การย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย

Natural Indigo Dyeing of Braided Sisal Fibers

จันทร์รัตน์ ทับทิมเขียว[1*], ธนัชชา เสือสุด[2], รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์[3], ก้องเกียรติ มหาอินทร์[3], จารุวรรณ ดิศวัฒน์[3], ณัฏฐธิดา เริงธนพิบูลย์[3], จิราเมธ สุภารัตน์[3], ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร[4]

[1]บริษัทยูเนียน ทีเอสแอล จำกัด เลขที่ 14/1 ซอยสุขสวัสดิ์ 21 แขวงบางปะกอก เขตราษฎร์บูรณะ จ.กรุงเทพฯ 10140
[2]บริษัท สลีพเวลล์ อุตสาหกรรม จำกัด เลขที่ 17/7 หมู่ 2 ตำบลชัยมงคล อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร 74000
[3]คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 517 ถนนนครสวรรค์ แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
[4]ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: จันทร์รัตน์ ทับทิมเขียว e-mail: sale_cad01@utsl.co.th, palmjant@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย โดยมุ่งเน้นเปรียบเทียบผลของการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเพิ่มประจุบวก (Cationizing agent) ต่อความเข้มของสีและสมบัติความคงทนของสี โดยกำหนดสภาวะการย้อมที่ใช้ความเข้มข้นของครามตั้งแต่ 20 ถึง 200 กรัมต่อลิตร ทั้งในกรณีเส้นใยที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพ ผลการศึกษาพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพสามารถยึดติดสีย้อมได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่าความเข้มสี (K/S) ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 14.57 เป็น 26.10 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคราม และมีค่าความสว่าง (L*) ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงการดูดซึมของสีที่มากขึ้น ส่วนค่าพิกัดสีในระบบ CIELAB ได้แก่ค่า a* และ b* แสดงแนวโน้มสอดคล้องกับลักษณะของสีย้อมครามที่มีโทนน้ำเงิน จากการทดสอบความคงทนของสีพบว่า สีมีความคงทนต่อน้ำและแสงแดดอยู่ในระดับดีมาก แต่ค่าความคงทนต่อการขัดถูอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะไม่ละลายน้ำของสีย้อมครามที่ยังคงเกาะอยู่บนผิวเส้นใยด้วยแรงทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจน ดังนั้น การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเพิ่มประจุบวกจึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติ และควรมีการศึกษาต่อเนื่องในด้านการสร้างพันธะเคมีถาวรเพื่อเพิ่มความคงทนของสีในเชิงอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การย้อมสีธรรมชาติ สีครามจากธรรมชาติ เส้นใยป่านศรนารายณ์ การถักเปีย

Abstract

This research aimed to investigate the natural indigo dyeing of braided sisal fibers and to examine the effects of fiber pretreatment using a cationizing agent on dye absorption and color fastness properties under varying indigo concentrations from 20 to 200 g/L. The results revealed that pretreated fibers significantly improved dye uptake, as indicated by a marked increase in color strength (K/S) values from 14.57 to 26.10, along with a continuous decrease in lightness (L*), signifying deeper color penetration.

Additionally, the CIELAB coordinates (a*, b*) supported the blue hue characteristics of indigo. Color fastness tests showed excellent resistance to water and light, but moderate rubbing fastness, possibly due to the insoluble nature of indigo dye that adhered to the fiber surface through van der Waals forces and hydrogen bonding. Consequently, fiber pretreatment with a cationic agent plays a crucial role in enhancing the dyeing performance of natural indigo, and further research on establishing permanent chemical bonding is recommended to ensure industrial sustainability.

