agent ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทลงใน บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำเส้นไหมที่เตรียมไว้ไป sonicate ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง นำไปอบที่ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ผึ่งให้แห้ง (Karimi *et al.*, 2010)

4. การเคลือบเส้นไหมด้วยซีโอไลต์ 4A

ชั่งซีโอไลต์ 4A 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร นำไป sonicate นาน 30 นาที ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก นำเส้นไหมที่ผ่าน cross-link จุ่มลงในสารแขวนลอยที่เตรียมไว้ แล้วนำไป sonicate ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ยกเส้นไหมขึ้น บิดให้หมาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อ fix ซีโอไลต์ 4A นำเส้นไหมไป sonicate ด้วยน้ำปราศจากไอออน นาน 10 นาที เพื่อล้างอนุภาคนาโนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก

5. การเตรียมสีย้อมคราม

1) การเตรียมสีย้อมคราม โดยใช้มะขามเป็นสารรีดิวซ์

ชั่งเนื้อมะขาม 100 กรัม มาละลายในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 1 ลิตร กรองเอากากออก จะได้น้ำมะขาม เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ชั่งเนื้อครามมา 1 กิโลกรัม ละลายด้วยน้ำด่างจีเด้ากด้วย pH 13 จำนวน 1 ลิตร เติมน้ำมะขามที่เตรียมไว้ ผสมใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีเนื้อครามอยู่ โจมครามให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 72 ชั่วโมง

2) การเตรียมสีย้อมคราม โดยใช้กล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์

ชั่งเนื้อกล้วยน้ำว้าสุกอบป็นละเอียดมา 100 กรัม ละลายในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 1 ลิตร กรองเอากากออก จะได้น้ำกล้วยเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ชั่งเนื้อครามมา 1 กิโลกรัม ละลายด้วยน้ำด่างจีเด้ากด้วย pH 13 จำนวน 1 ลิตร เติมน้ำกล้วยน้ำว้าที่เตรียมไว้ ผสมใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีเนื้อครามอยู่ โจมครามให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 72 ชั่วโมง

6. การย้อมเส้นไหมด้วยคราม

นำเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซีโอไลต์ 4A แช่ในน้ำปราศจากไอออน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเส้นไหมบิดพอหมาด ตวงน้ำย้อมคราม 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จุ่มเส้นไหมลงในน้ำย้อมที่เตรียมไว้ นาน 1 นาที ยกเส้นไหมขึ้นให้สัมผัสอากาศนาน 1 นาที แล้วจุ่มต่อให้ครบ 5 นาที (ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง) ยกเส้นไหมขึ้นจากน้ำย้อม บิดพอหมาด กระตุกเส้นไหมเบาๆ ทิ้งไว้ 1-2 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดจนกว่าน้ำล้างใส จากนั้นนำไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างเส้นไหมที่ย้อมเสร็จไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

7. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นไหม

ทดสอบสัณฐานวิทยาของเส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบซีโอไลต์ 4A ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) รุ่น JSM-6010 LV บริษัท JEOL, USA พิสูจน์เอกลักษณ์เส้นไหมที่ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยซีโอไลต์ 4A ด้วยเครื่อง fourier transform infrared spectrophotometer (FT-IR) Model 45321 spectrum 2000, Perkin Elmer Company, USA นำเส้นไหมหลังย้อมไปวัดค่าความเข้มสีด้วยเครื่องวัดสี (color meter) CIELAB เพื่อหาค่า L^* , a^* , b^* และ K/S ยี่ห้อ Hunter-Lab รุ่น Ultra Scan Vis ทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสง (light fastness) โดยเทียบกับ gray scale ตามมาตรฐาน ISO 105-BO2: 1994 (E) และค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง โดยเทียบกับ gray scale ตามมาตรฐาน TISI 121, volume 3: 2009 method A (1) (40 °C, 30 minutes) ทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเส้นไหมที่เคลือบด้วยซีโอไลต์ 4A โดยวิธี AATCC test method 147-2004 โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus*

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษาปริมาณของปูนขาว และปูนแดงที่เหมาะสมในการทำเนื้อคราม ค่า pH ของน้ำแช่ต้นคราม และเนื้อครามที่ได้ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำเนื้อคราม พบว่า ปริมาณปูนที่เติม 6-10 % ค่า pH ของน้ำแช่ต้นครามเท่ากับ 13 และค่า pH ของเนื้อครามเท่ากับ 11 ซึ่งมีค่า pH มากกว่าการเติมปูนแดง เมื่อใช้ปูนแดงแช่ต้นครามมีค่า pH เท่ากับ 9 และเนื้อครามที่ได้มีค่า pH เท่ากับ 8 ซึ่งปริมาณปูนที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อคราม คือ 6 % (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับสุดกมล ลาโสภา (2561) รายงานว่าการทำเนื้อครามในขั้นตอนการจะใช้ปูนขาว 20 กรัมต่อน้ำคราม 1 ลิตร หรือเติมทีละน้อยจนฟองครามเป็นสีน้ำเงิน ปัญหาที่เกิดในการย้อม

