

การบูรณาการภูมิปัญญาการย้อมผ้าภูอัคนีร่วมกับสีผงดอกบัวสัตตบงกชเพื่อเพิ่ม ความหลากหลายสีสันทของผ้าภูอัคนี ณ หมู่บ้านเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์

An Integration of Wisdom in Fabric Phu Ak-nee Dye with Dye Powder from
Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) to Increase Variety of Colors Fabric Phu
Ak-nee in Charoensook Village, Chaloeprakiat Distric, Buriram Province

ชวลีกานต์ สายเนตร^{1*} รุ่งเรือง งาหอม² อิศารัตน์ คิมกระโทก³ และวีราพัชร์ ปุญญพัฒน์ศิริ⁴

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์¹

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์²

สาขาวิชาพัฒนสังคม คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์³

เจ้าหน้าที่เทคโนโลยีสารสนเทศ ศูนย์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์⁴

ชื่อผู้เขียนประสานงาน (Corresponding Author) : Tnakeeluch.s@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้สีย้อมธรรมชาติจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกชโดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย
ร่วมกับการย้อมผ้าภูอัคนี โดยคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ (1) เพื่อศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุในดินภูเขาไฟที่ใช้ย้อมเส้น
ฝ้ายและเส้นไหมที่ใช้ทอผ้าภูอัคนี (2) เพื่อประยุกต์ใช้สารสกัดและสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกชในการย้อมผ้า ภู
อัคนีร่วมกับการใช้สารช่วยติดสีชนิดต่างๆ 3 ชนิด จากผลการทดลององค์ประกอบของแร่ธาตุในตัวอย่างดินภูเขาไฟ ด้วย
เครื่อง EDXRF พบปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) สูงที่สุดเท่ากับ 43.61 %w/w เมื่อนำดินภูเขาไฟมาย้อมเส้นไหมหรือเส้นฝ้าย
ร่วมกับการใช้น้ำเปลือกประดู่ที่มีสารแทนนิน จะทำให้ผ้าภูอัคนีมีสีที่เข้มและติดทนนานยิ่งขึ้น จากนั้นศึกษาการใช้สาร
สกัดและสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกชในการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมร่วมกับการใช้สารช่วยติดสี 3 ชนิด ดังนี้คือ
จุนสี สารส้มและน้ำซ้เถา พบว่าเส้นฝ้ายให้สีที่เด่นชัดเมื่อใช้สารช่วยติดสี 2 ชนิดนั่นคือจุนสีและสารส้ม ส่วนเส้นไหมให้สีที่
เด่นชัดเมื่อใช้สารช่วยติดสีทั้ง 3 ชนิด สรุปได้ว่างานวิจัยนี้เป็นการใช้สารเคมีจากธรรมชาติและสอดคล้องกับหลักการเคมีสี
เขียว

คำสำคัญ : สีผง แทนนิน สีย้อม บัวสัตตบงกช ผ้าภูอัคนี

Abstract

This research was studied the use of natural dyes from the lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.)
petals extract by using distillation water as a solvent in with Phu Ak-nee fabric dye. The objectives of
the study were as follows: (1) to study the mineral elements in volcanic soil used to dye cotton and
silk weaving Phu Ak-nee fabric. (2) to apply extracts and dye powder from lotus petals in Phu Ak-nee
fabric dyeing with 3 different types of mordant. From the experimental results of the elements of the

minerals in the volcanic soil samples with EDXRF, it was found that the highest iron (Fe) was 43.61%w/w. When the volcanic soil was used in silk or cotton dyeing together with Pra-doo extract (*Pterocarpus macrocarpus*) which has tannin. it was found that Phu Ak-nee fabric had a darker and lasting longer color tone. Then, the researchers studied the application of extracts and dye powder from the petal lotus in dyeing cotton and silk (woven Phu Ak-nee fabric) with 3 different types of mordant. When dyeing with alum, copper sulfate and ashes, it was found that the cotton got colored when using 2 mordants which were alum and copper sulfate. The silk colors were obvious when using all 3 types of mordant. The conclusion of this research was to the use of natural reagent that are environmentally friendly and according to the principles of green chemistry.

Keywords: Dye Powder, Tannin, Dyeing, *Nelumbo nucifera* Gaertn., Phu Ak-nee fabric

บทนำ

กลุ่มสตรีทอผ้าภูอัคนี ผลิตผ้าย้อมด้วย “ดินภูเขาไฟ” ซึ่งดินภูเขาไฟที่นำไปย้อมผ้าฝ้ายเกิดจากการที่ปลวกใช้วิธีการทางธรรมชาติ นำดินจากใต้ดินขึ้นมา ซึ่งดินจะมีสีน้ำตาลเข้มไล่ไปจนถึงสีน้ำตาลอ่อน โดยนำดินภูเขาไฟไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน ดินภูเขาไฟ 3 กิโลกรัม ต่อน้ำเปล่า 10 ลิตร ก็จะได้สารละลายสีน้ำตาลหากต้องการผ้าสีเข้มก็ผสมน้ำให้น้อยลง หากต้องการสีอ่อนก็ผสมน้ำให้มากขึ้น นำเส้นไหมหรือเส้นด้ายแช่ในน้ำดินภูเขาไฟ ประมาณ 8-10 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นไหมหรือเส้นด้ายไปล้างด้วยน้ำสะอาด ก่อนนำไปสั้ดกับราวไม้ให้เส้นยี่ดตรง นอกจากนั้นยังมีภูมิปัญญาที่จะรักษาสีผ้าให้คงทนโดยการนำผ้าที่ได้จากการย้อมดินภูเขาไฟไปต้มกับ “น้ำเปลือกต้นประดู่” โดยนำเปลือกต้นประดู่มาต้มในน้ำร้อนแต่ไม่ให้เดือดจนเกินไป หลังจากนั้นนำผ้าที่ต้องการลงไปแช่ประมาณครึ่งชั่วโมง ขั้นตอนนี้จะเป็นการป้องกันการตกสี อีกทั้งในน้ำเปลือกต้นประดู่ก็ยังมียางและสีที่คล้ายกับสีดินภูเขาไฟ จึงเป็นการเคลือบสีไปในตัว ผ้าที่ได้จึงเงางามยิ่งขึ้นและไม่ตกสีซึ่งก็เป็นอีกหนึ่งภูมิปัญญาชาวบ้าน ในการนำวัสดุดิบที่ได้จากท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ [1] อย่างไรก็ตามเฉดสีของผ้าภูอัคนีมีเฉดสีเพียง สีน้ำตาลจากการย้อมด้วยดินภูเขาไฟ ด้วยเหตุนี้กลุ่มชาวบ้านจึงเพิ่มสีอื่นของผ้าภูอัคนี โดยใช้สีสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งบางชนิดมีอันตรายและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ ในระบบทางเดินหายใจ โรคมะเร็ง โรคผิวหนังหรือโรคที่เกิดจากการสะสมของสารเคมีจากการย้อมผ้าด้วยสีเคมี ที่มีกลิ่นฉุน แสบจุก ทำให้เกิดอาการวิงเวียน เป็นโรคพิษสำแดงไม่สามารถที่จะย้อมใหม่ต่อไปได้ และจากรายงานของศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6 [2] พบว่าผู้ประกอบการไหมใช้วัสดุดิบไม่คุ้มค่ากล่าวคือ การย้อมไหมแต่ละครั้งต้องใช้วัสดุดิบที่ให้สีจำนวนมาก เช่น เปลือก ใบ ลำต้นของพืช แต่ผู้ย้อมไหมมักจะเทน้ำย้อมที่ใช้แล้วทิ้งไปทิ้งที่ซึ่งสามารถนำมาใช้ย้อมเส้นไหมได้อีก อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากเส้นไหมมีไม่พอและไม่มีการขนานจัดเก็บเพราะเป็นของเหลวที่มีปริมาณมากหากเก็บในรูปของเหลวเป็นเวลานานก็จะเน่าเสียได้

