รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัย (Project)
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554

***ส่วนที่ 1* สรุปผลการดำเนินงานโครงการวิจัย** (Project)

1.1 รหัส ว-ท(ด)10.54 ชื่อโครงการ การศึกษาการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมในการย้อมผ้าฝ้าย

1.2 ลักษณะโครงการ ⊗ เป็นโครงการวิจัยเดี่ยว
◯ เป็นโครงการย่อยในชุดโครงการวิจัย (ระบุชื่อชุดโครงการวิจัย) .....

1.3 ชื่อหัวหน้าโครงการ นางพจนารถ สุวรรณรุจิ

1.4 หน่วยงานหลักรับผิดชอบ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 ประเภทโครงการ ⊗ โครงการวิจัย 3 สาขา; ☐ เกษตรศาสตร์ ☒ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ☐ สังคมศาสตร์ฯ
◯ โครงการวิจัยสถาบันเพื่อพัฒนาคุณภาพ
◯ โครงการวิจัยและถ่ายทอดงานวิจัยสู่ประชาชน
◯ โครงการเสริมสร้างความเข้มแข็งด้านการวิจัย
◯ โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาหน่วยปฏิบัติการวิจัยเชี่ยวชาญเฉพาะ (SRU)
◯ โครงการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพเชิงบูรณาการเพื่อการแข่งขันฯ
◯ โครงการวิจัยพัฒนาร่วมภาครัฐและเอกชน

1.6 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ 1 ปี ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2554 ถึงปีงบประมาณ 2554

1.7 สถานที่ดำเนินงานวิจัย/เก็บข้อมูล ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.8 งบประมาณรวมตลอดโครงการ 160,000 บาท ประกอบด้วย

ปีงบประมาณ 2554 ได้รับ 160,000 บาท ปีงบประมาณ ..... ได้รับ ..... บาท
ปีงบประมาณ ..... ได้รับ ..... บาท ปีงบประมาณ ..... ได้รับ ..... บาท
ปีงบประมาณ ..... ได้รับ ..... บาท ปีงบประมาณ ..... ได้รับ ..... บาท

1.9 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัญหาและทำความเข้าใจสาเหตุของการขัดขวางการให้สีจากการใช้สีรีแอคทีฟผสมกันมากกว่า 1 สีในการย้อมผ้าฝ้าย
2. เพื่อหาตัวอย่างของสีรีแอคทีฟที่สามารถผสมกันแล้วให้เฉดสีที่ต้องการได้ โดยไม่เกิดปัญหาการขัดขวางกันของสีรีแอคทีฟที่นำมาผสมกัน

1.10 เป้าหมายผลงานวิจัยตลอดโครงการ

ปีที่	เดือนที่	ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้
1.	1-6	ศึกษาการขัดขวางการให้สีรีแอคทีฟของสีผสมแบบ 2 สีว่าเกิดในน้ำย้อมหรือบนผ้า
	7-12	ศึกษาการใช้สีรีแอคทีฟตัวอื่นเพื่อมาแทนที่สีที่ทำให้เกิดการขัดขวางสีในสีผสมแบบ 2 และ 3 สี

1.11 สรุปการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์ (ตามแผน)	เป้าหมาย / ผลที่คาด (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน (ปฏิบัติได้จริง)
1. ศึกษาการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมแบบ 2 สี 2. พิจารณาว่าเกิดการขัดขวางสีในน้ำย้อมหรือบนผ้า 3. หาสีตัวอื่นมาแทนที่สีที่ทำให้เกิดการขัดขวางสี และทดสอบทั้งในระบบที่มีการผสมแบบ 2 และ 3 สี	1. ทำให้ทราบว่าสีผสมคู่ใดที่เกิดการขัดขวางสีขึ้นจากการย้อม 2 ทำให้ทราบว่าสีตัวใดทำให้เกิดการขัดขวางสีและเกิดขึ้นในน้ำย้อมหรือบนผ้า 3. ทำให้ได้สีที่จะนำมาใช้แทนสีที่ทำให้เกิดปัญหาการขัดขวางสี	1. ทราบว่าสีผสมคู่ใดที่เกิดการขัดขวางสีขึ้นจากการย้อม 2. ทราบว่าสีตัวใดทำให้เกิดการขัดขวางสีและเกิดขึ้นตั้งแต่ในน้ำย้อมแล้ว 3. ได้สีที่จะนำมาใช้แทนสีที่ทำให้เกิดปัญหาการขัดขวางสี

1.12 สรุปผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์

⊗ บรรลุ.....

◯ บรรลุบางส่วน (ร้อยละ.....) เหตุผล.....

◯ ไม่บรรลุ เหตุผล.....

1.13 ผลผลิต/ สิ่งที่ได้จากการวิจัย (Outputs) (โปรดระบุรายละเอียด)

⊗ องค์ความรู้/ข้อมูลพื้นฐาน การขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสม

◯ สายพันธุ์พืช/สัตว์/จุลินทรีย์.....

◯ ผลิตภัณฑ์.....

◯ สิ่งประดิษฐ์.....