เส้นไหมด้วยกรรมแบบพื้นดั้งเดิมส่วนมากสีฟ้าไหมไม่สม่ำเสมอและสีซีด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเนื้อครามที่นำมาทอหม้อมีปริมาณปูนมากเกินไป เมื่อนำมาข้อมเส้นไหมจึงทำให้สีของเส้นไหมไม่สม่ำเสมอและไม่คงทนต่อแสง นอกจากนี้เส้นไหมยังแข็งกระด้าง ขาดง่าย การทำเนื้อครามเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อคราม โดยเฉพาะการเติมปริมาณปูนลงไปเพื่อตกตะกอนเนื้อคราม หากเติมปูนลงไปปริมาณมากเกินไปจะทำให้ได้เนื้อครามที่มีน้ำหนักมาก แต่ส่งผลเสียต่อเจดสีและความคงทนของสีและความทนทานของเส้นใย โดยเฉพาะเส้นไหมจะขาดง่ายและสีไม่สม่ำเสมอ ซึ่งในกระบวนการทำเนื้อครามตามภูมิปัญญาชาวบ้าน พบว่า ในขั้นตอนการกวนคราม ถ้าสังเกตเห็นน้ำใสสีเขียวแสดงว่าใส่ปูนน้อยเกินไปและมีสีครามเหลืออยู่ในน้ำครามจึงส่งผลให้ได้เนื้อครามในปริมาณน้อยมาก เมื่อนำเนื้อครามไปทอหม้อมีสีจะไม่ติดเส้นใย ถ้าใส่ปูนในปริมาณพอดี น้ำครามใสเป็นสีน้ำตาลเหลือง (สีชา) หากใส่ปูนมากเกินไปเนื้อครามเป็นสีเทาใช้ไม่ได้ เนื้อครามที่ดีต้องเนื้อเนียนละเอียด สีน้ำตาลสดใสน้ำ และเป็นเงา ซึ่งอาจเก็บเป็นเนื้อครามเปียกหรือเนื้อครามผง นอกจากนี้ยังพบว่าในการทำเนื้อคราม เมื่ออุณหภูมิของสีครามตั้งต้นในใบครามจะถูกสลาย ให้สีครามออกมาอยู่ในน้ำครามได้มากที่สุดในเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น และแช่น้ำที่อุณหภูมิปกติเพียง 12 ชั่วโมง (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร, 2555) หลังจากแยกใบครามออกทิ้งแล้วต้องเติมปูนขาวในน้ำครามและเติมปริมาณพอดีจึงทำการกวนให้เกิดฟองและตกตะกอน ซึ่งปูนขาว หรือปูนแดงเป็นสารทำปฏิกิริยาทำให้ครามเกาะตัว หากใส่ปูนลงไปปริมาณมาก ๆ ทำให้ได้เนื้อครามปริมาณมาก แต่เนื้อครามจะต่างเวลาข้อมจะได้สีอ่อน และเวลานำมาข้อมเส้นไหมจะทำให้เส้นไหมต่างและกระด้าง การใช้ปูนขาวต่อถัง 20 ลิตร จึงควรประมาณ 0.5-1 กิโลกรัม (ประวิทย์ อ่องอารีย์ และวิจิตรา สุจริต, 2560) หรือประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ค่า pH ของน้ำแช่ต้นครามและเนื้อคราม

ปริมาณปูนที่เติม (%)	ค่า pH			
	ปูนขาว		ปูนแดง	
	น้ำแช่ต้นคราม	เนื้อคราม	น้ำแช่ต้นคราม	เนื้อคราม
2	9	8	8	7
4	9	8	8	8
6	13	11	9	8
8	13	11	9	8
10	13	11	9	8