สีย้อมธรรมชาติตามแหล่งที่มาแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ สีย้อมธรรมชาติจากแร่ธาตุ สีย้อมธรรมชาติจากสัตว์ และสีย้อมธรรมชาติจากพืช โดยส่วนใหญ่จะใช้สีจากแร่ธาตุและจากพืช เช่น สีจากโคลนและดินแดง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสารประกอบพวกอะลูมิเนียมซิลิเกตและสารประกอบโลหะปนอยู่ นอกจากนี้ยังมีสีย้อมที่ได้จากทุกส่วนของพืชทั้ง ราก เปลือก ลำต้น เนื้อไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด ซึ่งสารที่อยู่ในพืชที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีคือสารแอนโทไซยานินทำหน้าที่เป็นสีย้อมและยังมีสารแทนนินที่ทำหน้าที่ช่วยให้สีติดเส้นฝ้ายหรือเส้นไหม

จากรายงานการวิจัยของ Thapanon Settheeworarit [3] ได้รายงานว่าแทนนินจากใบฝรั่งสามารถจับกับไอออนเหล็กในแหล่งน้ำได้ และจากรายงานการวิจัยของ Warangkhanha Khaodee [20] ได้ทำการศึกษาสารสกัดจากกะหล่ำปลี สีม่วงในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิด เช่น Cu^{2+} Pb^{2+} Fe^{3+} และ Al^{3+} โดยควบคุมสภาวะการทดลองด้วยค่า pH ต่างๆ ซึ่งได้อธิบายว่า ในสารสกัดจากกะหล่ำปลีมีสารกลุ่มแอนโธไซยานิน ชนิดไซยานิดินที่สามารถจับกับโลหะหนักบางชนิดและสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถตรวจวัดและมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อีกทั้งรายงานการวิจัยของพรพิมล ม่วงไทย [6] นั้นได้ศึกษาการทำผงสีย้อมจากเปลือกมังคุดบนตัวดูดซับชนิดต่างๆ 3 ชนิดดังนี้คือ (1) ดินสอพอง (2) ซิลิกาเจล และ (3) ดินเบนทอไนต์ และจากรายงานการวิจัยของครินทร์ ฉัตรธีรนนท์ [7] ได้ทำการศึกษาทดสอบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของใบช่อยดำด้วยวิธีการที่สามารถตรวจสอบได้ง่ายด้วยตาเปล่าเช่น สารแทนนิน ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ ซาโปนิน คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ ฯลฯ ด้วยเหตุผลและหลักการดังกล่าวเบื้องต้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจว่าในดินภูเขาไฟมีโลหะชนิดใดปนอยู่และในน้ำประคูดมีสารชนิดใดใช่แทนนินหรือไม่ เหตุใดเมื่อผสมกันแล้วทำให้เกิดสีของผ้าภู่อันเป็นเอกลักษณ์ของชาวบ้านหมู่บ้านเจริญสุข นอกจากนี้ยังมีรายงานวิทยานิพนธ์ของชุลิกานต์ สายเนตร [4] ที่ได้ทำการศึกษาสารสกัดจากกลีบดอกบัวสัตตบงกชที่มีสารแอนโทไซยานิน พบว่าสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่ออยู่ในสภาวะกรดหรือเบสและจากรายงานของ Yoshida K. [5] ได้กล่าวว่ากลุ่มสารแอนโธไซยานินสามารถจับกับโลหะบางชนิดได้เช่น เหล็ก (Fe) หรืออะลูมิเนียม (Al) แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้ยากที่ยึดติดกับเส้นฝ้ายหรือไหมได้

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาองค์ประกอบของแร่ธาตุในดินภูเขาไฟและพัฒนาสีส้นของผ้าภู่อันนี้ โดยใช้สีผงจากกลีบดอกบัวสัตตบงกชซึ่งเป็นสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Dye) ร่วมกับสารช่วยติดสีที่มีพิษน้อย จึงจัดได้ว่างานวิจัยนี้มีแนวทางที่หลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายและสารเคมีที่มีความเป็นพิษตามหลักการเคมีสีเขียว