◯ เทคโนโลยี/นวัตกรรม.....

◯ ฐานข้อมูล/ซอฟแวร์.....

◯ คู่มือ.....

◯ วิดีทัศน์.....

⊗ การสร้างนักวิจัย/สนับสนุนนิสิตปริญญาตรี 1 คน ปริญญาโท ..... คน ปริญญาเอก ..... คน

⊗ สนับสนุนการศึกษาปัญหาพิเศษ 1 เรื่อง (ระบุ) การขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมในการย้อมผ้าฝ้าย วิทยานิพนธ์ เรื่อง (ระบุ).....

◯ อื่นๆ (ระบุ).....

1.14 ผลลัพธ์/ผลสำเร็จที่ได้/หรือคาดว่าจะได้จากการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ (Outcomes)

(1) เป้าหมายการนำไปใช้ประโยชน์ (ระบุกลุ่มเป้าหมายของงานวิจัยเชิงปริมาณ/คุณภาพ)

◯ ด้านการศึกษา/เสริมการเรียนการสอน.....

◯ ด้านการเกษตร.....

⊗ ด้านอุตสาหกรรม ทำให้เข้าใจปัญหาการขัดขวางสีเพิ่มขึ้น
◯ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ/สิ่งแวดล้อม
◯ ด้านคุณภาพชีวิต สุขภาพอนามัย
◯ ด้านเศรษฐกิจ
◯ ด้านสังคม
◯ ด้านการทำนุบำรุงศิลป ศาสนา วัฒนธรรม
◯ ด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี/ฝึกอบรมแก่กลุ่มเป้าหมาย
◯ เสนอภาครัฐ เพื่อใช้กำหนดแผน/นโยบาย ฯลฯ
◯ นำความรู้ไปวิจัย/พัฒนาขั้นต่อไป
⊗ ก่อให้เกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน/การสร้างเครือข่าย ภาควิชาเคมีและภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ
◯ อื่นๆ (ระบุ)

(2) สรุปผลการนำผลการวิจัยไปเผยแพร่ / ถ่ายทอด **ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดโครงการ** (ระบุรายละเอียดอยู่ระหว่างดำเนินการส่งตีพิมพ์/ตีพิมพ์แล้วในรูปแบบ**เอกสารอ้างอิง**และ**แนบสำเนาเป็นภาคผนวก**ของรายงาน)

⊗ ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ 1 เรื่อง (ระบุ) Advanced Materials Research Vols. 610-613 (2013) pp 569-572
◯ ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ เรื่อง (ระบุ)
◯ นำเสนอในการประชุม/สัมมนา ต่างประเทศ เรื่อง (ระบุ)
◯ นำเสนอในการประชุม/สัมมนา ในประเทศ เรื่อง (ระบุ)
◯ นำเสนอทางวิทยุ/โทรทัศน์/Website เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)
◯ นำเสนอทางนิทรรศการ 1 เรื่อง/ครั้ง (ระบุ) งานประชุมวิชาการระดับปริญญาตรี ครั้งที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 20 เม.ย. 2555
◯ บทความ/เอกสารสิ่งพิมพ์/วีดีทัศน์ เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)
◯ ถ่ายทอด/ฝึกอบรมแก่เกษตรกร/ผู้สนใจ เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)
◯ ถ่ายทอดสู่ภาคเอกชน/อุตสาหกรรม/ผู้ประกอบการ (ประโยชน์เชิงพาณิชย์) เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)
◯ ภาครัฐนำไปใช้กำหนดแผน/นโยบาย ฯลฯ (ระบุ)
◯ มีผู้นำผลงานวิจัยไปอ้างอิง (ระบุ)
◯ อื่นๆ (ระบุ)

1.15 การยื่นจด ◯ สิทธิบัตร ◯ อนุสิทธิบัตร ◯ ลิขสิทธิ์
◯ มีศักยภาพที่จะยื่นจด (ระบุ) ◯ ยื่นจดแล้ว เมื่อ

1.16 ผลกระทบ (Impact) ที่เกิดจากการนำผลการวิจัยไปใช้ (ระบุว่าก่อให้เกิดผลกระทบอย่างไร)

◯ ด้านความมั่นคง อาทิ การเมืองการปกครอง กฎหมาย การต่างประเทศ โครงสร้างพื้นฐาน และบริการโทรคมนาคม ฯลฯ (ระบุ).....

⊗ ด้านการเศรษฐกิจ อาทิ การพาณิชยกรรม การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พลังงาน ฯลฯ (ระบุ) องค์ความรู้สามารถใช้ในอุตสาหกรรมการย้อมสิ่งทอได้ เพื่อเพิ่มคุณภาพการผลิตและลดปริมาณการใช้สีที่เกิดจากปัญหาการขัดขวางสี

◯ ด้านคุณภาพชีวิตและสังคม ศักยภาพของคนและการศึกษา การแพทย์และสาธารณสุข หลักประกันความมั่นคง สวัสดิการสังคม วัฒนธรรม จริยธรรมและค่านิยม ฯลฯ (ระบุ).....

