

การใช้สารพอลิแคทไอออนิกดัดแปรพฤติกรรมการย้อมสีไโดเรกท์บนผ้าฝ้าย

The Use of Polycationic Agent to Modify the Dyeing Behaviour of Direct Dyes on Cotton Fabric

พิชิตพล เจริญทรัพย์ยานันท์^{1*} และ อภิชาติ สนธิสมบัติ²

¹อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มทร.พระนคร กรุงเทพฯ 10300

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีไโดเรกท์แบบจุ่มแช่ ต้องใช้อิเล็กโตรไลต์ (เกลือ) จำนวนมากเพื่อลดประจุบนผิวของเส้นใย นอกจากนี้อิเล็กโตรไลต์ปริมาณสูง (40-100 กรัม/ลิตร) ที่ใช้ในการย้อม อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนในการบำบัดน้ำมากขึ้น จึงเกิดแนวคิดศึกษาการใช้สารพอลิแคทไอออนิกดัดแปรพฤติกรรมการย้อมสีไโดเรกท์บนผ้าฝ้าย เพื่อเพิ่มสมบัติการดูดซึมและความคงทนของสี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งและผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง พบว่ามีความเป็นไปได้ว่า สารพอลิแคทไอออนิกทำให้เกิดรูปแบบการย้อมที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ สีย้อมจะผนึกติดบนเส้นใยด้วยแรงทางประจุ ทำให้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารพอลิแคทไอออนิกมีการดูดซึมและความเข้มสีดีกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง แม้ว่าจะทำการย้อมโดยปราศจากสารอิเล็กโตรไลต์และยังมีสมบัติความคงทนของสีดีขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่า การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารพอลิแคทไอออนิก ช่วยเพิ่มความสามารถในการย้อมสีไโดเรกท์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เช่น การสร้างประจุบวกบนเส้นใย ซึ่งสามารถย้อมได้โดยไม่ต้องพึ่งน้ำจากการตกแต่งและไม่จำเป็นต้องใช้อิเล็กโตรไลต์ ทำให้เกิดความประหยัด

Abstract

In the current practice, cotton fabric is predominantly dyed with direct dyes in the presence of a considerable amount of electrolyte (Salt) to reduce negative charge on fiber surface. Thus, the high concentration (40-100 g/l) of electrolyte required in cotton fabric dyeing may pose additional effluent problem and waste water treatment costs. The use of polycationic agent to modify the dyeing behaviour of direct dyes on cotton fabric is investigated. Normally, polycationic agent had been treated on dyed fabric to improve fastness properties. The comparison of untreated and pretreated cotton fabric was found that the polycationic agent offers the potential for different dyeing patterning possibilities. The dyes was fixed on the fiber by ionic force. So, color strength and exhaustion of pretreated fabric was better than untreated fabric and increased in fastness properties, even when dyeing had been carried out in the absence of electrolyte. The purpose of the present work was to determine whether the pretreatment of cotton fabric with polycationic agent could enhance the dyeability of the fiber with direct dyes under appropriate condition such as assuming a positive charge on fiber which permitted "electrolyte-free" dyeing after modification without drain and helped reduce dyeing cost.

คำสำคัญ : สารพอลิแคทไอออนิก พฤติกรรมการย้อม

Keywords : Polycationic Agent, Dyeing Behaviour

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ phichitphol1970@hotmail.com โทร. 081-847-7185

1. บทนำ

การย้อมสีบนผ้าฝ้ายนอกจากใช้สีรีแอคทีฟแล้ว ยังนิยมย้อมด้วยสีไดเรกต์ เพราะมีช่วงสีให้เลือกกว้าง มีความสดใสดีกว่าสีรีแอคทีฟ ขั้นตอนการย้อมไม่ยุ่งยาก แต่มีสมบัติความคงทนของสีไม่ค่อยดี โดยเฉพาะความคงทนของสีต่อการซัก โครงสร้างทางเคมีของสีไดเรกต์ อยู่ในรูปเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก โครงสร้างที่พบมากที่สุด คือ อะโซ มีทั้ง โมโน ได ไตร และพอลิอะโซ

การย้อมสีไดเรกต์บนผ้าฝ้าย ต้องใช้อิเล็กโตรไลต์ เช่น โซเดียมคลอไรด์หรือโซเดียมซัลเฟต ไปลดประจุลบบนผิวของเส้นใย ทำให้สีขึ้นไปติดบนเส้นใยมากขึ้น (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, มปป.) ปริมาณอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ขึ้นกับความเข้มข้นที่ต้องการ โดยสีย้อมจะผนึกติดกับเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ ด้วยพันธะที่มีความแข็งแรงต่ำนี้ ทำให้มีความคงทนต่อการซักต่ำ สีไดเรกต์ที่มีการผนึกติดต่ำและใช้สารอิเล็กโตรไลต์ในปริมาณมาก อาจทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดในการดัดแปรพฤติกรรมของการย้อมสีไดเรกต์ เพื่อให้มีการผนึกติดสูงขึ้น และใช้สารอิเล็กโตรไลต์น้อยลงหรือไม่ใช้เลย