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบของธาตุในดินภูเขาไฟ

ดินภูเขาไฟ (เก็บตัวอย่างจากภูเขาไฟเขาวังคาร ณ หมู่บ้านเจริญสุข อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.บุรีรัมย์) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) ณ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งใช้ในการสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีในตัวอย่าง โดยใช้หลักการฉายรังสี X-ray ลงในพื้นที่ผิวของตัวอย่าง แล้วแสดงผลออกมาในรูปของปริมาณธาตุต่างๆ ที่พบในตัวอย่าง (Screening Test)



รูปที่ 1 ลักษณะของดินภูเขาไฟที่ใช้สำหรับย้อมผ้าภู่อันนี้

ตอนที่ 2 การสกัดสีย้อมธรรมชาติจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกช [4]

เก็บดอกบัวจากกรมชลประทาน จังหวัดบุรีรัมย์ โดยเลือกที่เป็นดอกตูมและมีสีชมพูจากนั้นเด็ดกลีบดอกบัวลงในภาชนะที่บรรจุแล้วล้างทำความสะอาดด้วย น้ำธรรมดาในครั้งแรกและทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น (distilled water) อีกครั้ง ทิ้งให้แห้งสนิทจึงทำการชั่งน้ำหนักกลีบดอกบัวสด 3,150 กรัม เพื่อนำมาตัดหรือหั่นเป็นชิ้นเล็กๆแล้วจึงทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (Blender) warning commercial แล้วจึงตักใส่ภาชนะที่บรรจุ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3,600 มิลลิลิตร (เพื่อใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัด) ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีนำผ้าขาวบางมารองเอากากของกลีบดอกบัวออกให้เหลือเฉพาะสารสกัดในภาชนะที่บรรจุ ซึ่งสารสกัดที่ได้ในขั้นตอนนี้ยังมีตะกอนของกลีบดอกบัวอยู่ จึงจะต้องกำจัดออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (centrifuge) Hettich รุ่น EBA 8s ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที (ใช้เวลา 30 นาทีในการปั่นเหวี่ยง) หรืออาจจะตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ตกตะกอนด้วยตัวเองจะทำให้ได้สารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดบงกชที่มีสีม่วงเข้มและปราศจากตะกอนซึ่งปริมาตรสุทธิที่ได้ประมาณ 5 ลิตร (ซึ่งใช้สำหรับการย้อมเส้นฝ้ายหนักประมาณ 330 กรัม และเส้นไหมหนักประมาณ 300 กรัมในแต่ละครั้ง) จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer PG Instrument รุ่น T60 พร้อมทั้งวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter, HACH รุ่น HQ411d

ตอนที่ 3 การทำสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดบงกช [6]

ชั่งน้ำหนักสารดูดซับดินสอพอง (ซื้อได้จากร้านขายของชำทั่วไป) ประมาณ 20 กรัม เทสารสกัดดอกบัวสกัดบงกชลงบนสารดูดซับที่เตรียมไว้ โดยเติมทีละ 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นออกเป็นเวลา 15 นาที จึงนำออกจากตู้อบ และเติมสารละลายสีลงไปอีก 5 มิลลิลิตรและอบต่ออีก 15 นาที (ทำตามเช่นเดิม จนกว่าจะเติมสารละลายสีลงไปครบปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการอบสีประมาณ 1 ชั่วโมงจนกระทั่งสีแห้ง)

หมายเหตุ : การทดลองนี้ใช้ตู้อบ marmert, รุ่น UM200-800, SM200-400 ULM/SLM 400-800

ตอนที่ 4 :การย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมเพื่อใช้ร่วมกับการย้อมผ้าอู๋คินิ

ในขั้นตอนนี้ก่อนทำการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหม คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานประกอบทางเคมีของเปลือกประดู่ด้วยวิธี Ferric chloride test ในการวิเคราะห์แทนนิน [7] การเตรียมสารช่วยติดสี(mordant) ชี้เกล้า สารส้ม ($KAl(SO_4 \cdot 12H_2O)$) และ จุนสี ($CuSO_4$) [8]-[9] การศึกษารูปแบบการย้อมที่เหมาะสม (Pre-mordanting, Simultaneous mordanting และ Post mordanting) แล้ววัดค่าเฉดสี CIE Lab ด้วยเครื่อง Hunter Lab, COLOR READER CR-10 [10] และศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณสารช่วยติดสีกับปริมาณของสีย้อม [11] จากผลการทดลองพบว่าเปลือกประดู่มีสารแทนนิน เนื่องจากสารละลายมีสีดำทันทีเมื่อหยดสาร $FeCl_3$ รูปแบบการย้อมที่เหมาะสมที่สุดที่ให้เฉดสีเด่นชัดคือแบบ Simultaneous mordanting และอัตราส่วนระหว่างปริมาณสารช่วยติดสีกับปริมาณของสีย้อมคือ 1:1

4.1การย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมด้วยสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดบงกชร่วมกับสารช่วยติดสี

ชนิดต่างๆ (น้ำชี้เกล้า จุนสีและสารส้ม) [12]

นำเส้นฝ้ายหรือเส้นไหม (ซื้อจากร้านสหสิ อ.เมือง จ.บุรีรัมย์) ที่ผ่านการลอกขาว(scouring) ที่แห้งแล้วมาแช่น้ำกลั่นก่อนการย้อมอีกครั้ง จากนั้นต้มน้ำเกลือที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส แช่ฝ้ายหรือไหมลงในน้ำเกลือก่อนทำการย้อมเป็นเวลา 15 นาที และระหว่างนั้นจะต้องทำการผสมสีย้อมกับสารช่วยติดสีตามอัตราส่วนดังนี้ คือ ถ้าเส้นฝ้ายหรือเส้นไหมหนักประมาณ 100 กรัม จะใช้สีย้อม (สารสกัดดอกบัวสกัดบงกช) ปริมาตร 1,650 มิลลิลิตรต่อสารช่วยติดสีน้ำชี้เกล้า จุนสีและสารส้ม (ซื้อจากร้านขายของชำทั่วไป) ปริมาตร 1,650 มิลลิลิตร โดยต้มให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 70-80

องศาเซลเซียสจากนั้นจึงนำเส้นฝ้ายหรือเส้นไหมที่ผ่านการแช่น้ำเกลือลงเพื่อย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วจึงบิดหมาดๆ เป่าให้แห้งแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งทิ้งไว้และผึ่งลมให้แห้ง จะได้เส้นฝ้ายหรือไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงสดตบงกช

4.2 การย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมด้วยสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสดตบงกชร่วมกับสารช่วยติดสีชนิดต่างๆ (น้ำซีเถ้า จุนสีและสารส้ม) [12]

นำเส้นฝ้ายหรือเส้นไหม (ซื้อจากร้านฮะหลี่ อ.เมือง จ.บุรีรัมย์) ที่แห้งแล้วมาแช่น้ำกลั่นก่อนการย้อมอีกครั้ง จากนั้นต้มน้ำเกลือที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เพื่อย้อมเส้นไหมก่อนทำการย้อมเป็นเวลา 15 นาที ทำการผสมสีย้อมกับสารช่วยติดสีตามอัตราส่วนดังนี้ คือ ถ้าเส้นฝ้ายหรือเส้นไหมหนักประมาณ 100 กรัมจะใช้สีย้อม (สีผงดอกบัวสดตบงกช) หนัก 1,650 กรัมละลายในน้ำปริมาตร 1,650 ลิตรต่อสารช่วยติดสี น้ำซีเถ้า จุนสีและสารส้ม (ซื้อจากร้านขายของชำทั่วไป) ปริมาตร 1,650 มิลลิลิตรโดยต้มให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำเส้นฝ้ายหรือเส้นไหมที่ผ่านการแช่น้ำเกลือลงเพื่อย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วจึงบิดหมาดๆ เป่าให้แห้งแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งทิ้งไว้และผึ่งลมให้แห้ง จะได้เส้นฝ้ายหรือไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสดตบงกช

ตอนที่ 5 การศึกษาความคงทนต่อการซัก(จำลองการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105 A03:1993) และความคงทนของสีต่อแสง (ISO 105 A02:1993) ของเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสารสกัดจากดอกบัวสดตบงกชและสีผงจากดอกบัวสดตบงกช [13]

นำเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสารสกัดจากดอกบัวสดตบงกชและสีผงจากดอกบัวสดตบงกชที่หนักประมาณ 1 กรัม มาวางขนานกับผ้าสักหลาดสีขาวขนาด 5X10 เซนติเมตร แล้วเย็บผ้าสักหลาดและเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมเข้าเป็นผืนเดียวกัน จากนั้นเตรียมน้ำยาซักล้างโดยใช้น้ำยาล้างจานที-โพล (ซื้อจากร้านขายของชำทั่วไป) ปริมาตร 5 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร แล้วจึงตวงน้ำปริมาตร 150 มิลลิลิตรใส่ลงในกระบอกย้อมอีกครั้ง ทำการซักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาทีแล้วนำไปผึ่งให้แห้งเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทุกๆ 5 ชั่วโมงจะต้องนำมาทำการวัดและประเมินผลด้วย Gray Scale, James H. Heal & Co. Ltd. Halifax, HX3 6EP England เพื่อศึกษาสีที่เปลี่ยนไปจากเดิมและสีที่ตกติดผ้าขาว

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของแร่ธาตุในดินภูเขาไฟ

จากการศึกษาองค์ประกอบของแร่ธาตุที่อยู่ในดินภูเขาไฟโดยใช้เครื่อง EDXRF พบว่าปริมาณของแร่ธาตุเหล็ก (Fe) มีมากที่สุดนั่นคือ 43.61%w/w ดังแสดงในตารางที่ 1 จึงเป็นไปได้อย่างยิ่งว่าตัวอย่างดินภูเขาไฟเป็นสีย้อมที่มีโลหะหนักที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแทนนิน (น้ำเปลือกประดู่) ที่เกาะติดกับเส้นฝ้ายหรือเส้นไหมได้

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของแร่ธาตุในดินภูเขาไฟด้วยเครื่อง EDXRF

ลำดับที่	แร่ธาตุ	โลหะ(%w/w)
1	Fe	43.61
2	Si	29.66
3	Al	10.30
4	Ti	7.81
5	K	4.50

6	Ca	3.10
7	Mn	0.51
8	Sr	0.26
9	Zr	0.25

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสารสกัดสีเขียวธรรมชาติจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดตบงกช

สารสกัดจากดอกบัวสกัดตบงกชโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายจะได้สารแอนโทไซยานินที่มีสีม่วงเข้มและให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 530 nm มีสภาพเป็นกรดอ่อน pH เท่ากับ 5.6



รูปที่ 2 ลักษณะของสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดตบงกช

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาการทำสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดตบงกช

การทำสีผงจากดอกบัวสกัดตบงกชโดยใช้ดินสอพองเป็นตัวดูดซับสีเขียวเนื่องจากสามารถหาได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไปและมีราคาถูก ในขั้นตอนการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างดินสอพองกับสารสกัดจากดอกบัวที่เหมาะสมในการทำสีผง พบว่าอัตราส่วนอย่างต่ำระหว่างดินสอพองกับสารสกัดดอกบัวสกัดตบงกชคือ ดินสอพอง 20 กรัม ต่อสารสกัดดอกบัวสกัดตบงกช 50 มิลลิลิตรดังแสดงในตารางที่ 2 และลักษณะของสีผงที่ได้จะมีสีน้ำตาลดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของสีผงที่ได้จากสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดตบงกช

ตารางที่ 2 การแสดงอัตราส่วนของดินสอพอง:สารสกัดจากกลีบดอกบัวสกัดตบงกช

ดินสอพอง (กรัม)	สารสกัดดอกบัวสัตตบงกช (มิลลิลิตร)	ผง (กรัม)	ลักษณะของสีผงที่ได้
5	50	5	ของเหลว
10	50	10	ของเหลว
15	50	15	ผงสีขาวอมเหลือง
20	50	20	ผงสีน้ำตาลแดง
25	50	25	ผงสีน้ำตาลเหลือง
30	50	30	ผงสีน้ำตาลเหลือง
35	50	35	ผงสีเหลือง
40	50	40	ผงสีขาว
45	50	45	ผงสีขาว
50	50	50	ผงสีขาว