⊗ ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การบริการจัดการการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ การป้องกันการทำลาย ลดการสูญเสีย การฟื้นฟูทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ฯลฯ
ช่วยลดปริมาณสีในน้ำทิ้ง

◯ อื่นๆ (ระบุ).....

1.17 ผลการดำเนินงานวิจัยสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ ในด้าน

◯ ยุทธศาสตร์การขจัดความยากจน
◯ ยุทธศาสตร์การพัฒนาคนและสังคมที่มีคุณภาพ
⊗ ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้สมดุล และแข่งขันได้
◯ ยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
◯ ยุทธศาสตร์การต่างประเทศและเศรษฐกิจระหว่างประเทศ
◯ ยุทธศาสตร์การพัฒนากฎหมายและส่งเสริมการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี
◯ ยุทธศาสตร์การส่งเสริมประชาธิปไตยและกระบวนการประชาสังคม
◯ ยุทธศาสตร์การรักษาความมั่งคงของรัฐ
◯ ยุทธศาสตร์การรองรับการเปลี่ยนแปลงและพลวัตโลก
◯ อื่นๆ โปรดระบุ.....

1.18 ปัญหา อุปสรรค ในการดำเนินงานวิจัยและแนวทางแก้ไข ไม่มี

1.19 งานที่จะทำต่อไป/คำชี้แจงเพิ่มเติม.....

1.20 ได้แนบ “**รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการ** (Project)” ตามหัวข้อ **ในส่วนที่ 2** (หน้าถัดไป) มาด้วยแล้ว

ลงชื่อ พจนาม ..... หัวหน้าโครงการ

(นางพจนารถ สุวรรณรุจิ)

18 / พ.ย. /58 วัน/เดือน/ปี ที่รายงาน

ส่วนที่ 2 **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์**

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554

โครงการวิจัยรหัส ว-ท(ด)10.54

การศึกษาการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมในการย้อมผ้าฝ้าย

A study of blocking effect of reactive dye combination in exhaust dyeing of cotton)

พจนารถ สุวรรณรุจิ [(1)] รักชนก สีดาโคตร[(1)] จันทร์ทิพย์ ซื่อสัตย์[(2)]

Potjanart Suwanruji [(1)] Rakchanok Sidarkote [(1)] Jantip Suesat[(2)]

บทคัดย่อ

การศึกษาการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมในระหว่างกระบวนการย้อมผ้าฝ้าย จากสีรีแอคทีฟ 3 สีคือ C.I. Reactive Yellow 176, C.I. Reactive Red 239 และ C.I. Reactive Black 5 โดยศึกษาจากการใช้สีผสมแบบ 2 สี โดยย้อมสีบนผ้าฝ้ายชิ้นเดียวกันทีละสีที่ความเข้มข้น 1%owf แล้วสลับลำดับการย้อม เพื่อวัดค่าความแตกต่างของเฉดสี พบว่าเกิดการขัดขวางกันระหว่างสีผสมคู่ C.I. Reactive Yellow 176 กับ C.I. Reactive Black 5 และพบว่า C.I. Reactive Yellow 176 ถูก C.I. Reactive Black 5 ขัดขวางตั้งแต่ในส่วนของน้ำย้อมแล้ว จึงได้นำสี C.I. Reactive Blue 250 ซึ่งมีโครงสร้างของสีและหมู่รีแอคทีฟที่ใกล้เคียงกับ C.I. Reactive Black 5 มาใช้แทน ในการศึกษาการขัดขวางการให้สีของสีผสมทั้งแบบ 2 และ 3 สี พบว่าการขัดขวางการให้สีลดลง แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสีที่ใช้ผสมกันนั้นมีค่าลดลง

คำสำคัญ: สีรีแอคทีฟผสม การขัดขวางการให้สี การดูดซับสี การผนึกสี

ABSTRACT

The blocking effect of reactive dye combinations during the exhaust dyeing of cotton was studied using C.I. Reactive Yellow 176, C.I. Reactive Red 239 and C.I. Reactive Black 5. In the exhaust dyeing of binary reactive dye combinations, reverse order of dyeing was carried out at the dye concentration of 1%owf. After the shade of dyed cottons was evaluated, we found that the combination of C.I. Reactive Yellow 176 and C.I. Reactive Black 5 exhibited a blocking effect. The blocking took place readily in the dyebath. Therefore, C.I. Reactive Blue 250 was used to replace C.I. Reactive Black 5 in binary and ternary reactive dye combinations because of the similarity of their chromophores and reactive groups. The results showed less blocking effect, indicating low interaction between the dyes in the combination.