มีการศึกษาการลดปริมาณอิเล็กโตรไลต์ในการย้อมหรือการพิมพ์สีไดเรกต์ไว้น้อยมาก เช่น การพิมพ์อิงค์เจ็ทบนผ้าฝ้าย ที่ผ่านการตกแต่งให้มีประจุบวก (Mehmet Kanik and Peter J. Hauser, 2004) เป็นต้น ส่วนใหญ่งานวิจัยเน้นการพัฒนาการการย้อม หรือการพิมพ์สีรีแอคทีฟ เช่น การใช้อิเล็กโตรไลต์อินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่น ไตรโซเดียมซิเตรตหรือโซเดียมอีเตท แทนอิเล็กโตรไลต์อนินทรีย์ที่ใช้อยู่ทั่วไป

(Nahed S.E. Ahmed, 2004) หรือการใช้สีรีแอคทีฟประจุบวก (กาวิ ศรีกุลกิจ, 2543) ที่เริ่มมีการผลิตออกมาใช้งาน อีกวิธีหนึ่งเป็นการดัดแปรโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลส ให้แสดงประจุบวก โดยทำการตกแต่งด้วยสารเดนไดรเมอร์ (กาวิ ศรีกุลกิจ, 2543) หรือสารแคทไอออนิกรีแอคทีฟพอลิเมอร์ ที่มีหมู่ควอเตอร์นารีแอมโมเนียม (กาวิ ศรีกุลกิจ, 2543) หรือดัดแปรโครงสร้างเส้นใยเซลลูโลส ด้วยอนุพันธ์ของคลอโรไตรอะซีนพวก 2,4-dichloro-6-pyridino-s-triazinyl chloride (DCPT) (กาวิ ศรีกุลกิจ, ปภาภิตา พรสุริยะศักดิ์, 2542) นอกจากนั้นอาจทำได้โดยการตกแต่งเส้นใยฝ้ายด้วยสารพnikสีประจุบวก ซึ่งเป็นสารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียม หรือพnikแคทไอออนิก (Subramanian Senthil Kannan et al., 2006) ที่ใช้ในการพnikสีหลังการย้อมทั่วไป

สารพnikสีประจุบวก จำพวกสารพnikแคทไอออนิก เป็นสารที่มีสมบัติในการรับสารประจุลบได้ดี โดยทั่วไปใช้เป็นสารพnikสีหลังการย้อมสำหรับสีไดเรกต์หรือสีรีแอคทีฟ มีการทำงานโดยการก่อรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลของสี ด้วยแรงทางประจุ (กาวิ ศรีกุลกิจ, 2543) ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการย้อมสี อย่างไรก็ตาม การใช้สารพnikสีประจุบวกกลุ่ม สารประกอบพnikแคทไอออนิกในการดัดแปรพฤติกรรมของการย้อมสีไดเรกต์บนผ้าฝ้ายนั้นยังไม่มีรายงานปรากฏ

2. วิธีการทดลอง

ดัดแปรประจุบนผ้าฝ้ายทอหลายขัดเบอร์ 20/10 ด้วยสารพnikแคทไอออนิก (T.C. FIX PC-

50) โดยวิธีการจุ่มแช่ ศึกษาถึงปริมาณสารพอลิ-แคทไอออนิก 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10 15 และ 20 นาที เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปร จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรแล้วไปย้อมสีโดยตรงทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ สีโดยตรงกลุ่ม เอ คือ T/S Direct Fast Rubine BL (C.I. Direct Red 83:1) T/S Direct Fast Turq. Blue FBL (C.I. Direct Blue 199) กลุ่ม บี คือ Ambidirect Brill. Scarlet F2GL (C.I. Direct Red 224) Direct Blue BRL (C.I. Direct Blue 71) และกลุ่ม ซี ใช้สี Direct Yellow XXF (C.I. Direct Yellow 29) Direct Dark Breen B (C.I. Direct Green 1) ซึ่งการดัดแปรและการย้อม ทำในเครื่องย้อมตัวอย่างอัตโนมัติ (AHIBA NUANCE) ประเมินผลโดยการวัดค่าการติดสี (K/S) และค่าความสว่าง-ทึบ (L*) ด้วยเครื่องวัดความแตกต่างของสี (Spectrophotometer) จากนั้น ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อม คือ 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส โดยย้อมต่อเนื่องจากการดัดแปรแบบไม่ต้องทิ้งน้ำ สุดท้ายทดสอบสมบัติความคงทนของสีต่อการซักตามมาตรฐาน ISO105-C02 (1989) โดยใช้เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (Gyrowash) ความคงทนของสีต่อการขัดถูตามมาตรฐาน ISO 105-X12 (1987) ด้วยเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (Crock Meter type Rubbing Tester) และวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมก่อนและหลังย้อม ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV/Vis-Spectrophotometer) เพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสี (%E) บนผ้า ตามสมการที่ 1 (Subramanian Senthil Kannan et al., 2006)

นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับการย้อมแบบปกติ

$$\% E = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots 1$$

เมื่อ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมก่อนย้อม

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมหลังย้อม

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาผลของการดัดแปรพฤติกรรมของการย้อมสีโดยตรงบนผ้าฝ้ายที่กล่าวมาในวิธีการทดลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วยปริมาณสารพอลิแคทไอออนิก อุณหภูมิ และเวลาในการดัดแปร รวมทั้งการปรับปรุงกระบวนการย้อมที่เหมาะสม ผลที่ได้เป็นดังนี้

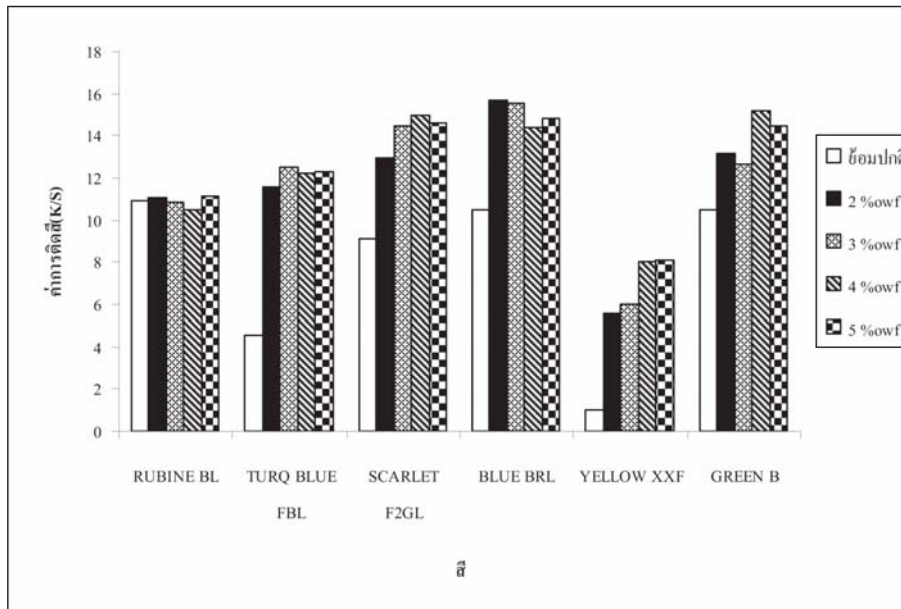
3.1 ค่าการติดสี (K/S) และความสว่างทึบ (L*) ของสี

จากผลการทดลองย้อมสีโดยตรงทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้สารพอลิแคทไอออนิกปริมาณต่างกัน ในการดัดแปรพฤติกรรมของการย้อมบนผ้าฝ้าย พบว่าให้ค่าการติดสี (K/S) ดีกว่าการย้อมแบบปกติ แต่ทำให้ค่าความสว่าง - ทึบ (L*) ของสีลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณสาร ตั้งแต่ 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า ทำให้ค่าการติดสี (K/S) และความสว่าง-ทึบ (L*) ของสีเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยดังรูปที่ 1 และ 2 ปริมาณสารพอลิ-แคทไอออนิกที่เหมาะสม คือ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า เนื่องจากให้ค่าการติดสี (K/S) สูงกว่าการย้อมแบบปกติ ขณะที่ใช้ปริมาณสารน้อยที่สุด

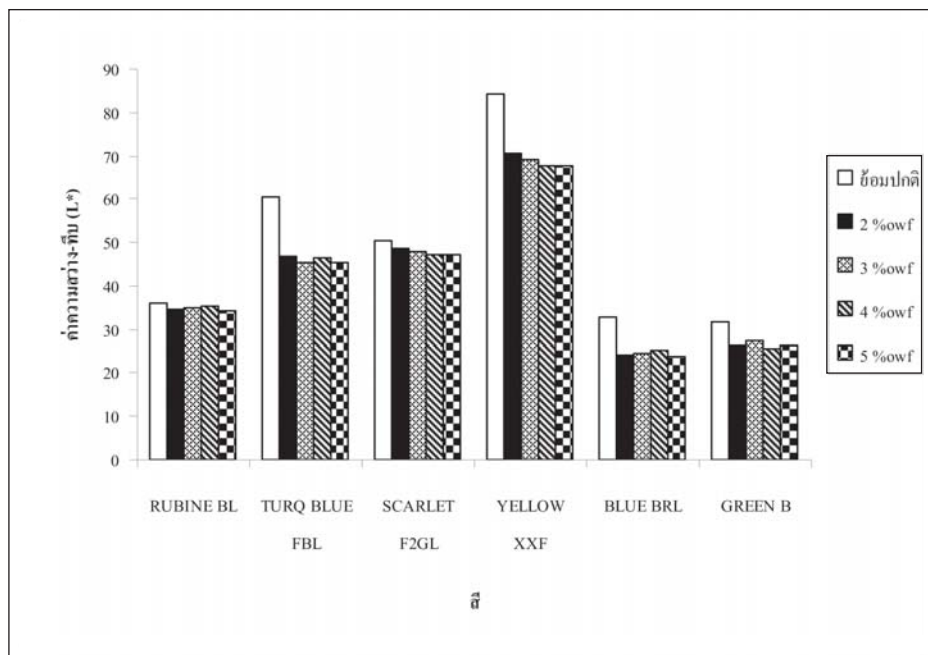
อุณหภูมิที่ต่างกัน ในการดัดแปรพฤติกรรมของการย้อมบนผ้าฝ้าย พบว่าให้ค่าการติดสี (K/S) ดีกว่าการย้อมแบบปกติ แต่ทำให้ค่าความสว่าง-