1. บทนำ

ป่านศรนารายณ์มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Agave sisalana L. ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Agavaceae และอยู่ในชนิด Sisalana มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า “Sisal” ขณะที่ในประเทศไทยมักเรียกกันทั่วไปว่า “ป่านศรนารายณ์” พืชชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคอเมริกากลางและอเมริกาใต้ โดยคำว่า “Sisal” นั้นมีที่มาจากชื่อท่าเรือไซซอลในแคว้นยูคาตัน เปอริลซัล ประเทศเม็กซิโก ซึ่งเป็นแหล่งค้าป่านศรนารายณ์แห่งแรกของโลก [1-2] ป่านศรนารายณ์เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีลักษณะลำต้นกลม สั้น และเป็นปล้องถี่ โดยลำต้นถูกหุ้มล้อมด้วยใบที่เรียงเป็นวงสลับเวียนรอบลำต้น ใบแตกออกตั้งแต่บริเวณโคนต้นไปจนถึงยอด โดยใบอ่อนจะอยู่ด้านในบริเวณยอด ส่วนใบแก่จะอยู่ด้านนอกด้านล่างสุด พืชชนิดนี้ไม่มีลำต้นสูงโดดเด่น เนื่องจากความสูงรวมของลำต้นและใบอยู่ที่ประมาณ 1 ถึง 3 เมตร (ภาพที่ 2.1) ที่โคนลำต้นสามารถแตกหน่อเป็นต้นใหม่ได้เมื่อมีอายุครบหนึ่งปี ระบบรากของป่านศรนารายณ์เป็นแบบรากฝอย ไม่มีรากแก้ว และสามารถหยั่งลึกลงดินได้ราว 30 ถึง 40 เซนติเมตร อีกทั้งยังแผ่ขยายตามแนวหน้าดินได้ยาวถึง 1.5 ถึง 3 เมตร ลักษณะของใบมีความแบน หนา อวบน้ำ รูปร่างเรียวยาว โดยไม่มีก้านใบ ขอบใบมีหนามขนาดเล็ก และปลายใบมีลักษณะเป็นติ่งแหลมหรือหนามสีดำ ยาวประมาณ 1.5 ถึง 3 เซนติเมตร ใบมีผิวเรียบ สีเขียวสดถึงเขียวเข้ม และมีไขปกคลุม แผ่นใบมีความกว้างประมาณ 10 ถึง 15 เซนติเมตร และยาวราว 1 ถึง 2 เมตร ภายในใบแต่ละใบมีเส้นใยจำนวนมากเรียงตัวตามแนวยาว น้ำหนักเฉลี่ยของใบอยู่ที่ประมาณ 200 กรัม และสามารถให้เส้นใยได้ประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักใบ [3-4]