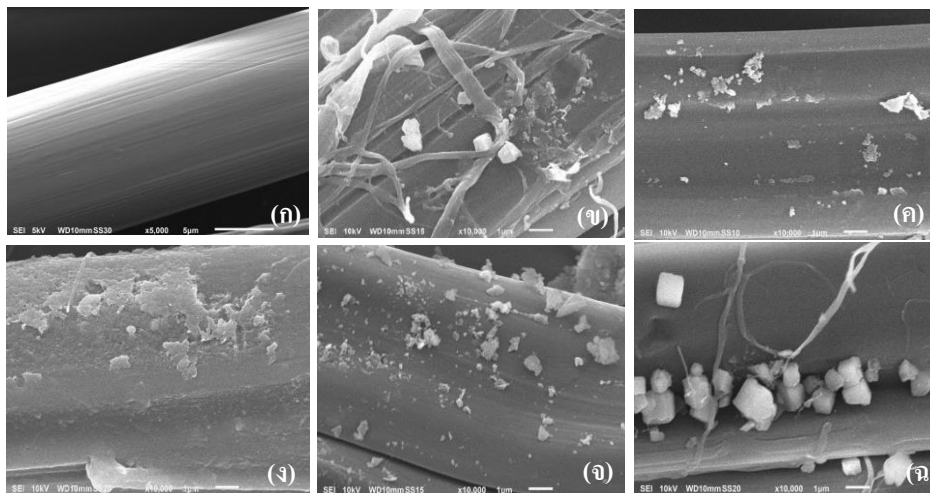
ตารางที่ 2 ร้อยละผลผลิตได้เนื้อคราม

ปริมาณปูนที่เติม (%)	ปูนขาว		ปูนแดง	
	เนื้อคราม (กรัม)	ร้อยละผลผลิตได้	เนื้อคราม (กรัม)	ร้อยละผลผลิตได้
2	100	0.5	40	0.2
4	90	0.45	90	0.45
6	2,000	10	700	3.5
8	2,600	13	1,000	5
10	3,300	16.5	1,900	9.5

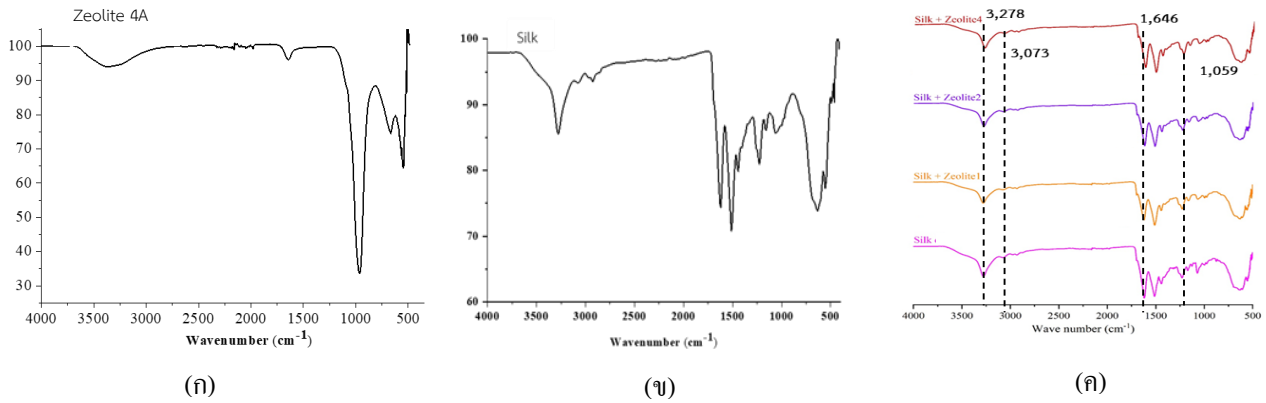
ตารางที่ 2 แสดงร้อยละผลผลิตได้เนื้อคราม พบว่า เมื่อใช้ปูนขาวเติมในการแช่ต้นคราม จะได้เนื้อครามปริมาณมากกว่าใช้ปูนแดง ซึ่งปูนขาวร้อยละ 10 ได้เนื้อครามมากที่สุดหนัก 3,300 กรัม ร้อยละผลผลิตของเนื้อครามมีค่าเท่ากับ 16.5 และเมื่อใช้ปูนแดงร้อยละ 10 ได้เนื้อครามหนัก 1,900 ร้อยละผลผลิตได้เนื้อครามมีค่าเท่ากับ 9.5 แสดงว่าเมื่อเติมปูนขาวในการทำเนื้อครามได้เนื้อคราม