ทึบ (L^*) ของสีลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่ม
อุณหภูมิตั้งแต่ 40-60 องศาเซลเซียส ทำให้ค่า
การติดสี (K/S) และความสว่าง-ทึบ (L^*) ของ

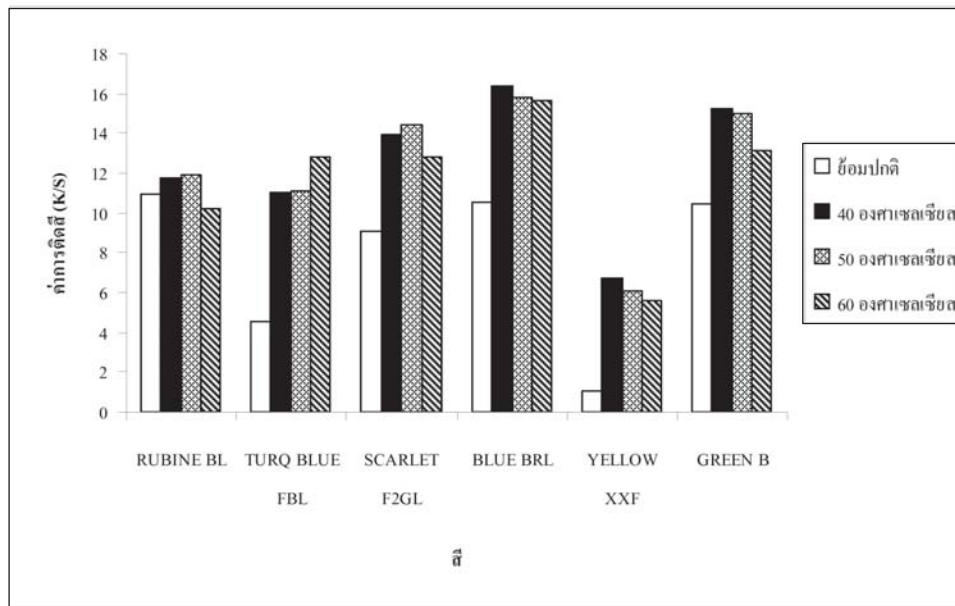
สีเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยดังรูปที่ 3 และ 4
อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 40 องศาเซลเซียส



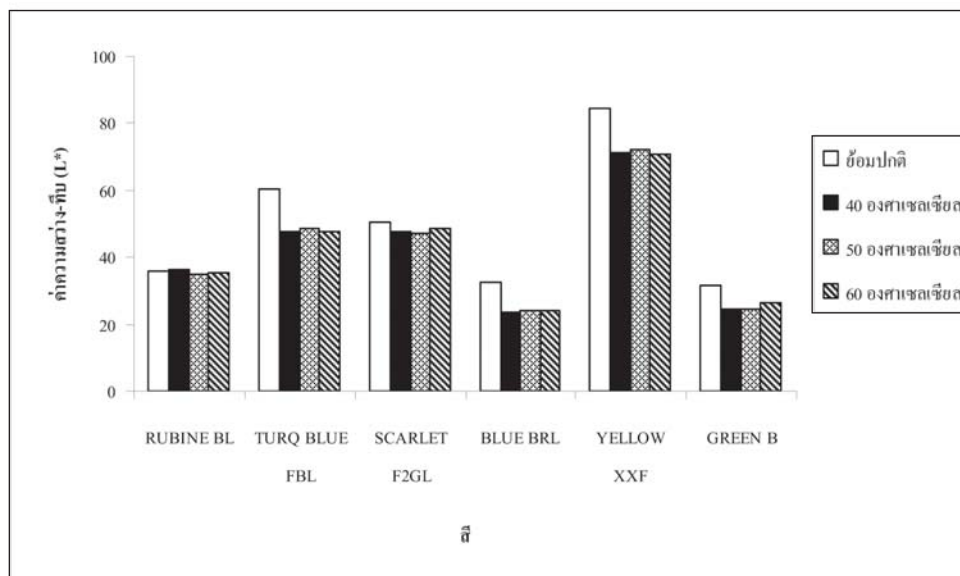
รูปที่ 1 ค่าการติดสี (K/S) ของการหาปริมาณสารพอลิแคทอีนิกที่เหมาะสม