Key words: Reactive dye combinations, blocking effect, exhaustion, fixation

---

[(1)] *ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University

[(2)] *ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

Department of Textile Science, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

บทนำ

ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้งานเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ พิจารณาจากปริมาณการใช้ผ้าฝ้ายในประเทศไทยนั้นมีมากจนต้องนำเข้าเส้นใยฝ้ายจากต่างประเทศเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานในประเทศ รวมทั้งการผลิตผลิตภัณฑ์จากผ้าฝ้ายเพื่อการส่งออก การนำฝ้ายมาผลิตเป็นผ้าจะได้ผ้าที่มีความแข็งแรง ทนทาน ดูดซับความชื้นได้ดี เสื้อผ้าที่ผลิตจากฝ้ายจะให้ความรู้สึกนุ่มสบายในการสวมใส่ ระบายความร้อนได้ดีเหมาะกับการใช้งานในประเทศร้อนอย่างประเทศไทย และยังเหมาะสำหรับการผลิตเป็นผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้าอีกด้วย สีที่ใช้ย้อมผ้าฝ้ายจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายให้มีสีสันสวยงามและมีความทนทานต่อสภาพการใช้งาน สีที่สามารถใช้ย้อมผ้าฝ้ายมีหลายชนิด แต่สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) เป็นสีที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะสามารถยึดติดกับผ้าฝ้ายได้ดี โดยจะยึดติดกับผ้าฝ้ายด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่มีความแข็งแรงมาก ทำให้ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีชนิดนี้มีสมบัติในการทนทานต่อการซักสูง นอกจากนี้สีรีแอคทีฟยังมีสีให้เลือกหลากหลายและให้สีที่สดใส ในภาคอุตสาหกรรมการย้อมสิ่งทอเพื่อให้ได้เฉดสีที่ต้องการ ได้จากการเทียบสีและออกสูตรการย้อมที่ส่วนใหญ่อาศัยการผสมแม่สีย้อมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้เฉดสีตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม ในการย้อมสีรีแอคทีฟด้วยวิธีการแช่ (Exhaust dyeing) ในกรณีที่ต้องใช้สีรีแอคทีฟผสมกันมากกว่า 1 สี เพื่อให้ได้เฉดสีที่ต้องการ เช่น การใช้สีรีแอคทีฟสองสีผสมกัน (binary reactive combination) หรือการใช้สีรีแอคทีฟสามสีผสมกัน (ternary reactive combination) ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ เมื่อสีตัวใดตัวหนึ่งที่ใช้ผสมกันยึดติดกับผ้าได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ก็จะทำให้เฉดสีที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากสีที่ต้องการ ปัญหานี้พบมากในกรณีของเฉดสีเข้ม ตัวอย่างเช่น ในการผสมสีรีแอคทีฟเพื่อให้ได้สีน้ำตาลอ่อน (beige) จะต้องใช้สี 3 สี คือ C.I. Reactive Yellow 176, C.I. Reactive Red 239 และ C.I. Reactive Black เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มโดยใช้ปริมาณสีเพิ่มขึ้นเป็น 2, 3 และ 4 เท่า พบว่าสีที่ได้เปลี่ยนไปจากที่ควรจะได้สีน้ำตาลกลับให้สีม่วงแทน ทั้งนี้เพราะสีเหลืองถูกขัดขวาง(restrained/blocked) จากสีอื่นที่ใช้ผสม ซึ่งอาจเป็นการขัดขวางจากสีตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัวก็ได้ ปัญหานี้ส่งผลโดยตรงในแง่การผลิตคือ การควบคุมเพื่อให้ได้สีเหมือนเดิมทุกครั้งจะทำได้ยากโดยเฉพาะในการย้อมปริมาณมาก ปัญหาในด้านธุรกิจคือ จะทำให้สูญเสียรายได้ไปกับสินค้าที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และหากจะปรับปรุงให้ได้สีผสมที่ต้องการก็ต้องใช้สัดส่วนของสีตัวใดตัวหนึ่งในการผสมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต และอีกปัญหาที่สำคัญคือ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมคือ สีที่ถูกขัดขวางจากสีผสมอื่นๆ ก็จะเหลืออยู่ในน้ำย้อมเป็นจำนวนมากและเมื่อถูกกำจัดเป็นน้ำทิ้งก็จะทำให้มีค่า BOD และ COD สูง [1-4]

ปัญหาสีเพี้ยนจากการย้อมเป็นปัญหาที่พบเสมอในอุตสาหกรรมการย้อมสิ่งทอ สาเหตุของการเกิดเฉดสีเพี้ยนไปจากที่ต้องการนี้อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นชนิดของสีย้อมที่เลือกใช้ สภาวะที่ใช้ในการย้อม เครื่องมือที่ใช้ เป็นต้น การหลีกเลี่ยงหรือลดปัญหาดังกล่าว ทำได้โดยการควบคุมสภาวะในการย้อมให้มีความเหมาะสมกับสีและผ้าที่ใช้ แต่หากสาเหตุเกิดจากการขัดขวางกันเองของสีผสมที่อยู่ในน้ำย้อมทำให้สีใดสีหนึ่งไม่สามารถย้อมติดเส้นใยได้เท่าที่ควร ย่อมไม่สามารถแก้ไขได้โดยการควบคุมหรือปรับสภาวะในการย้อมนั้น ดังนั้นจึงต้องพิจารณาจากหลักเบื้องต้นในการเลือกใช้สีคือ เลือกใช้สีที่มาจากกลุ่มเดียวกัน ซึ่งมีค่า Substantivity และ Reactivity ที่ใกล้เคียง กัน หากสีที่เลือกมาเกิดการขัดขวางกันในการย้อม ซึ่งอาจ