มากกว่าเติมปูนแดง การเติมปูนลงไปปริมาณมาก ๆ ทำให้ได้เนื้อครามปริมาณมาก แต่เมื่อนำมาก่อหม้อครามและนำมาเชื่อมเส้นไหมจะทำให้เส้นไหมด่างและกระด้าง ดังนั้นปริมาณปูนที่เหมาะสมในการเตรียมเนื้อคราม คือ 6 % ผลการทดสอบสัณฐานวิทยาของเส้นไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบด้วย ซีโอโลด 4A บริเวณผิวหน้าของเส้นไหมจะเรียบ ส่วนเส้นไหมที่เคลือบด้วยซีโอโลด 4A จะพบอนุภาคของซีโอโลด 4A กระจายอย่างสม่ำเสมอบนผิวหน้าของเส้นไหม ซึ่งสามารถยืนยันว่ามีอนุภาคของซีโอโลด 4A เกาะที่ผิวหน้าของเส้นไหมและมีอนุภาคมาเกาะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซีโอโลด 4A ดังภาพที่ 1 สอดคล้องกับแถบการสั่นที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ภาพที่ 2 ซึ่งพบว่า ปรากฏแถบการสั่นที่ตำแหน่ง $3,278\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ N-H stretching แถบการสั่นที่ตำแหน่ง $3,073\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ OH stretching แถบการสั่นที่ตำแหน่ง $1,646\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ OH bending แถบการสั่นที่ตำแหน่ง $1,059\text{ cm}^{-1}$ เป็นแถบการสั่นของ Si-O-Si bending (Hajer Aloulou *et al.*, 2017) จึงสามารถระบุได้ว่ามีซีโอโลด 4A เข้ายึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นไหม เนื่องจากแถบการสั่นของหมู่เอไมด์ทุติยภูมิและเอไมด์ทุติยภูมิ เรียกว่าเกิด red shift

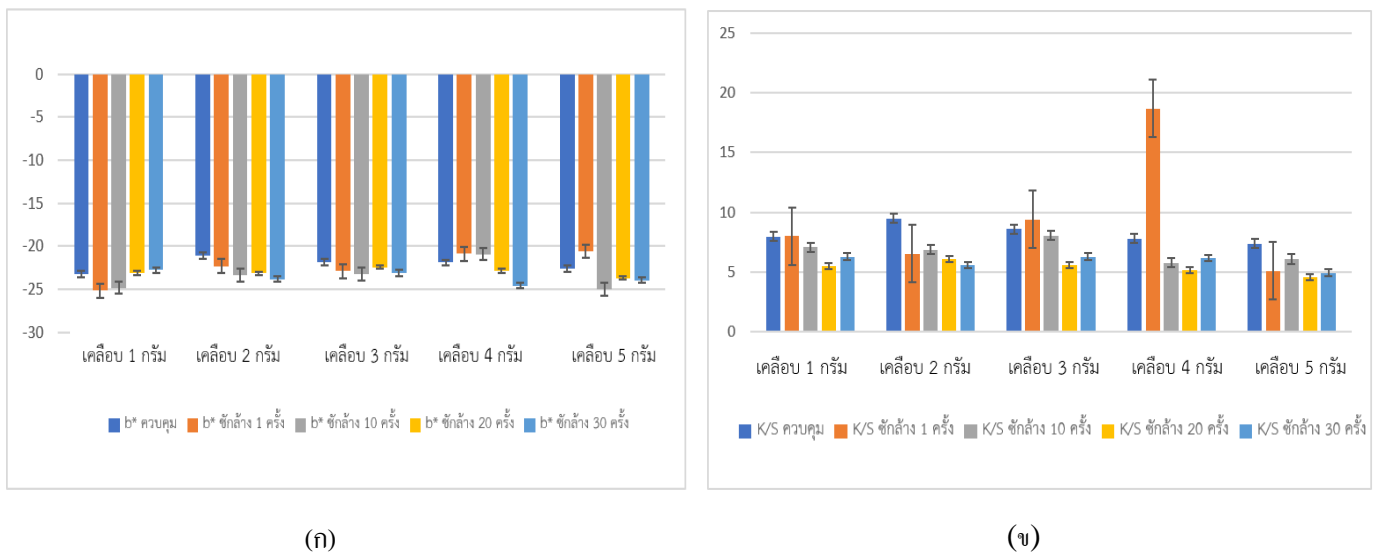
เส้นไหมเชื่อมครามโดยใช้เนื้อมะขามเป็นสารรีดิวซ์ พบว่า เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 1 กรัม (ควบคุม) มีค่าความเป็นสื่อน้ำเงิน (b^*) สูงสุดเท่ากับ -25.13 และเส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 2 กรัม มีค่าความเป็นสื่อน้ำเงินน้อยที่สุดเท่ากับ -20.58 เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม ชักล้าง 1 ครั้ง มีค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุดเท่ากับ 18.68 และเส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 5 กรัม ชักล้าง 20 ครั้ง มีค่าความเข้มสีน้อยที่สุดเท่ากับ 4.54 ดังภาพที่ 3 (ก) และภาพที่ 3 (ข) ตามลำดับ ในขณะที่เส้นไหมเชื่อมครามโดยใช้เนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์ พบว่า เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 1 กรัม มีค่าความเป็นสื่อน้ำเงิน (b^*) สูงสุดเท่ากับ -65 เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม ชักล้าง 10 ครั้ง มีค่าความเข้มสี (K/S) สูงสุดเท่ากับ 14.09 และเส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 2 กรัม ชักล้าง 20 ครั้ง มีค่าความเข้มสีน้อยที่สุดเท่ากับ 5.96 ดังภาพที่ 4 (ก) และภาพที่ 4 (ข) ตามลำดับ