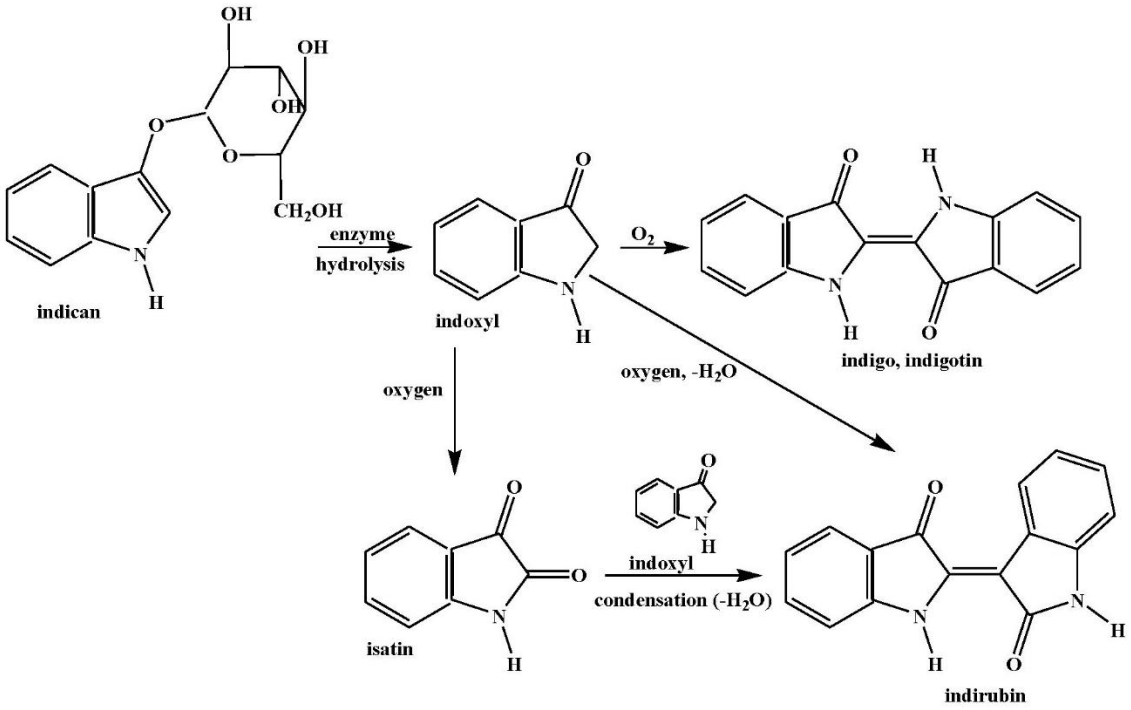
ภาพที่ 1 ต้นป่านศรนารายณ์

ภาพที่ 2 เส้นใยจากใบป่านศรนารายณ์

ปริมาณ หรือ น้ำหนักของเส้นใยที่จะได้จากป่านนั้น จากการทดลองของงานปอและพืชเส้นใยของกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ ปรากฏว่าน้ำหนักใบป่านสด 100 กิโลกรัม จะให้เส้นใย 2.5-3.0 กิโลกรัม (ภาพที่ 2) ใบป่านสด 250 ใบ จะหนักประมาณ 100 กิโลกรัม ในเนื้อที่ 1 ไร่ กสิกรอาจผลิตเส้นใยป่านได้ 60 – 80 กิโลกรัม โดยขายได้กิโลกรัมละ 10 – 16 บาท ในกรณีใบสดขายตันละประมาณ 200 บาท ใน 1 ไร่ จะได้ใบป่านสดประมาณ 5 ตัน ต่อ ไร่ [4]

สีครามธรรมชาติถูกสกัดจากใบครามสด (*Indigo Tinctoria*) (ภาพที่ 3) ในรูปของสารต้นตอ (precursor) คือสารอินดิแคน(Indican) หรือ อินดอกซิลกลูโคไซด์ (Indoxyl - β - D – glucoside) ซึ่งสารนี้จะเป็นสารที่ไม่มีสี และไม่ละลายในน้ำ แต่เมื่อถูกแช่ในน้ำโดยให้เกิดการหมักเป็นเวลา 1-2 วัน จะมีเอนไซม์ชนิดหนึ่งในใบครามมีชื่อว่า บีตา – กลูโคสิเดส (β- glucosidase) รวมทั้งแบคทีเรีย จะช่วยทำให้สารอินดิแคนแตกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) อินดอกซิล (Indoxyl) และ (2) กลูโคส สาร 2 ชนิดนี้เป็นสารไม่มีสี แต่ละลายน้ำได้ทั้งคู่ หลังจากที่หมักเสร็จแล้วจะนำใบครามทิ้งไปและมีการเติมปูนขาวซึ่งทำหน้าที่รองรับตัวสีคราม หลังจากนั้นจะมีการกวนแรงๆ เพื่อเติมอากาศลงไปผสมกับสารละลายที่ได้จากการหมัก สารอินดอกซิลจะถูกออกซิไดซ์ด้วยอากาศไปเป็นสารอินดิโก (Indigo) หรือบางครั้งอาจจะเรียกว่าอินดิโกน้ำเงิน (Indigo blue) มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ อินดิโกน้ำเงินนี้จะตกตะกอนลงมาอยู่ที่ก้นภาชนะ และอาจจะมีสิ่งเจือปนหลายๆ อย่าง ในบางครั้งอาจเกิดไอโซเมอร์ของอินดิโก ได้แก่ อินดิรูบิน (Indirubin) ปนอยู่ด้วย โดยปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังภาพที่ 4 [5-7] ตะกอนที่ได้จะมีลักษณะคล้ายโคลน (Mud) หรือแป้งเปียก (Paste) ดังนั้นจึงมักจะเรียกว่า ครามเปียก (Indigo paste) แต่ถ้านำมาทำเป็นก้อนและอบแห้งมักจะเรียกว่าอินดิโกเค็ก (Indigo cake)

ภาพที่ 3 ใบของต้นคราม



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาการเกิด indigo และ indirubin ในสารละลายที่เป็นด่าง [5-7]

เส้นใยป่านศรนารายณ์สามารถนำมาถักเป็นเปียและสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้หลากหลายชนิด และที่ผ่านมาวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตเส้นใยป่านศรนารายณ์มักจะใช้สีสังเคราะห์ในการย้อมสีเส้นใย ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียมาย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติ ตลอดจนศึกษาสมบัติความคงทนของสี

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย ตลอดจนการทดสอบสมบัติความคงทนของสี มีรายละเอียดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี

เส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย ซื้อมาจากศูนย์การเรียนรู้ตามพระราชประสงค์หุบกะพง จังหวัดเพชรบุรี สารเพิ่มประจุบวก (Polyethylene polyamide หรือ Cationizing agent) ไธโอยูเรียไดออกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซื้อมาจากบริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด เนื้อครามเปียก ซื้อมาจากจังหวัดนครปฐม เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) บริษัท คัลเลอโกลโบล จำกัด รุ่น Colour QuestXe ยี่ห้อ Hunter Lab

2.2 การปรับสภาพและการย้อมสีเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย

รายละเอียดการปรับสภาพเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียด้วยสารสารเพิ่มประจุบวก (Cationizing agent) และการย้อมสีเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียด้วยสีจากครามธรรมชาติ ปรากฏดังตารางที่ 1 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สภาวะการปรับสภาพเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียด้วยสารเพิ่มประจุบวก ดำเนินการโดยเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกไม่ต้องนำไปปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกให้นำไปทำการย้อมสีครามจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (รายละเอียดดังตารางที่ 1) ชุดที่ 2 นำไปทำการปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และใช้สัดส่วนวัสดุต่อสารละลาย (L:R) เป็น 1: 100 [8] จากนั้นนำไปทำการย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติรายละเอียดดังตารางที่ 1

การย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย ดำเนินการโดยเตรียมสารละลายสีย้อมจากครามธรรมชาติเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ ชั่งเนื้อครามเปียกจำนวน 200 กรัม นำมาละลายในน้ำ 1 ลิตร เติมไธโอยูเรียไดออกไซด์เข้มข้น 60 กรัมต่อลิตร ลงในครามที่ละลายอยู่ในน้ำ และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ลงในครามที่ละลายอยู่ในน้ำ กวนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันและสังเกตสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง นำสารละลายสีย้อมที่ปรากฏสีเหลืองมาทำให้เจือจางให้ได้ความเข้มข้น 20 30 40 และ 100 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียมาดำเนินการย้อมสีในแต่ละสภาวะ (รายละเอียดดังตารางที่ 1) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สัดส่วนของวัสดุต่อน้ำย้อมเท่ากับ 1:100 เมื่อดำเนินการย้อมสีเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียเสร็จแล้วให้นำเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียไปแช่ลงในสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ซึ่งจะสังเกตเห็นสีบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน นำเส้นใป่านศรนารายณ์ถักเปียมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าหลายๆ ครั้ง จากนั้นนำไปทำการปรับสภาพให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยการแช่ไว้ 30 นาที นำไปล้างน้ำและตากให้แห้งตามลำดับ และนำไปวัดค่าสี (L*, a*, b*) ค่าความเข้มของสี (K/S) ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และทดสอบสมบัติความคงทนของสีน้ำตามมาตรฐาน ISO 105-E01: 2013 ความคงทนของสีต่อการขัดถู ตามมาตรฐาน AATCC 8-2016 และความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม ตามมาตรฐาน ISO 105-B02: 1994 (Colour fastness to light) [9]

ตารางที่ 1 สภาวะการปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกและการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย

ความเข้มข้นของสารเพิ่มประจุบวก (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของสีครามจากธรรมชาติ (กรัมต่อลิตร)
0	20
	30
	40
	100
	200
10	20
	30
	40
	100
	200

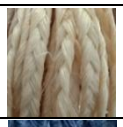
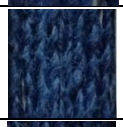
3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกทั้งหมด 5 ความเข้มข้น ปรากฏผลการทดลองดังนี้

3.1. ผลการศึกษาการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย

จากการศึกษาการย้อมสีครามธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย พบว่า การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเพิ่มประจุบวกก่อนการย้อม ส่งผลให้สีครามสามารถติดบนเส้นใยได้เข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าความเข้มสี (K/S) ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความเข้มข้นของสีย้อม โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพกับกลุ่มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ค่า K/S ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการดูดกลืนแสงของเส้นใย (ค่าที่สูงหมายถึงสีติดเข้มขึ้น) เพิ่มขึ้นจาก 8.53 ในกลุ่มไม่ปรับสภาพที่ความเข้มข้นสี 20 กรัม/ลิตร เป็น 19.01 ที่ 200 กรัม/ลิตร ในขณะที่กลุ่มที่ปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวก 10 กรัม/ลิตร ค่าดังกล่าวเพิ่มจาก 14.57 เป็น 26.10 ภายใต้ปริมาณสีย้อมเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพเส้นใยช่วยเสริมการยึดเกาะของสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเพียงการเพิ่มปริมาณสีย้อมเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย

การปรับสภาพเส้นใยป่านศรนารายณ์	ความเข้มข้นของสีครามจากธรรมชาติ (กรัมต่อลิตร)	ค่าของสี			ค่าความเข้มสี	ตัวอย่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย
		L*	a*	b*	K/S	
เส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย (ก่อนการปรับสภาพ)		79.83	2.50	19.30	1.43	
ไม่ปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวก	20	36.77	-4.94	-14.26	8.53	
	30	29.51	-3.18	-14.45	13.55	
	40	28.79	-3.25	-14.74	15.46	
	100	26.27	-3.09	-13.87	17.68	
	200	23.39	-2.10	-11.88	19.01	
ปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร	20	29.21	-2.53	-17.13	14.57	
	30	25.56	-1.43	-15.04	17.23	
	40	24.03	-0.78	-13.63	19.65	
	100	22.89	-2.91	-13.30	21.08	
	200	20.11	-1.80	-11.90	26.10	

นอกจากนี้ ค่าพิกัดสีในระบบ CIELAB ได้แก่ค่า L*, a*, และ b* ยังช่วยอธิบายลักษณะของสีที่เกิดขึ้นบนเส้นใยได้อย่างชัดเจน โดยค่า L* ซึ่งแสดงระดับความสว่างของสี (มีค่าตั้งแต่ 0 = ดำ ถึง 100 = ขาว) มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของสีครามและการปรับสภาพเส้นใย แสดงว่าสีที่ได้มีความเข้มขึ้นหรือมืดลง

ค่า L* ลดลงจาก 36.77 ในกลุ่มไม่ปรับสภาพที่ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร เหลือเพียง 23.39 ที่ 200 กรัม/ลิตร ขณะที่กลุ่มที่ปรับสภาพมีค่า L* ต่ำยิ่งกว่าที่ค่าเดียวกัน (20.11 ที่ 200 กรัม/ลิตร) สะท้อนถึงสีที่เข้มกว่าชัดเจน

ในด้านของค่า a* ซึ่งบ่งชี้แนวโทนสีแดงถึงเขียว และค่า b* ซึ่งบ่งชี้แนวโทนเหลืองถึงน้ำเงิน พบว่าทุกค่ามีค่า a* ติดลบเล็กน้อย (โน้มไปทางเขียวเล็กน้อย) และค่า b* ติดลบชัดเจน โดยเฉพาะในกลุ่มปรับสภาพ เช่น -17.13 ที่ 20 กรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสีย้อมครามที่มีโทนสีน้ำเงิน ส่งผลให้ค่า b* มีแนวโน้มลดลง (ค่าติดลบมากขึ้น) เมื่อเส้นใยดูดซับสีได้มากขึ้น

จากข้อมูลทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่าการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเพิ่มประจุบวก มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมสีครามธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ ทั้งในด้านความเข้มของสีและคุณภาพของโทนสีที่ได้ ซึ่งอาจเกิดจากกลไกของประจุบวกที่ช่วยตรึงโมเลกุลของสีย้อมซึ่งไม่ละลายน้ำ ให้ยึดเกาะกับพื้นผิวเส้นใยที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นกลางหรือมีประจุลบ โดยเฉพาะในช่วงที่การแพร่ของสารละลายสีย้อมเข้าสู่ภาวะสมดุล โมเลกุลของสีไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้อีก การยึดเกาะจึงอาศัยแรงทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจน ซึ่งแรงเหล่านี้อาจไม่ถาวรและสามารถหลุดออกได้ง่ายระหว่างการซักล้าง ดังนั้นหากต้องการเพิ่มความคงทนของสีในเชิงการใช้งาน ควรมีการศึกษาต่อเนื่องในด้านการสร้างพันธะเคมีถาวรระหว่างสีย้อมกับเส้นใยเพื่อเสริมความยั่งยืนของกระบวนการย้อมสีธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