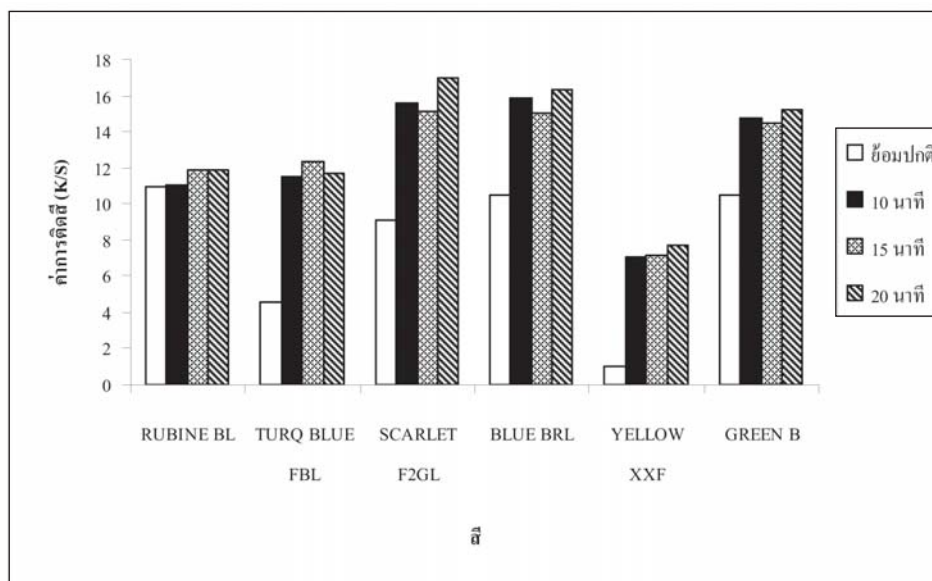
รูปที่ 2 ค่าความสว่าง-ทึบของสี (L^*) ของการหาปริมาณสารพอลิแคทอีนิกที่เหมาะสม



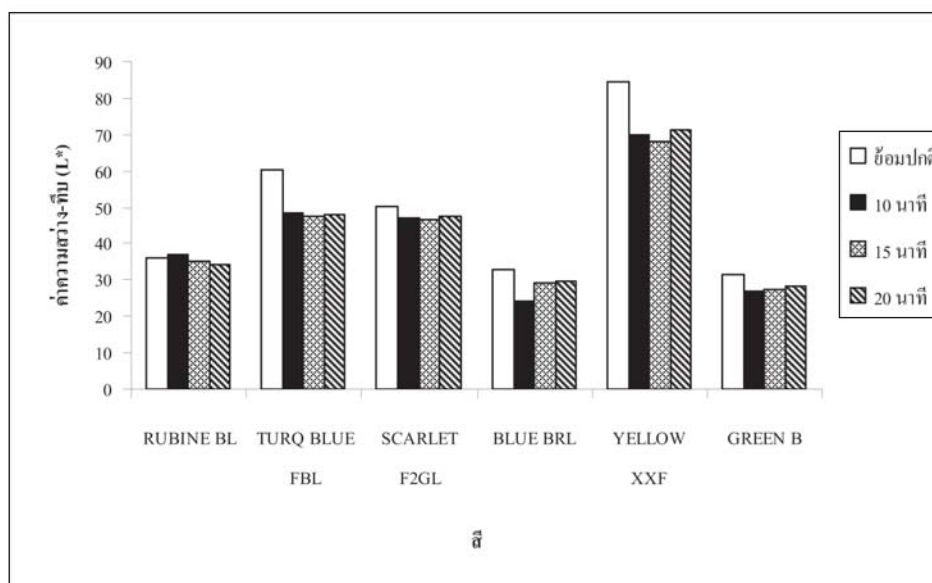
รูปที่ 3 ค่าการดูดสี (K/S) ของการหาอุณหภูมิที่เหมาะสม