ตอนที่ 4 ผลการศึกษาการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมเพื่อใช้ร่วมกับการย้อมผ้าภูอัคนี

จากการศึกษารูปแบบการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมโดยใช้สารช่วยติดสี 3 ชนิด (น้ำซึ้เถ้า จุนสีและสารส้ม) พบว่าการย้อมที่เหมาะสมคือแบบ Simultaneous mordanting หรือการย้อมด้วยการจุ่มเส้นฝ้าย/เส้นไหมลงในสารละลายผสมระหว่างสารช่วยติดสีที่ผสมกับสีย้อม(สารสกัดจากดอกบัวสัตตบงกชหรือสีผง) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะให้สีของเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมเป็นสีเดียวกัน นอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่าเส้นฝ้ายที่ผ่านการย้อมจะให้สีที่เด่นชัดเมื่อใช้สารช่วยติดสี 2 ชนิดนั้นคือจุนสีและสารส้ม ส่วนเส้นไหมที่ผ่านการย้อมจะให้สีที่เด่นชัดเมื่อใช้สารช่วยติดสี 3 ชนิดนั้นคือน้ำซึ้เถ้า จุนสี และสารส้ม ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 : ลักษณะสีของเส้นฝ้ายที่ย้อมด้วยสารส้ม (ซ้าย) ซึ้เถ้า (กลาง) และจุนสี (ขวา)



รูปที่ 5 ลักษณะสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยสารส้อม (ซ้าย) ชี้เถ้า (กลาง) และจุนสี (ขวา)

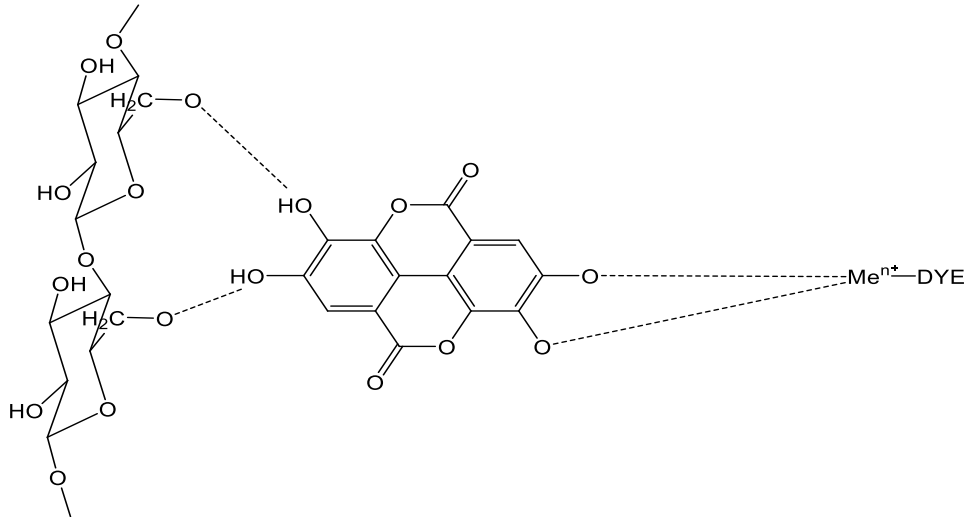
ตอนที่ 5 ผลการศึกษาความคงทนต่อการซัก(จำลองการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105 A03:1993) และความคงทนของสีต่อแสง (ISO 105 A02:1993) ของเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสารสกัดจากดอกบัวสัตตบงกชและสีผงจากดอกบัวสัตตบงกช

นำเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีย้อม(สารสกัดจากดอกบัวสัตตบงกช)และเส้นฝ้าย/เส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีย้อม(สีผงดอกบัวสัตตบงกช) พบว่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการซักจะอยู่ในระดับที่เท่ากับจากสีย้อมทั้ง 2 ชนิด นั้นคืออยู่ในระดับ 4/5 (5 ดีที่สุดคือไม่ตกสี) และเมื่อศึกษาระดับความคงทนของสีต่อแสงนั้นพบว่าเส้นฝ้ายและเส้นไหมมีสีซีดลงตามจำนวนของชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อนำค่าความคงทนต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อหาค่า pair t-test พบว่ามีค่าเท่ากับ -3.89 ซึ่งเมื่อเทียบจากตารางค่าวิกฤตที่ระดับชั้นความเสรี $n-1$ เท่ากับ 47 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $t = 2.01$ จะเห็นว่าค่า t จากการคำนวณน้อยกว่าค่า t ในตาราง แสดงว่าเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมและสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การอภิปรายผล

ตอนที่ 1 องค์ประกอบของธาตุในดินภูเขาไฟ

จากการศึกษาองค์ประกอบของแร่ธาตุที่อยู่ในดินภูเขาไฟโดยใช้เครื่อง EDXRF พบปริมาณของแร่ธาตุเหล็ก (Fe) มากที่สุดนั้นคือ 43.61%w/w เป็นไปได้อย่างยิ่งว่าตัวอย่างดินภูเขาไฟเป็นสีย้อมและมีโลหะหนักที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับน้ำเปลือกประดู่(แทนนิน) ที่ยึดติดกับเส้นฝ้ายหรือเส้นไหมได้ [14] ซึ่งแบบจำลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจะแสดงในรูปที่ 6 และ 7 จากงานวิจัยของ Aniket Bhute [15] ที่ได้ทำการศึกษาสีย้อมจากธรรมชาติและสารช่วยติดสี

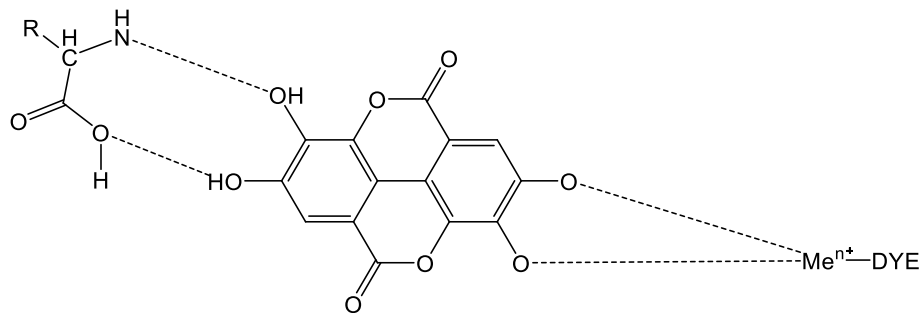


โครงสร้างของเส้นฝ้าย

โครงสร้างแทนนิน

สีย้อมดินภูเขาไฟที่มีโลหะเหล็ก

รูปที่ 6 แบบจำลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสีย้อมดินภูเขาไฟกับแทนนินจากเปลือกประตูและเส้นฝ้าย
 ที่มา : Aniket Bhute [15]