3.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติ

การทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปรากฏผลการทดสอบดังตารางที่ 3 และจากตารางที่ 3 พบว่าค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change) ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติทั้งปรับและไม่ปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกให้ค่าความคงทนอยู่ในระดับที่ดีมาก ถึงดีเลิศ (4.5) กล่าวคือเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติเมื่อโดนน้ำจะมีโอกาสเกิดการซีดจางได้น้อยมาก ส่วนความคงทนต่อการติดเปื้อนสีบนผ้าขาว (Colour staining) อยู่ในระดับที่ดีมาก (4) ซึ่งหมายความว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติมีสีตกติดใส่ผ้าขาวได้ในปริมาณที่น้อยมาก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเส้นใยเซลลูโลสมีการเชื่อมต่อกับสีย้อมครามผ่านพันธะเคมีที่แข็งแรง [10] โดยพันธะที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของสีย้อมเมื่อต้องสัมผัสกับการซักล้างหรือน้ำ [11]

การทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผ้าขาวบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติทั้งสภาวะเปียกและสภาวะแห้ง ปรากฏผลการทดสอบดังตารางที่ 4 และจากตารางที่ 4 พบว่าค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีบนผ้าขาวทั้งสภาวะเปียกและห้องอยู่ในระดับปานกลาง (3 – 3.5) ทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวก นั่นหมายความว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติมีโอกาสที่จะติดเปื้อนบนผ้าขาวได้โดยการขัดถูหรือสัมผัสกับผ้าขาว ผลลัพธ์นี้สามารถอธิบายได้จากลักษณะที่ไม่ละลายน้ำของสีย้อมคราม [11-12] นอกจากนี้ สารละลายสีครามในรูปแบบรีดิวซ์จะไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่ภายในเส้นใยได้อีกต่อไปเมื่อกระบวนการแพร่เข้าสู่ภาวะสมดุล ดังนั้น ปริมาณของสีย้อมครามที่

ดูดซับบนผิวเส้นใยจะเพิ่มขึ้น และสีย้อมครามที่ยึดเกาะกับผิวเส้นใยด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจนจะถูกชะล้างออกได้ง่าย [11,13]

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (Colour fastness to water) ตามมาตรฐาน ISO 105-E01: 2013 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกและนำมาย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติ

สภาวะการปรับสภาพ/ค่าความเข้มข้นของสีครามธรรมชาติ	ระดับความคงทนของสี (Rating)						
	ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change)	ความคงทนต่อการติดเปื้อนสีบนผ้าขาว (Colour staining)					
		อะซิเตท (acetate)	ฝ้าย (cotton)	ไนลอน (nylon)	พอลิเอสเตอร์ (polyester)	อะคริลิค (acrylic)	ขนสัตว์ (wool)
ไม่ปรับสภาพ/คราม 200 กรัม/ลิตร	4.5	4	4	4	4	4	4
ปรับสภาพ/คราม 200 กรัม/ลิตร	4.5	4	4	4	4	4	4

หมายเหตุ: ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด

สำหรับค่าความคงทนของสีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติ มีรายละเอียดปรากฏอยู่ในตารางที่ 4 และจากผลการทดลองพบว่า ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (การซีดจาง) อยู่ในระดับที่ดี (5-6) นั้นหมายความว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียและย้อมสีด้วยสีครามจากธรรมชาติเมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานานโอกาศที่จะเกิดการซีดจางมีน้อย ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าสีย้อมจากครามธรรมชาติสามารถซึมซับเข้าสู่เส้นใยเซลลูโลสได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้เส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลที่หลากหลายซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเฉพาะตัว ดังนั้นจึงมีความสามารถดูดซับแสงได้เป็นอย่างดี [11]

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (Colorfastness to crocking) ตามมาตรฐาน AATCC 8-2016 และผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (Color fastness to light) ตามมาตรฐาน ISO 105: B02-1994 ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปียทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวกและนำมาย้อมด้วยสีครามจากธรรมชาติ

สภาวะการปรับสภาพด้วยสารเพิ่มประจุบวก/ค่าความเข้มข้นของสีครามจากธรรมชาติ	ความคงทนของสีต่อการขัดถู* (Colorfastness to crocking)		ความคงทนของสีต่อแสง** Color fastness to light)
	ความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Color staining)		ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change)
	สภาวะแห้ง (Dry)	สภาวะเปียก (Wet)	
ไม่ปรับสภาพ/ครามา 200 กรัม/ลิตร	3	3.5	5
ปรับสภาพ/ครามา 200 กรัม/ลิตร	3	3	6

หมายเหตุ: * ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด ** ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 8 ดีที่สุด

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการย้อมสีครามจากธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์ถักเปีย พบว่า การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเพิ่มประจุบวกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมอย่างชัดเจน ทั้งในด้านความเข้มของสีและคุณภาพของโทนสี โดยเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพสามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น มีค่าความเข้มสี (K/S) สูงขึ้น และแสดงค่าพิกัดสีที่สอดคล้องกับลักษณะของสีคราม ขณะที่ความคงทนของสีต่อน้ำและแสงแดดอยู่ในระดับดีถึงดีมาก แต่ความคงทนต่อการขัดถูยังอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาเทคนิคการย้อมเพื่อเพิ่มความคงทนในเชิงโครงสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยด. (2541). วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: หอรัตนชัยการพิมพ์

[2] อัจฉราพร ไศละสูต. (2539). ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สร้างสรรค์วิชาการ.