รูปที่ 4 ค่าความสว่าง-ทึบของสี (L*) ของการหาอุณหภูมิที่เหมาะสม



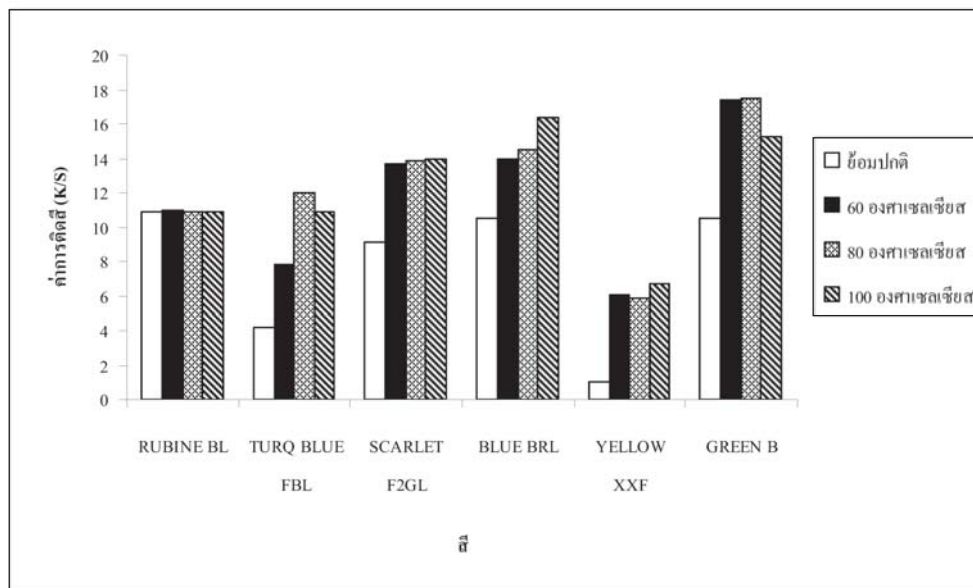
รูปที่ 5 ค่าการติดสี (K/S) ของการหาเวลาที่เหมาะสม



รูปที่ 6 ค่าความสว่าง-ทึบของสี (L^*) ของการหาเวลาที่เหมาะสม

เวลาที่ต่างกัน ในการตัดแปรพฤติกรรมการย้อมบนผ้าฝ้าย พบว่าให้ค่าการติดสี (K/S) ต่ำกว่าการย้อมแบบปกติ แต่ทำให้ค่าความสว่าง-ทึบ (L^*) ของสีลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มเวลาตั้งแต่ 10-20 นาที ทำให้ค่าการติดสี (K/S) และความสว่าง-ทึบ (L^*) ของสีเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ดังรูปที่ 5 และ 6 เวลาที่เหมาะสม คือ 10 นาที เนื่องจากให้ค่าการติดสี (K/S) สูงกว่าการย้อมแบบปกติ ขณะที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

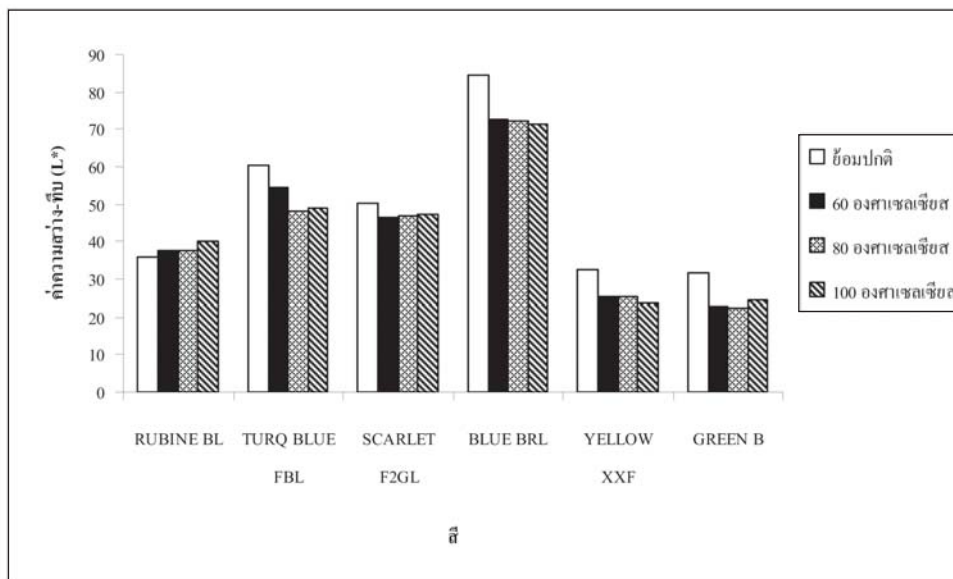
การปรับปรุงกระบวนการย้อม โดยศึกษาอุณหภูมิการย้อมต่างกัน และย้อมแบบไม่ต้องทิ้งน้ำจากการตัดแปรพบว่า ให้ค่าการติดสี (K/S) ต่ำกว่าการย้อมแบบปกติ แต่ทำให้ค่าความสว่าง-ทึบ (L^*) ของสีลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการย้อมตั้งแต่ 60-100 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าการติดสี (K/S) และความสว่าง-ทึบ (L^*) ของสีเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยดังรูปที่ 7 และ 8 อุณหภูมิการย้อมแบบไม่ต้องทิ้งน้ำจากการตัดแปร



รูปที่ 7 ค่าการติดสี (K/S) ของการปรับปรุงกระบวนการย้อมที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณสารพอลิแคทไธออนิก อุณหภูมิ และเวลาในการตัดแปรมีผลต่อค่าการติดสี (K/S) และความสว่างทึบ (L^*) ของสี การศึกษานี้เลือกใช้

ปริมาณสารพอลิแคทไธออนิก 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที



รูปที่ 8 ค่าความสว่าง-ทึบของสี (L*) ของการปรับปรุงกระบวนการย้อมที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