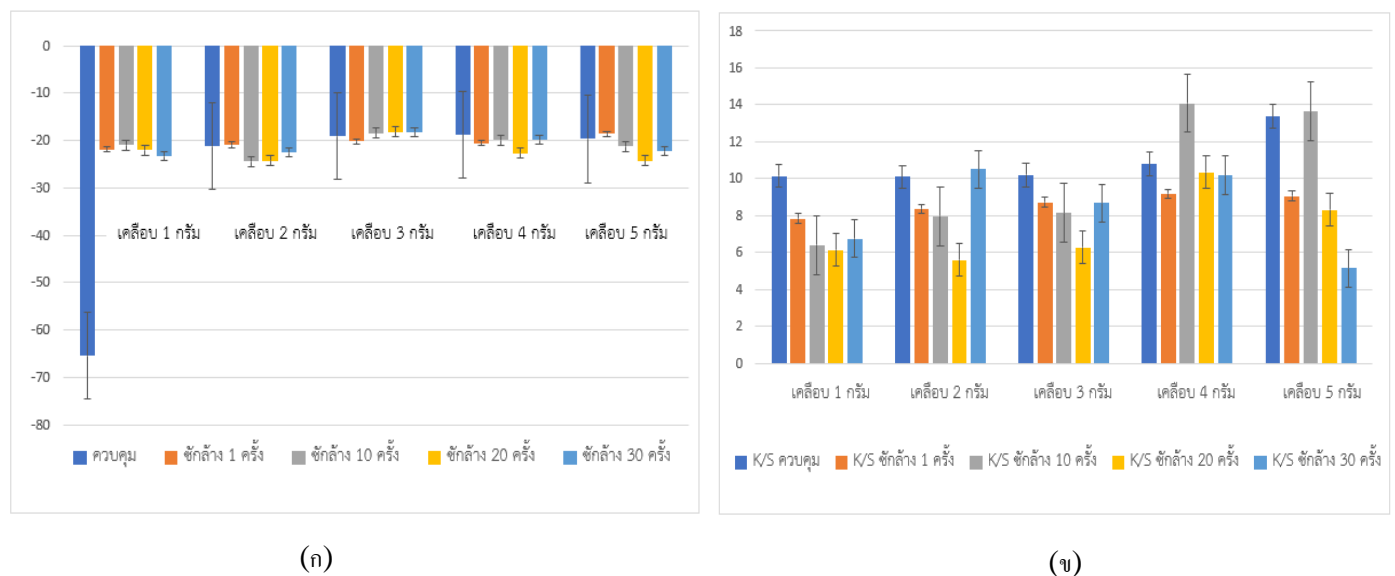
ภาพที่ 1 ภาพถ่าย SEM ของเส้นไหม (ก) ไม่เคลือบซีโอโลด 4A (ข) เคลือบซีโอโลด 4A 1 กรัม (ค) เคลือบซีโอโลด 4A 2 กรัม (ง) เคลือบซีโอโลด 4A 3 กรัม (จ) เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม และ (ฉ) เคลือบซีโอโลด 4A 5 กรัม



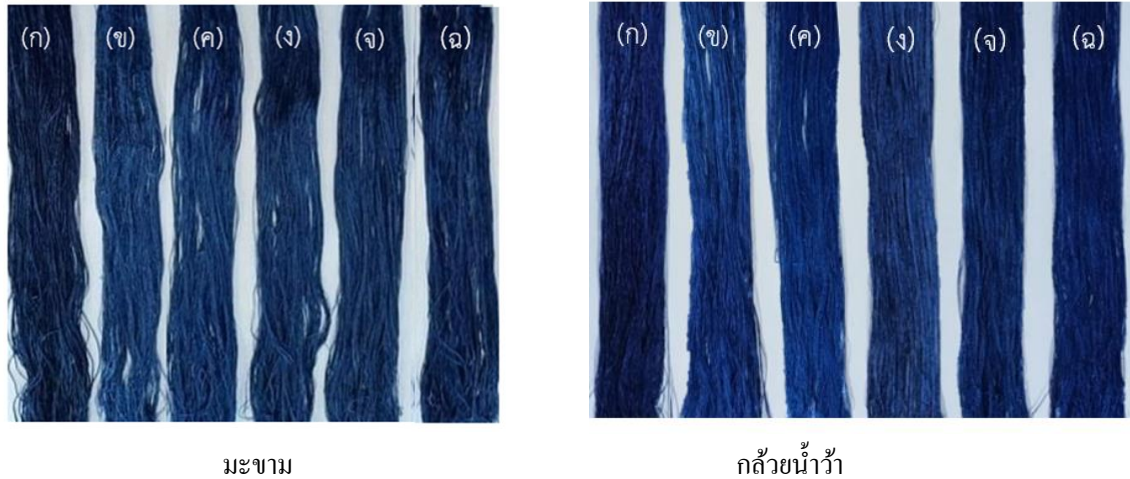
ภาพที่ 2 IR Spectrum ของ (ก) ซีโอไลต์ 4A, (ข) เส้นไหม, (ค) เส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซีโอไลต์ 4A 1, 2 และ 4 กรัม