เกิดขึ้นในส่วนน้ำย้อมหรืออาจเกิดขึ้นในระหว่างการแพร่เข้าสู่เส้นใย สีก็จะผิดเพี้ยนไป วิธีการแก้ไขคือจะต้องเลือกใช้สีอื่นที่ไม่มีปัญหานี้แทน การเทียบสี (Color matching) เพื่อออกสูตรสีย้อมให้ได้เฉดสีที่ต้องการบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้น จะสำเร็จมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับสมบัติความเข้ากันได้ (Compatibility) ของสีผสม ซึ่งจะต้องไม่เกิดการขัดขวางกันในการให้สี ซึ่งหากเกิดขึ้นปริมาณการย้อมติดสีบนเส้นใยของสีนั้นๆ จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อย้อมเพียงสีเดียว ในกรณีนี้สูตรการย้อมที่ได้จากการเทียบสีจะไม่สามารถใช้ได้ ในการย้อมสีผสมของสีรีแอคทีฟมากกว่า 1 สี จะต้องเลือกสีที่มีความเข้ากันได้ คือเป็นสีที่มีอัตราการย้อมติดเส้นใยที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งบนเส้นใยที่สีเข้าไปเกาะยึดมีจำนวนเท่าเดิม แต่สีที่จะยึดติดกับผ้ามีมากกว่า 1 สี ย่อมทำให้อัตราในการย้อมติดของแต่ละสีลดลงกว่าเมื่อย้อมเพียงสีเดียว ดังนั้นหากใช้สีที่ไม่เข้ากัน จะทำให้โอกาสเกิดการเพี้ยนของเฉดสีมีสูงขึ้น [5] การทดสอบเบื้องต้นเกี่ยวกับการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมนี้เป็นที่ทราบกันดีในอุตสาหกรรมการผลิตสีย้อม แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาวิจัยถึงกลไกในการขัดขวางการให้สีเผยแพร่ในเชิงวิชาการเลย ดังนั้นหากมีการศึกษาและทำความเข้าใจในการผสมสีรีแอคทีฟเพื่อให้ได้เฉดสีที่ต้องการโดยไม่เกิดปัญหาการขัดขวางของสีรีแอคทีฟที่ใช้ผสมกันในการย้อมแล้ว ก็จะส่งผลดีต่อการใช้สีรีแอคทีฟในการย้อมผ้าฝ้าย ทั้งในด้านการผลิต ด้านธุรกิจ และสิ่งแวดล้อมด้วย

วิธีวิจัย

1. **สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้**

<u>ผ้าและสารเคมี</u>

1. ผ้าฝ้ายทอที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว (บริษัท พี.เอส.เจวาซี จำกัด)
2. C.I. Reactive Red 239, C.I. Reactive Yellow 176, C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 250 (Everlight Chemical Industrial Corporation, Taiwan)
3. Non/anionic wetting Agent (EAC Co. Ltd., Thailand)
4. Sodium carbonate (MERCK, Germany)
5. Sodium chloride (MERCK, Germany)
6. Sodium hydroxide (MERCK, Germany)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. Hotplate/stirrer (SciLution Co., Ltd., Thailand)
2. Digital pH meter (HANNA instruments, Thailand)
3. Daelim Starlet II (DL-6000) infrared lab dyeing Machine (Phisit Intergroup Co., Ltd., Thailand)
4. UV/visible spectrophotometer (Perkin Elmer, USA)
5. McBeth ColorEye 7000 Spectrophotometer (GretagMacbeth, USA)
6. Volumetric flask (10, 25, 50, 100 และ 250 ml)
7. Erlenmeyer flask
8. ปิเปตต์ (1, 5, 10 และ 20 ml)

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

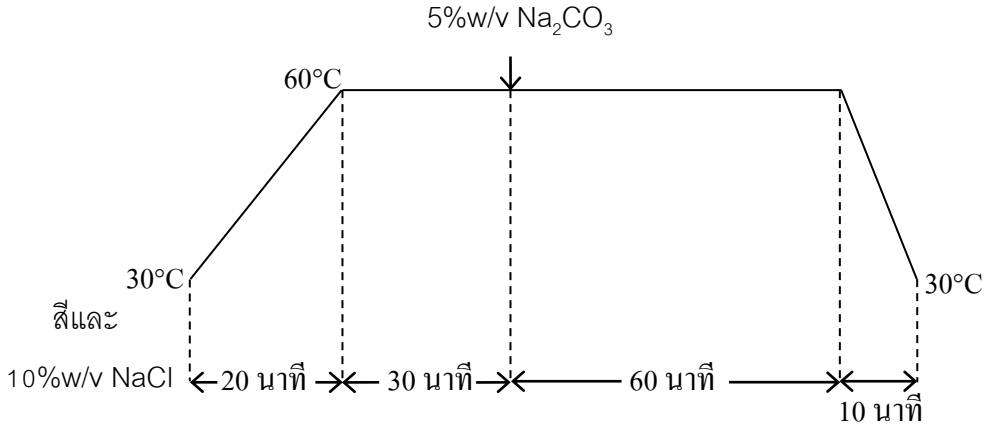
2.1 การทำความสะอาดผ้า (Scouring)