สี	การย้อม	ค่าการเปลี่ยนสี	ค่าการเปลี่ยนสี	
			ผ้าฝ้าย	ผ้าขนสัตว์
T/S DIRECT FAST RUBINE BL	ปกติ	3-4	4-5	4-5
	สารพอลิแคทอิออนิก	3	4	4-5
T/S DIRECT FAST TURQ BLUE FBL	ปกติ	4	3-4	4
	สารพอลิแคทอิออนิก	3-4	3-4	4-5
AMBIDIRECT BRILL SCARLET F2GL	ปกติ	3-4	2-3	2-3
	สารพอลิแคทอิออนิก	3	2	3-4
DIRECT BLUE BRL	ปกติ	4-5	1-2	2-3
	สารพอลิแคทอิออนิก	3-4	1	3
DIRECT YELLOW XXF	ปกติ	3-4	4-5	2-3
	สารพอลิแคทอิออนิก	4	4	4
DIRECT DARK GREEN B	ปกติ	2-3	1	2-3
	สารพอลิแคทอิออนิก	2	1	3

3.2 ความคงทนของสีต่อการซัก

จากผลการทดลองย้อมสีโดเรกท์ทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้สารพอลิแคทอิออนิกดัดแปรพฤติกรรมการย้อมบนผ้าฝ้าย ซึ่งย้อมต่อเนื่องโดยไม่ต้องทิ้งน้ำจากการดัดแปรที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่า มีความคงทนต่อการซักเทียบเท่าหรือสูงกว่าการย้อมแบบปกติ ดังตารางที่ 1

3.3 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

จากผลการทดลองย้อมสีโดเรกท์ทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้สารพอลิแคทอิออนิกดัดแปรพฤติกรรมการย้อมบนผ้าฝ้าย ซึ่งย้อมต่อเนื่องโดยไม่ต้องทิ้งน้ำจากการดัดแปรที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อนำมา

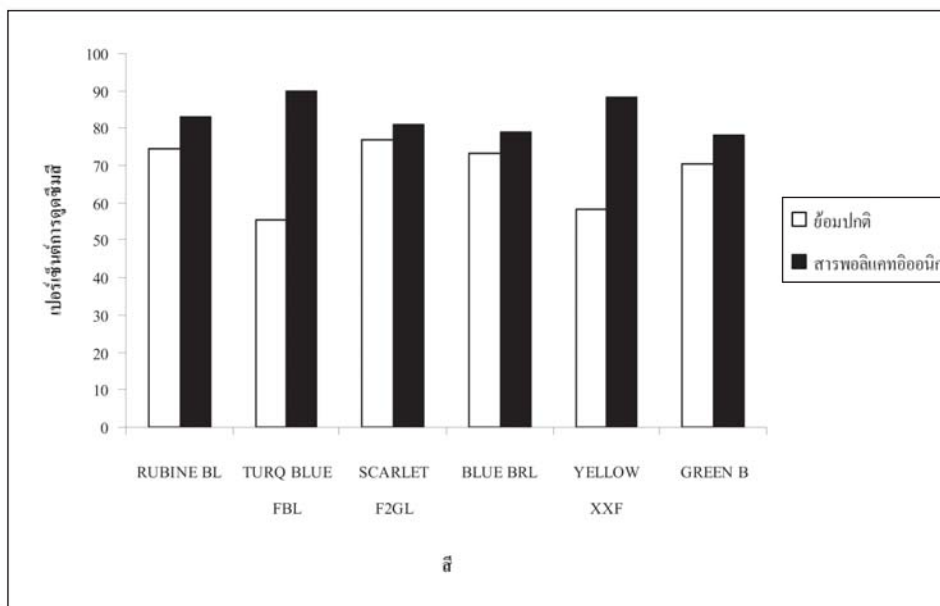
ทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู พบว่า มีความคงทนต่อการขัดถูเทียบเท่าหรือสูงกว่าการย้อมแบบปกติ ดังตารางที่ 2

3.4 เปอร์เซนต์การดูดซึมสี (%E)

จากผลการทดลองย้อมสีโดเรกท์ทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้สารพอลิแคทอิออนิก ดัดแปรพฤติกรรมการย้อมบนผ้าฝ้ายซึ่งย้อมต่อเนื่องโดยไม่ต้องทิ้งน้ำจากการดัดแปรที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อนำน้ำย้อมก่อนและหลังย้อม มาวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสี (%E) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรพฤติกรรมการย้อม ด้วยสารพอลิแคทอิออนิก มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสีเพิ่มขึ้น 4.12-34.42 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสีที่ย้อม ดังรูปที่ 9