ภาพที่ 3 ค่า (ก) b^* และ (ข) K/S ของเส้นไหมเคลือบซีโอไลต์ 4A 1 กรัม, 2 กรัม, 3 กรัม, 4 กรัม และ 5 กรัม ข้อมความโดยใช้เนื้อมะขามเป็นสารรีดิวซ์



ภาพที่ 4 ค่า (ก) b^* และ (ข) K/S ของเส้นไหมเคลือบซีโอไลต์ 4A 1 กรัม, 2 กรัม, 3 กรัม, 4 กรัม และ 5 กรัม ข้อมความโดยใช้เนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์



ภาพที่ 5 เจดสีของเส้นไหมข้อมครามโดยใช้เนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์ (ก) ไม่เคลือบซีโอโลด 4A, (ข) เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 1 กรัม, (ค) 2 กรัม, (ง) 3 กรัม, (จ) 4 กรัม และ (ฉ) 5 กรัม

ภาพที่ 5 แสดงเจดสีของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A ข้อมครามโดยใช้เนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์ พบว่า ได้เส้นไหมที่มีความเข้มของเจดสีแตกต่างกัน เส้นไหมที่ไม่เคลือบมีสีน้ำเงินเข้มกว่าเส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A ทั้งนี้เนื่องจากสีของซีโอโลด 4A ที่เคลือบ โดยเส้นไหมที่มีเจดสีน้ำเงินเข้มที่สุด ได้แก่ เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 5 > 4 > 3 > 2 > 1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสูตรของ ลาโสภา (2561) ศึกษาการใช้สารรีดิวซ์ธรรมชาติในกระบวนการย้อมสีครามบนผ้าฝ้าย และการปรับปรุงสมบัติบางประการของผ้าฝ้ายด้วยโคโคซานเมื่อใช้สารเชื่อมโยง จากนั้นย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ พบว่า การใช้ผลไม้สุก ได้แก่ กล้วยน้ำว้า มะขามเปียก ตะขบ มะม่วงน้ำดอกไม้ มะละกอพื้นบ้าน และแตงไทย ผลไม้สุกที่เป็นสารรีดิวซ์ดีที่สุดคือ กล้วยน้ำว้า ซึ่งกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 23% และมะขามมีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 16% กล้วยน้ำว้าจะใช้เวลาในการรีดิวซ์ indigo เป็น indigo white น้อยกว่ามะขาม เนื่องจากมะขามมีกรด ได้แก่ กรดทาร์ทาริก กรดซิตริกและกรดมาลิกซึ่งโมเลกุลของกรดอาจไปขัดขวางการทำงานของน้ำตาลรีดิวซ์ทำให้เวลาในการรีดิวซ์มากกว่ากล้วยน้ำว้า

ตารางที่ 3 ค่าความคงทนของสีต่อแสง และความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซีโอโลด 4A ข้อมครามโดยใช้เนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารรีดิวซ์

ตัวอย่างเส้นไหม	ชนิดสารรีดิวซ์	ระดับความคงทนของสี				
		แสง	การซักล้าง (ครั้ง)			
			1	10	20	30
เส้นไหมที่ไม่เคลือบ	เนื้อมะขาม	5	4-5	4-5	4	3
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	5	4-5	4	3
เส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 1 กรัม	เนื้อมะขาม	4-5	4-5	4	4	3
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	4-5	4-5	4-5	4	3-4
เส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 2 กรัม	เนื้อมะขาม	5	5	4	3-4	3
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	4-5	5	4-5	4	3-4
เส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 3 กรัม	เนื้อมะขาม	5	4-5	4	3-4	3
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	5	4-5	4	3-4
เส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม	เนื้อมะขาม	5	5	4-5	3-4	3-4
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	5	5	4-5	4-5
เส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 5 กรัม	เนื้อมะขาม	5	4-5	4	3-4	3
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	5	5	5	4-5	3-4