โครงสร้างของเส้นไหม

โครงสร้างแทนนิน

สีย้อมดินภูเขาไฟที่มีโลหะไอออนเหล็ก

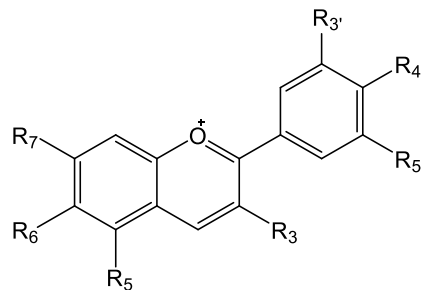
รูปที่ 7 แบบจำลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสีย้อมดินภูเขาไฟกับแทนนินจากเปลือกประตูและเส้นไหมที่มา :
 Aniket Bhute (2012) [15]

ตอนที่ 2 สารสกัดสีย้อมธรรมชาติจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกช

สารสกัดจากดอกบัวสัตตบงกชโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายมีสีม่วงเข้ม ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 530 nm มีสภาพเป็นกรดอ่อน ค่า pH เท่ากับ 5.6 จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจึงสรุปได้ว่า สารสกัดดังกล่าวนี้คือสารแอนโทไซยานิน ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในแควคิวโอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผล และ ใบของพืชดอก (angiosperms) จะมีสีแดง ม่วง ส้มและน้ำเงินเป็นหลักค่าการดูดกลืนแสงจะอยู่ในช่วง 520-550 nm ค่า pH มีหลายช่วงขึ้นกับสภาพความเป็นกรดหรือเบสของสารละลายซึ่งจะสอดคล้องกับสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Warangkhan Khaodee [20] และของพรพิมล ม่วงไทย [6] ที่ได้ ทำการศึกษาของกลุ่มของสารแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีสีม่วงและเปลือกมังคุด

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาการทำสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดบงกช

การทำสีผงจากดอกบัวสกัดบงกชโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและใช้ดินสอพองเป็นตัวดูดซับสีย้อม ลักษณะของสีผงที่ได้มีสีน้ำตาลเนื้อละเอียด สอดคล้องกับงานวิจัยของพรพิมล ม่วงไทยและคณะ [6] ที่ได้ทำการศึกษาการเตรียมผงสีย้อมจากเปลือกผลมังคุดบนสารดูดซับซึ่งได้อธิบายไว้ว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายและใช้ดินสอพองเป็นตัวดูดซับ มีสีน้ำตาลเนื้อละเอียดและเนื่องจากดินสอพองเป็นสารที่มีชื่อทางเคมีว่า Marly limestone ซึ่งมีสารประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตมากถึง 75 % การที่มีโครงสร้างเป็นหินปูนจึงมีความเป็นเบสอ่อน จึงทำให้สามารถจับกับโครงสร้างสารสีหลักในเปลือกมังคุด คือ สารแอนโทไซยานิน ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีโครงสร้างดังภาพรูปที่ 8 ซึ่งเป็นโครงสร้างเบส นอกจากนี้ในเปลือกมังคุดก็มีสารฟีนอลิกด้วย ดังนั้นแอนโทไซยานินในเปลือกมังคุดจึงได้ได้อยู่ในรูปสารบริสุทธิที่เดียวแต่อาจจะเป็นสารอนุพันธ์ของสารแอนโทไซยานินด้วย แต่อย่างไรก็ตามการที่โครงสร้างสารสีหลักเป็นเบสจึงทำให้เกิดการเกาะบนสารดูดซับประเภทดินสอพองได้ดียิ่งขึ้น

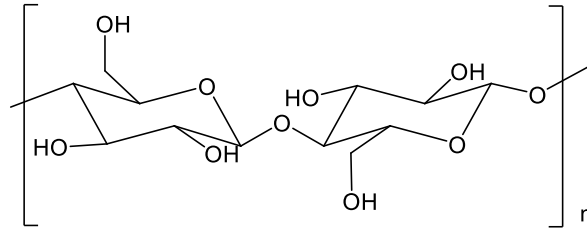


รูปที่ 8 โครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Anthony Ananga et al., 2013 [18]

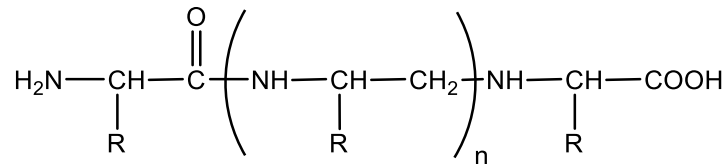
ตอนที่ 4 การย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมเพื่อใช้ร่วมกับการย้อมผ้าอู๋คินี่