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความคงทนต่อการขัดถู

สี	การย้อม	ค่าการตกเบือนสี แนวตั้ง		ค่าการตกเบือนสี แนวตั้ง	
		เปียก	แห้ง	เปียก	แห้ง
T/S DIRECT FAST RUBINE BL	ปกติ	3	4-5	4	4-5
	สารพอลิแคทอิออนิก	3	4-5	3-4	4-5
T/S DIRECT FAST TURQ BLUE FBL	ปกติ	2-3	4-5	3-4	4-5
	สารพอลิแคทอิออนิก	3	4-5	3	4
AMBIDIRECT BRILL SCARLET F2GL	ปกติ	2	2	5	5
	สารพอลิแคทอิออนิก	4-5	2-3	4-5	4-5
DIRECT BLUE BRL	ปกติ	2	2	5	5
	สารพอลิแคทอิออนิก	4	2-3	4-5	4-5
DIRECT YELLOW XXF	ปกติ	4-5	4	5	4-5
	สารพอลิแคทอิออนิก	4-5	3-4	4-5	4
DIRECT DARK GREEN B	ปกติ	1-2	1-2	5	5
	สารพอลิแคทอิออนิก	4	3-4	4-5	4-5



รูปที่ 9 เปอร์เซนต์การดูดซึมสี (%E) บนผ้า

4. สรุป

จากผลการทดลองการใช้สารพอลิแคทไอออนิกดัดแปรพฤติกรรมการย้อมสีไดเรกต์บนผ้าฝ้าย พบว่าปริมาณสารพอลิแคทไอออนิก 2 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักผ้า อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการดัดแปรมากที่สุด และสามารถย้อมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องจากกระบวนการดัดแปร โดยไม่ต้องทิ้งน้ำจากการดัดแปร เนื่องจากให้ค่าการติดสี (K/S) สูงกว่าการย้อมแบบปกติ มีความคงทนของสีต่อการซักและการขัดถูเทียบเท่าหรือสูงกว่าการย้อมแบบปกติ นอกจากนี้ยังทำให้ผ้าฝ้ายมีเปอร์เซนต์การดูดซึมสีไดเรกต์สูงกว่าการย้อมแบบปกติ 4.12-34.42 เปอร์เซนต์ เนื่องจากประจุบวกบนผิวผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้น และเป็นไปได้ว่า สีไดเรกต์ยึดจับกับเส้นใย

ด้วยแรงทางประจุร่วมกับพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้สรุปได้ว่า สามารถใช้สารพอลิแคทไอออนิก ในการเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมสีไดเรกต์ทั้ง 6 สีนบนผ้าฝ้ายได้ โดยไม่ต้องใช้สารอิเล็กโตรไลต์ ทำให้ต้นทุนในการย้อมลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนสีไดเรกต์จาก บริษัท แชนสันเคมีเคิล จำกัด บริษัท สหวรกิจ จำกัด และบริษัท ไทยอัมบริก้า เคมีคัลล์ จำกัด สารพอลิแคทไอออนิก จาก บริษัท สยามโปร เทคดิง จำกัด และได้รับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ รวมทั้งห้องปฏิบัติการย้อมและการทดสอบ จากสาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- กาวิ ศรีกุลกิจ, ดร. 2543. **การดัดแปรสมบัติการรับสีย้อมรีแอคทีฟในขั้นตอนการเตรียมผ้าฝ้าย**. Colourway. ปีที่ 6. ฉบับที่ 28: หน้า 32-36.
- กาวิ ศรีกุลกิจ และ ปภาภิตา พรสุริยะศักดิ์. 2542. **ทางเลือกใหม่ของการย้อมเซลลูโลสด้วยสีรีแอคทีฟในสภาวะไร้น้ำต่าง**. Colourway. ปีที่ 4. ฉบับที่ 20: หน้า 26-29.
- กาวิ ศรีกุลกิจ, ดร. และ พรชัย สันติเพ็ญกุล. 2543. **การย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีแคทอิกอนิกรีแอคทีฟโดยไม่อาศัยเกลือ**. Colourway. ปีที่ 5. ฉบับที่ 27: หน้า 13-17.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, **เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรวิทยาการฟอกย้อมสิ่งทอ สีไดเรกต์**, กลุ่มงานเทคโนโลยีสิ่งทอ (เคมีสิ่งทอ), ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. มปป.
- Mehmet Kanik and Peter J. Hauser. 2004. **Printing Cationized Cotton with Direct dye**. Textile Research Journal (Electronic): pp. 43-50. Available: SAGE Publication/Textile Research Journal (17 June 2007).
- M. Subramanian Senthil Kannan et al. 2006. **Influence of Cationization of Cotton on Reactive Dyeing**. Journal of Textile and Apparel Technology and management (Electronic). Vol. 5, pp. 1-16. Available: NC STATE UNIVERSITY/JTATM (22 December 2006)
- Nahed S.E. Ahmed. 2004. **The Use of sodium edate in the dyeing of cotton with reactivedyes**. Dyes and Pigments (Electronic): pp. 221-225. Available: Elsevier Science Ltd./Sciencedirect (22 December 2006).
- S.M. Burkinshaw et al. 2000. **The use of dendrimers to modify the dyeing behaviour of reactive dyes on Cotton**. Dyes and Pigment (Electronic): pp. 261-267. Available: Elsevier Science Ltd./sciencedirect (17 June 2007).