จากตารางที่ 3 พบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม มีค่าความคงทนของสีต่อแสงเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) ความคงทนของสีต่อการซักล้าง 1, 10, 20 และ 30 ครั้ง พบว่า เส้นไหมที่ไม่เคลือบซีโอโลด 4A ซักครั้งที่ 1 เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) และความคงทนในการซักล้างเปลี่ยนไปเล็กน้อยเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการซักเป็น 10, 20 และ 30 ครั้ง โดยเงื่อนไขที่ดีที่สุด คือ เส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม มีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับดีมาก (5) และเมื่อทดสอบการซักจำนวน 30 ครั้ง ความคงทนต่อซักอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) ซึ่งสอดคล้องกับสูตรพร ดังควนิช (2563) ศึกษาผ้าฝ้ายเคลือบด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานและนาโนซิงค์ออกไซด์ข้อมคราม ทดสอบสัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายที่เคลือบอนุภาคนาโนไคโตซานและนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วย SEM และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FT-IR ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวีและความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่เคลือบ พบว่า ผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานและนาโนซิงค์ออกไซด์มีผิวหน้าที่เรียบ ผ้าฝ้ายที่เคลือบจะปรากฏอนุภาคนาโนไคโตซานและนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผิวหน้าซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสให้เส้นใยดูดซับโมเลกุลสีข้อมได้มากขึ้น ความคงทนต่อแสงและความคงทนต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่เคลือบข้อมครามเฉลี่ย 4-5 (ดี-ดีมาก) และ 4 (ดี) ตามลำดับ ผ้าฝ้ายเคลือบนาโนไคโตซาน (0.3 และ 0.5 กรัม) : นาโนซิงค์ออกไซด์ (1, 2 และ 3 กรัม) ข้อมคราม ความคงทนต่อการซักล้างจำนวน 30 ครั้ง อยู่ในระดับ 4 (ดี) และสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีเยี่ยมด้วยค่า UPF ในช่วง 51.61-60.31

ตารางที่ 4 ปริมาณของแบคทีเรียที่นับได้หลังจากสัมผัสกับเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซีโอโลด 4A ที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) และเวลาสุดท้าย (24 ชั่วโมง)

ตัวอย่างเส้นไหม	ชนิดสารรีเวิร์	ปริมาณของแบคทีเรีย CFU/กรัม					
		<i>Escherichia coli</i>			<i>Staphylococcus aureus</i>		
		เวลา 0 นาที	เวลา 24 ชม.	% reduction	เวลา 0 นาที	เวลา 24 ชม.	% reduction
ชุดควบคุมแบคทีเรียไม่สัมผัสกับเส้นไหม	-	>300 x10 ⁶	>300 x10 ⁶	0	28.9 x10 ⁶	16.7 x 10 ⁶	42.2
เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม	-	>300 x10 ⁶	>300 x10 ⁶	0	28.8 x10 ⁶	3.6 x 10 ⁵	98.6
ไม่เคลือบ	เนื้อมะขาม	>300 x10 ⁶	>300 x10 ⁶	0	25.6 x10 ⁶	<1.0 x 10 ¹	100
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	>300 x10 ⁶	>300 x10 ⁶	0	26.7 x10 ⁶	3.2 x 10 ⁵	98.8
เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม	เนื้อมะขาม	>300 x10 ⁶	>300 x10 ⁶	0	27.1 x10 ⁶	<1.0 x 10 ¹	100
	เนื้อกล้วยน้ำว้า	>300 x10 ⁶	>300 x10 ⁶	0	26.3 x10 ⁶	1.35 x 10 ⁴	99.5

ตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบหลังจากสัมผัสกับเส้นไหมที่เคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม ที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) และเวลาสุดท้าย (24 ชั่วโมง) เมื่อนำไหมที่เคลือบสารด้านจุลินทรีย์ มาทดสอบการสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* พบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* มีความไวต่อเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมเคลือบซีโอโลด 4A 4 กรัม ข้อมครามโดยใช้เนื้อกล้วยน้ำว้าและเนื้อมะขามเป็นสารรีเวิร์ โดยเฉพาะเส้นไหมที่ข้อมครามใช้เนื้อมะขามเป็นสารรีเวิร์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แสดงปริมาณลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สูงสุด 100 % ขณะที่เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ไม่พบว่ามีความไวต่อเส้นไหมทดสอบทั้งหมด สอดคล้องกับสวนิตย์ดาทอง (2558) ได้พัฒนาผ้าฝ้ายเส้นทอมีข้อมครามด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถพัฒนาคุณสมบัติผ้าฝ้ายให้ดีขึ้น และผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค 0.2% w/v ต่อนานาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.3% w/v มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีสูงที่สุด และผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้