จากรูปที่ 4-5 ผลของการศึกษาการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมเพื่อใช้ร่วมกับการย้อมผ้าอู๋คินี่ด้วยสารสกัดและสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดบงกช พบว่าเส้นฝ้ายมีสีที่เด่นชัดเมื่อย้อมด้วยสารช่วยติดสีสารส้มและจุนสี ส่วนน้ำซึ่ถ้าไม่ติดสีที่เด่นชัด อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากสารส้มมีสูตรโมเลกุลคือ $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ และจุนสีมีสูตรโมเลกุลคือ $CuSO_4$ ซึ่งประกอบไปด้วยโลหะหนักที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสีย้อม(สารสกัดและสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสกัดบงกช)และโครงสร้างของเส้นฝ้ายได้ ส่วนน้ำซึ่ถ้ามีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วที่มีประจุลบ (OH⁻) เช่น KOH มีฤทธิ์เป็นด่างเช่นเดียวกับโครงสร้างของเส้นฝ้าย จึงทำให้ไม่สามารถสร้างพันธะไอออนิกที่แข็งแรงและเกิดสีที่มีคุณสมบัติที่ทนต่อการตกสีได้ วิธีการแก้ไขคือจะต้งนำเส้นใยฝ้ายมาย้อมด้วยกรดแทนนิก (Tannic acid) ซึ่งทำหน้าที่เป็น mordant ก่อน (ในกรณีนี้ไม่ใช่โลหะเป็นเพียงสารที่ทำให้เกิดตะกอนเมื่อผสมกับสีย้อมและเป็นสารที่ยึดสีย้อมให้ติดกับผ้า) ซึ่งสอดคล้องกับหลักการย้อมผ้าและการย้อมผ้าจากมหาวิทยาลัยรามคำแหง[14] ที่ได้ อธิบายว่าสาเหตุที่เส้นไหมสามารถจับกับสารช่วยติดสีทุกชนิดได้และให้สีเข้มเนื่องจากโครงสร้างของเส้นไหมคล้ายคลึงกับสายพอลิเปปไทด์ที่มีคุณสมบัติแบบ zwitter ion ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่แตกต่างกัน 20 ชนิด ไหมจะมีหมู่ $-NH_2$ และ $-COOH$ ที่ปลายโซ่พอลิเปปไทด์จึงสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ออกซิโครมของสีย้อมที่เป็นหมู่กรดและเบสได้ดี สีจึงติดทนไม่ตกง่าย



รูปที่ 9 โครงสร้างของเส้นฝ้าย(Cellulose)

ที่มา: Nishiyama, Yoshiharu; Langan, Paul; Chanzy, Henri, 2002 [19]



รูปที่ 10 โครงสร้างของเส้นไหม(Silk)

ที่มา : สีย้อมและการย้อมผ้า, 2559 [13]

จากผลการทดลองในตอนที่ 1 และ 4 เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมเพิ่มเติมด้วยสีผงดอกบัวสัตตบงกชร่วมกับน้ำเปลือกประดู่ จากผลการทดลองพบว่าสีเส้นฝ้ายไม่ติดสีแต่เส้นไหมให้สีที่เด่นชัดคือ สีน้ำตาลเข้ม ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการใช้สารช่วยติดสีจากขี้เถ้า ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 สีของเส้นไหม (ซ้าย) และสีของเส้นฝ้าย (ขวา) ที่ย้อมด้วยสีผงดอกบัวสัตตบงกชร่วมกับน้ำเปลือกประดู่

ตอนที่ 5 ผลการศึกษาความคงทนต่อการซัก(จำลองการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105 A03:1993) และความคงทนของสีต่อแสง (ISO 105 A02:1993) ของเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสารสกัดจากดอกบัวสัตตบงกชและสีผงจากดอกบัวสัตตบงกช

จากผลการทดลองตอนที่ 5 พบว่าเส้นฝ้ายและเส้นไหมมีความคงทนต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับที่ดีมากคือ ระดับที่ 4/5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารสกัดและสีผงจากกลีบดอกบัวหลวงสัตตบงกชนั้นให้สีที่เกิดจากการควัดฤกษ์ของสารแอนโทไซยานินที่มีสีม่วงเข้ม สามารถใช้งานด้านการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ใช้ทอผ้าภูอัคนีได้จริง และมีความคงทนต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงในระดับดีมากให้ผลไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของสืบศักดิ์ ก้อนคำดี[13]ที่ได้ศึกษาการย้อมทึบสีธรรมชาติจากประดู่ หมากและทับทิม