เตรียมสารละลายที่จะใช้ในการทำความสะอาดซึ่งประกอบด้วย 4%owf NaOH และ 1%owf Wetting agent อัตราส่วนของผ้าฝ้ายต่อสารละลายที่ใช้ทำความสะอาดคือ 30:1 ให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 90 – 95 ºC ก่อนจะนำผ้าลงไปต้มในน้ำเป็นเวลาประมาณ 45 นาที โดยต้องคนผ้าเป็นระยะๆ ล้างผ้าในน้ำร้อนก่อนแล้วจึงล้างในน้ำธรรมดา ก่อนจะตากผ้าให้แห้ง

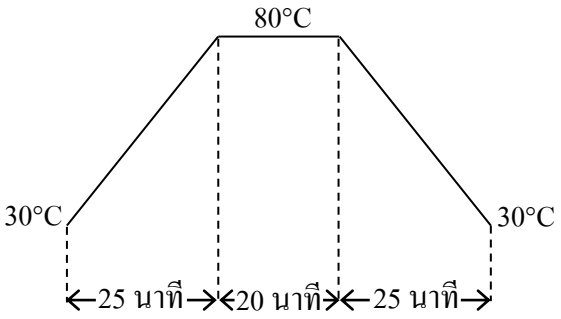
2.2 กระบวนการย้อม (Dyeing process)

2.2.1 การย้อมผสมสีย้อม 2 สี

1) สีที่ใช้ประกอบด้วย C.I. Reactive Red 239 (R239), C.I. Reactive Yellow 176 (Y176) และ C.I. Reactive Black 5 (B5) นำผ้าฝ้ายไปย้อมด้วยสีชนิดที่ 1 ก่อนตามกระบวนการย้อมในภาพที่ 1 และทำการล้างสีที่ผิวผ้าตามกระบวนการในภาพที่ 2 แล้วจึงนำผ้าฝ้ายชิ้นเดียวกันนี้ไปย้อมด้วยสีชนิดที่ 2 ที่ความเข้มข้นสีในน้ำย้อมที่เท่ากันคือ 1%owf ทำการล้างสีที่ผิวผ้า จากนั้นนำผ้าไปวัดค่าความเข้มและเฉดสีที่ปรากฏในรูปของค่า L* a* b* ด้วยเครื่อง Spectrophotometer



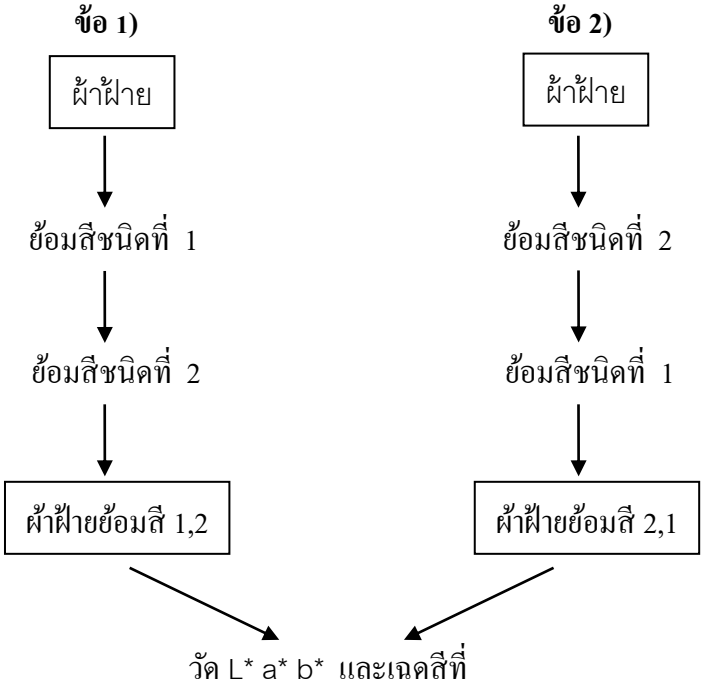
ภาพที่ 1 กระบวนการย้อมผ้า



ภาพที่ 2 กระบวนการ wash-off

2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) แต่สลับลำดับการย้อม คือจะเริ่มต้นย้อมด้วยสีชนิดที่ 2 ก่อนแล้วจึงตามด้วยสีชนิดที่ 1 จากนั้นนำผ้าที่ย้อมไปวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3) วิเคราะห์การขัดขวางการให้สีของสีผสม โดยหากไม่เกิดการขัดขวางกันของ 2 สีที่ทดลอง เฉดสีที่ปรากฏบนผ้าหลังการย้อมในข้อ 1) และ 2) จะต้องเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันในระดับที่ยอมรับได้ ถ้าเฉดสีแตกต่างกันแสดงว่าเกิดการขัดขวางการให้สีระหว่างคู่สีที่เลือกศึกษา ซึ่งจะพิจารณาจากการคำนวณค่าความแตกต่างสี (ΔE) ของผ้าฝ้ายที่ได้จากการย้อมสลับลำดับการย้อม โดยถ้าค่า ΔE ต่ำกว่า 1.5 ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ แสดงถึงการไม่ขัดขวางการให้สีของสีผสมคู่นั้นๆ