สรุป

ปริมาณของปูนขาว และปูนแดงที่เหมาะสมในการทำเนื้อคราม คือ 6 % เมื่อใช้ปูนขาวเดิมในการแช่ต้นครามจะได้เนื้อครามปริมาณมากกว่าใช้ปูนแดง เจดสีของเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเส้นไหมที่เคลือบซีไอโลด 4A ย้อมครามที่ใช้เนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารย้อมพบว่า เส้นไหมมีความเข้มของเจดสีแตกต่างกัน ความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างของเส้นไหมที่ย้อมครามโดยใช้เนื้อมะขามและเนื้อกล้วยน้ำว้าเป็นสารย้อมพบว่า โดยเงื่อนไขที่ดีที่สุด คือ เส้นไหมที่เคลือบซีไอโลด 4A 4 กรัม ย้อมครามโดยใช้เนื้อกล้วยน้ำว้าและเนื้อมะขามเป็นสารย้อม มีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับดีมาก (5) และเมื่อทดสอบการซักจำนวน 30 ครั้ง ความคงทนต่อซักอยู่ในระดับ 4-5 (ดี-ดีมาก) การทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* พบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* มีความไวต่อเส้นไหมเส้นไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบซีไอโลด 4A 4 กรัม ย้อมครามโดยใช้เนื้อกล้วยน้ำว้าและเนื้อมะขามเป็นสารย้อม เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แสดงปริมาณลดลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา และสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี และขอบคุณวิทยาลัยครูปากเซ จังหวัดจำปาสัก สปป.ลาว ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เนศรา แก้วคง. (2557). การพัฒนาผ้ายับยั้งแบคทีเรียบนวัสดุสิ่งทอ. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาเคมีนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, หน้า 15-30.
- ประวิทย์ อ่องอารีย์ และจิตรรา สุจริต. (2560). การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผ้าครามด้วยรอยเท้าคาร์บอน. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, หน้า 15-34.
- จันทิศา แก้วทองมี. (2555). คู่มือการผลิตผ้าย้อมคราม. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร.
- ศูนย์ศึกษาการพัฒนา ภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร. (2560). การผลิตผ้าย้อมคราม. <pupam.rid.go.th/industry/PDF/19-19.pdf> (สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2561).
- สุวนิตย์ ตาทอง. (2558). การพัฒนาผ้าฝ้ายเส้นทอมือย้อมครามด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.
- สุกมล ลาโสภา. (2561). คุณภาพผ้าย้อมครามสกลนครด้วยกระบวนการทางเคมี. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, หน้า 70-93.
- สุดาพร ดังควนิช. (2563). การปรับปรุงความคงทนของสีและสมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายเคลือบนาโนไคโดซานและซิงค์ออกไซด์ย้อมคราม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ฉบับที่ 3, ปีที่ 30, หน้า 495-507.
- สุดาพร ดังควนิช. (2564). เคมียของการดูดซับและการประยุกต์ใช้. สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, หน้า 105-112.
- สุกมล ลาโสภา ภิภรณ์ ถากงตา และสุพัตรา อัดติยะ. (2555). การพัฒนากระบวนการเตรียมน้ำย้อมสีครามด้วยสารย้อมจากกล้วย. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, หน้า 15-55.
- อ้อยทิพย์ ผู้พัฒน์. (2552). สิ่งทอกับการป้องกันรังสียูวีกรณีศึกษาในผ้าฝ้ายย้อมคราม. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, หน้า 90-110.
- อนรรตน์ สายทอง. (2552). การผลิตสีครามจากต้นคราม. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสกลนคร, หน้า 65-71.



- Hajer Aloulou, Hazem Bouhamed and other. (2017). **Elaboration and characterization of ceramic microfiltration membranes from natural zeolite: application to the treatment of cuttlefish effluents.** International Conference on Mechanical, Aeronautical and Automotive Engineering, vol. 105, no.18, pp. 1-9.
- Laksanawadee Saikhao, Jantip Setthayanond, Thitinun Karpkird and Potjanart Suwanruji. (2018). **Green reducing agents for indigo dyeing on cotton fabrics.** Journal of Cleaner Production, vol. 197, no.1, pp. 106-113.
- Delwar Hossain, Mashiur Rahman Khan and Zulhash Uddin. (2016). **Fastness properties and color analysis of natural indigo dye and compatibility study of different natural reducing agents.** Journal of Polymers and the Environment, vol. 25, no. 4, pp. 1219-1230.