บทสรุป

ผ้าภูอัคนีที่มาจากสินหินภูเขาไฟและหินภูเขาไฟนั้นมีเพียงเฉดสีเดียวคือสีส้มแดงอิฐ ดังนั้นชาวบ้านจึงได้มีการเพิ่มสีเส้นของผ้าโดยใช้สีจากสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเองรวมถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการลดการใช้สีสังเคราะห์ คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาสีย้อมดอกบัวสัตตบงกชซึ่งเป็นสีจากธรรมชาติเพื่อเพิ่มสีเส้นผ้าภูอัคนีโดย มีวัตถุประสงค์คือช่วยลดอันตรายที่เกิดจากการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ในขั้นตอนแรกทำการสกัดสีจากดอกบัวสัตตบงกชด้วย ตัวทำละลายที่เป็นพิษน้อยที่สุดนั่นคือน้ำและเมื่อสารสกัดที่ได้อยู่ในสภาวะกรด-เบสจะให้สีที่แตกต่างกัน คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะประยุกต์ใช้ร่วมกับการย้อมผ้า ดังนั้นในการศึกษาขั้นที่สองจะต้องทำการเตรียมสารช่วยติดสีชนิดต่างๆ และศึกษาวิธีการย้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสีย้อมจากสารสกัดดอกบัวสัตตบงกชสามารถย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมที่ใช้สำหรับการทอผ้าภูอัคนีได้จริง จากผลการทดลองพบว่าสารช่วยติดสี 3 ชนิดที่ให้เฉดสีที่โดดเด่นมากที่สุดสำหรับการย้อมเส้นฝ้ายและเส้นไหมนั้นคือ น้ำซึ้เก็ก จุนสีและสารส้ม และเนื่องจากน้ำสีย้อมจากสารสกัดจากดอกบัวสัตตบงกชมีอายุการใช้งานที่น้อย(เพียงแค่ 7 วันหรือหนึ่งสัปดาห์) หรือเสื่อมสลายตามธรรมชาติได้เร็วและมีศัตรูเป็นหนอนกระทุ้งและหนอนชอนใบทั้งต้น ซึ่งจะเกิดในช่วงปลายฤดูฝนและในฤดูหนาวซึ่งเป็นระยะที่บัวชะงักการเจริญเติบโต ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นเก็บรักษาสีย้อมไว้ได้นานและสามารถที่จะนำสีย้อมมาใช้ได้อย่างสะดวกตามต้องการโดยไม่ต้องคำนึงถึงฤดูกาลหรือโรคหนอน คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการทำสีผงโดยใช้ดินสอพองเป็นตัวดูดซับเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่ายและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมตามหลักการเคมีสีเขียว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 ขอขอบคุณนักศึกษา สาขาวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัยและช่วยในการเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ที่ให้คำแนะนำและคอยดูแลประสานงานประชาสัมพันธ์ตลอดจนโครงการแล้วเสร็จ ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. เกตุ กรุดพันธ์ สำหรับแนวทางในการทำวิจัยและคำปรึกษาต่างๆ เป็นอย่างดี ตลอดจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีอุปการะทุกท่านที่ช่วยเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จ ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มทอผ้าฝ้ายผ้าไหม. (2557). "ผ้าภูอัคนี" สีสิ้นจากพื้นดิน (ภูเขาไฟ) งดงามอย่างมีเอกลักษณ์. เข้าถึงเมื่อ (5 ตุลาคม 2558). เข้าถึงได้จาก (<http://www.manager.co.th>.)
- [2] ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6. (2555). คู่มือการทำสีผงจากน้ำย้อมไหมสีธรรมชาติ. นครราชสีมา : ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6
- [3] Thapanon Settheeworarit, Supaporn Kradtap Hartwell, Somchai Lapanatnoppakhun, Jaroon Jakmune, Gary D. Christian, Kate Grudpan.(2005). Exploiting guava leaf extract as an alternative natural reagent for flow injection determination of iron. Talanta. Vol 68, pp. 262-267
- [4] ชุติกันต์ สายเนตร. (2554). การประยุกต์สารสกัดจากกลีบดอกบัวสัตตบงกชสำหรับเป็นอินดิเคเตอร์กรดเบส. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [5] Yoshida K, Mori M, Kondo T. (2009). Blue flower color development by anthocyanins : from chemical structure to cell physiology. Nat Prod Rep. Vol 76. Issue7. pp. 884-915
- [6] พรพิมล ม่วงไทย สุจิตรา ศรีสังข์ นงนุช พรณรงค์ และชุตติมาพร วรณวงษ์ (2556). การเตรียมผงสีย้อมจากเปลือกมังคุดบนสารดูดซับ. เข้าถึงเมื่อ (5 ตุลาคม 2558). เข้าถึงได้จาก (researchconference.kps.ku.ac.th/article_7/pdf/p_sci_tech23.pdf)
- [7] ศรีรินทร์ ฉัตรธีระนันท์ วรางคณา สบายใจและ สิริมาส นิยมไทย. (2556). การทดสอบองค์ประกอบทางฟลูออเรสเซนซ์ และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของใบข่อยดำ. Vol. 41. No.3. pp. 723-730. เข้าถึงเมื่อ (5 ตุลาคม 2558). เข้าถึงได้จาก (scijournal.kku.ac.th/files/.pd)
- [8] กัลยา จำปาทอง. (18 กุมภาพันธ์ 2557). การถ่ายทอดกระบวนการย้อมด้วยสีธรรมชาติ ครั้งที่ 2 ณ กลุ่มทอผ้าไทลื้อบ้านทุ่งมอก ต.เชียงบาน อ.เชียงคำ จ.พะเยา. เข้าถึงเมื่อ (5 ตุลาคม 2558). เข้าถึงได้จาก (http://up.ac.th/News_Read.aspx?itemID=8615.)
- [9] John Little. (2009). Polar versus Nonpolar Compounds, of the Flinn Scientific-Teaching Chemistry eLearning Video Series. เข้าถึงเมื่อ (8 สิงหาคม 2558). เข้าถึงได้จาก:(<http://www.flinnsci.com/media/620609/91251.pdf>)
- [10] อารีรัตน์ โพธิ์สุวรรณ. (2558). การย้อมฝ้ายทอมือด้วยสีธรรมชาติ. เข้าถึงเมื่อ (14 สิงหาคม 2559). เข้าถึงได้จาก (<https://plus.google.com/102436505348513590456>)
- [11] M. Kumaresan, P. N. Palanisamy and P. E. Kumar. (2012). APPLICATION OF ECOFRIENDLY NATURAL DYE ON SILK USING COMBINATION OF MORDANTS. International Journal of Chemistry Research. Vol 2. Issue 1. pp. 11-14
- [12] ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ. (2537). การลอกกาวไหม.
ร้อยเอ็ด : ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ

- [13] สืบศักดิ์ ก้อนคำดี. (2554). การย้อมทับสีจากธรรมชาติจากประตู หมาก และทับทิม. สาขาวิชาสิ่งทอ : มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
- [14] มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2558). สีย้อมผ้าและการย้อมผ้า. เข้าถึงเมื่อ (14 สิงหาคม 2559). เข้าถึงได้จาก (e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-8.pdf.)
- [15] K. H. Prabhu and Aniket S Bhute. (2012). Plant based natural dyes and mordants : A Review. J. Nat. Prod. Plant Resour. Vol 2. Issue 6. pp. 649-664
- [16] Moseley .F. (1990). The structure of Masirah Island. Oman Geological Society, London, Special Publications. Vol.49. pp. 665-671.
- [17] Du.C.T.,Francis.F.J. (2006). Anthocyanin of Mangostin,*Garcinia mangostana* .Journal of Food Science. Vol 42. Issue 6. pp. 1667-1668
- [18] Anthony Ananga, StoyankaKrastanova, SafiraSutton, Stephen Leong, and VioletkaColova(Tsolova). (2011). Molecular Assessment of Anthocyanin Biosynthesis Pathway in Synchronized In Vitro Red Cell Cultures of American Native Grapes. Proc. Fla. State Hort. Soc. Vol.124. pp.7-12
- [19] Nishiyama, Yoshiharu, Langan, Paul, Chanzy, Henri. (2002). "Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I β from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction." J. Am. Chem. Soc. Vol 124. Issue 31. pp. 9074-9082.
- [20] Warangkhan Khaodee, Wanlapa Aeungmaitrepirom, Thawatchai Tuntulani. (2014). "Effectively simultaneous naked-eye detection of Cu(II), Pb(II), Al(II) and Fe(III) using cyaniding extract from red cabbage as chelating agent." Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy Vol. 126. pp. 98-104.