ภาพที่ 3 วิธีการย้อมผ้าฝ้ายระหว่างสีย้อมผสม 2 สีเพื่อวัดค่าเฉดสี

2.2.2 ศึกษาลักษณะการขัดขวางการให้สีระหว่างกระบวนการย้อม

จากการทดลองในข้อ 2.2.1 จะทำให้ทราบว่าคู่สีใดที่แสดงการขัดขวางการให้สีระหว่างกัน จากนั้นการทดลองในส่วนนี้จะวิเคราะห์ลักษณะการขัดขวางของคู่สีผสมว่าเกิดขึ้นเมื่อสีอยู่ในสารละลายน้ำย้อมหรือบนเส้นใยในระหว่างขั้นตอนการย้อม โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ย้อมผ้าด้วยสีชนิดที่ 1 ที่ความเข้มข้น 1% แล้วคำนวนค่าการดูดซับสี (%Exhaustion) ตามสมการที่ (1) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการย้อม จากนั้นทำการต้มผ้าหลังการย้อมแล้ววัดค่า absorbance ของน้ำที่ได้จากการต้ม (wash-off liquor) เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (% Fixation) ตามสมการที่ (2)

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

$$\%F = \frac{A_0 - A_1 - A_w}{A_0} \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่ %E คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสี

%F คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า

A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมก่อนการย้อม

A_1 คือค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมหลังการย้อม

A_W คือค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ได้จากการ wash off

2) ทำการย้อมผ้าชิ้นที่ 1 ด้วยสีผสมระหว่างสีชนิดที่ 1 ความเข้มข้น 1% และสีชนิดที่ 2 ที่ความเข้มข้น 0.12, 0.25, 0.5 และ 1% เพื่อศึกษาอิทธิพลของสีชนิดที่ 2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการย้อมติดบนผ้าของสีชนิดที่ 1

3) ทำการย้อมผ้าชิ้นที่ 2 ด้วยสีผสมระหว่างสีชนิดที่ 1 ความเข้มข้น 0.12, 0.25, 0.5 และ 1% และสีชนิดที่ 2 ที่ความเข้มข้น 1% เพื่อศึกษาอิทธิพลของสีชนิดที่ 1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการย้อมติดบนผ้าของสีชนิดที่ 2

<u>การทดสอบการขัดขวางที่เกิดขึ้นในสารละลาย</u>

ทำการวัดค่าการดูดซับสี (%E) ของสีชนิดที่ 1 เมื่อเสร็จสิ้นการย้อม ถ้าการดูดซับสีของสีชนิดที่ 1 ที่วัดได้เมื่อย้อมโดยมีสีชนิดที่ 2 ความเข้มข้น x% อยู่ในน้ำย้อมด้วย มีค่าเท่ากับเมื่อย้อมโดยมีสีชนิดที่ 1 เพียงสีเดียว แสดงว่าไม่มีการขัดขวางสีเกิดขึ้นในสารละลาย

<u>การทดสอบการขัดขวางที่เกิดขึ้นบนเส้นใย</u>

ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของสีชนิดที่ 1 ที่ผนึกบนผ้า (%F) แล้วนำมาวิเคราะห์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าที่ได้เท่ากับค่าการผนึกเมื่อย้อมด้วยสีชนิดที่ 1 เพียงสีเดียว แสดงว่าไม่เกิดการขัดขวางการให้สีของสีชนิดที่ 1 เมื่อมีสีชนิดที่ 2 ที่ความเข้มข้น x% บนเส้นใย แต่ถ้าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีเท่ากัน แต่เปอร์เซ็นต์การผนึกสีของสีชนิดที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการย้อมโดยไม่มีสีชนิดที่ 2 แสดงว่าเกิดการขัดขวางการให้สีขึ้นบนเส้นใย ไม่ใช่ในสารละลายน้ำย้อม

2.3 การทดสอบสีรีแอคทีฟอื่นเพื่อมาใช้แทนที่สีที่ทำให้เกิดการขัดขวางสี

ศึกษาการใช้สีรีแอคทีฟตัวอื่นๆ เพื่อมาใช้แทนสีตัวที่ก่อให้เกิดปัญหาการขัดขวางการให้สีในสีผสม เช่น ถ้าสี C.I. Reactive Black 5 ก่อให้เกิดการขัดขวางการให้สี อาจให้สี C.I. Reactive Blue 250 หรือ C. I. Reactive Blue 222 แทนได้ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อหาสูตรผสมของสีรีแอคทีฟที่ไม่เกิดปัญหาการขัดขวางการให้สี