[3] ธนัชชา เสือสุด และจันทร์รัตน์ ทับทิมเขียว. (2561). การปรับสภาพผิวและการย้อมสีครามธรรมชาติบนเส้นใยป่านศรนารายณ์. (ปริญญานิพนธ์เทคโนโลยีบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: สาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[4] ชาญชัย สิริเกษมเลิศ, มนัส แป้งใส, เกษม มานะรุ่งวิทย์ และวิศาล จิตต์กระจายแสง. (2562). พัฒนาต่อยอดเครื่องแยกเส้นใยธรรมชาติเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานความหลากหลายทางชีวภาพ (องค์การมหาชน).

[5] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์. (2557). เทคนิคการย้อมสีแบบจุ่ม อัด บนผ้าไหมและผ้าฝ้ายด้วยการใช้สีย้อมจากธรรมชาติ. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนทุนวิจัย (สกว).

[6] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, จรูญ คล้ายจ้อย, วาสนา ช้างม่วง, ก้องเกียรติ มหาอินทร์, สาคร ชลสาครเกษม มานะรุ่งวิทย์, นงนุช ศศิธร, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร, นฤพน ไพศาลตันติวงศ์, ทองใส จำนงการวิรัช วงศ์ภักดี และสมพร ติยะศรี. (2561). การจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเทคนิคการย้อมสีครามจากธรรมชาติแบบใหม่บนเส้นด้ายไหมและฝ้ายในเชิงพาณิชย์. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช).

[7] Mongkholrattanasit, R., Klaichoi, C., Sasithorn, N., Changmuang, W., Manarungwit, K., Maha-In, K., Ruenma, P., Boonkerd, N., Sangaphat, N., and Pangsai, M. (2018). Screen printing on silk fabric using natural indigo. Vlákna a textile, 25 (3), 51-56.

[8] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, วาสนา ช้างม่วง, ทองใส จำนงการ, เกษม มานะรุ่งวิทย์, นงนุช ศศิธร, ก้องเกียรติ มหาอินทร์, กรชนก บุญทร, สมชาย อุดร, ไกรฤกษ์ วิเสสพันธุ์, ศิริอร วณิชโชตยานนท์, รังสิมา ชลคุป, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร, วิรัช วงศ์ภักดี, สมพร ติยะศรี, สุจิตรา ชนันทวารี, นวรัตน์ ชาติวิวัฒน์พรชัย และนิตยา วันโสภา. (2565). คู่มือองค์ความรู้ การฟอก ย้อม พิมพ์ ออกแบบ และการสร้างผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือ. กรุงเทพมหานคร: บริษัทเอ็น บี บี กรุ๊ป จำกัด.

[9] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์. (2549). วิธีการทดสอบความคงทนของสีบนวัสดุสิ่งทอตามมาตรฐาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[10] Moldovan, S., Ferrandiz, M., Franco, E., Mira, E., Capablanca, L., and Bonet, M. (2017). Printing of cotton with eco-friendly, red algal pigment from *Gracilaria sp.*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 254, 1–6.

[11] Mongkholrattanasit, R., Klaichoi, C., Rungruangkitkrai, N., Vuthiganond, N., and Nakpathom, M. (2022). Eco-printing on cotton fabric with natural indigo dye using wild taro corms as a new thickening agent. Journal of Natural Fibers, 19 (13), 5435-5450.

[12] Son, Y. A. (2004). An approach to the dyeing of polyester fiber using indigo and its extended wash fastness properties. Dyes and Pigments, 61 (3), 263–272.

[13] Luo, Y., Pei, L., Zhang, H., Zhong, Q., and Wang, J. (2019). Improvement of the rubbing fastness of cotton fiber in indigo/silicon non-aqueous dyeing systems. Polymers, 11 (11), 1–10.