2.2.2 การย้อมผสมสีย้อม 3 สี

ทำการย้อมโดยสลับลำดับการย้อมของสีย้อม 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 1%owf หลังการย้อมพิจารณาความแตกต่างของเฉดสีที่ได้บนผ้า จากการคำนวณค่าความแตกต่างสี (ΔE) ของผ้าฝ้ายที่ได้จากการย้อมสลับลำดับการย้อม

ผลและวิจารณ์

1. ผลการย้อมผสมสีย้อม 2 สี

ในการศึกษาการขัดขวางการให้สีของสีย้อมรีแอคทีฟที่ใช้ผสมกันจำนวน 2 สี ในเบื้องต้นได้ใช้สีรีแอคทีฟในการทดลองนี้จำนวน 3 สี คือ C.I. Reactive Red 239 (R239) C.I. Reactive Yellow 176 (Y176) และ C.I. Reactive Black 5 (B5) ซึ่งสีทั้งสามชนิดที่ใช้นี้เป็นสีย้อมอุ่น สามารถย้อมได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 60 ^{o}C เมื่อทำการย้อมสีแต่ละชนิดบนผ้าฝ้ายที่ความเข้มข้น 1%owf แล้วทำการคำนวณหาค่าการดูดซับสี (%E) และเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (%F) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเมื่อทำการย้อมสีทั้งสามแบบใช้สีเดียว สีสามารถดูดซับบนผ้าได้ประมาณ 80% ขึ้นไป และสีสามารถยึดติดบนผ้าได้มากกว่า 70% โดยที่สี Y176 สามารถยึดติดบนผ้าได้มากที่สุดคือ ประมาณ 94% ส่วนต่างของ %E และ %F เกิดจากสีที่ถูกไฮโดรไลซ์และไม่สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับผ้าฝ้ายได้ จึงติดอยู่ที่ผิวผ้าฝ้ายด้วยพันธะอย่างอ่อนเท่านั้น และสามารถหลุดออกไปจากผ้าฝ้ายได้ด้วยการล้างในขั้นตอนการ wash off

ตารางที่ 1 ค่าความยาวคลื่น การดูดซับสี (%E) และเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (%F) ของสีรีแอคทีฟ

Reactive dye	λ_{max}	%E	%F
B5	610	80.50	77.48
Y176	421	96.07	94.37
R239	517	79.27	74.48
B250	610	87.76	84.90

จากนั้นจึงทำการย้อมสีผสมแบบ 2 สีโดยจับคู่สีจำนวน 3 คู่คือ คู่ที่ 1 ประกอบด้วย Y176 กับ R239 ซึ่งเมื่อผสมแล้วจะให้สีแดง (scarlet) คู่ที่ 2 ประกอบด้วย Y176 กับ B5 โดยสีที่ได้จากการผสมคือสีเขียวเข้ม (dull green) และคู่ที่ 3 ประกอบด้วย R239 กับ B5 ซึ่งจะให้สีม่วง (violet) โดยในการทดลองจะทำการย้อมแบบสลับลำดับการย้อมของสีแต่ละคู่โดยใช้ความเข้มข้นของสีแต่ละชนิดที่ 1%owf ดังแสดงให้ตารางที่ 2 แล้ววัดค่าความแตกต่างของเฉดสีที่ปรากฏบนผ้า (ΔE) จากการสลับลำดับการย้อมในแต่ละคู่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สีผสมคู่ที่ 1 และ 3 ไม่มีการขัดขวางการให้สีเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อพิจารณาจากค่า ΔE ที่วัดได้ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเฉดสีที่ปรากฏบนผ้าฝ้ายที่ได้จากการสลับลำดับการย้อมของสีทั้งสองคู่มีความใกล้เคียงกันมากหรืออาจกล่าวได้ว่ามีการให้สีที่เหมือนกัน ไม่สามารถบอกความแตกต่างของเฉดสีบนผ้าได้ นั่นหมายถึงการสลับลำดับการย้อมไม่ส่งผลต่อสีที่ปรากฏบนผ้าของสีผสมคู่ที่ 1 และ 3 ในขณะที่สีคู่ที่ 2 มีการขัดขวางการให้สีเกิดขึ้น โดยพิจารณาได้จากค่า ΔE = 2.30 แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของเฉดสีที่ปรากฏบนผ้าจากการสลับลำดับการย้อม ถึงแม้จะใช้สีคู่เดียวกันในการย้อมก็ตาม ดังนั้นในการทดลอง

เกี่ยวกับการขัดขวางสีในลำดับถัดไป ก็จะใช้สีคู่ที่ 2 นี้ในการศึกษาว่าเกิดการขัดขวางสีในสารละลายน้ำย้อมหรือเกิดขึ้นบนผ้า

ตารางที่ 2 ค่าความแตกต่างของเฉดสี (ΔE) จากการสลับลำดับการย้อมของสีผสมแบบ 2 สี

ลำดับที่	สีย้อมผสม	เฉดสี	ลำดับการย้อม		ความแตกต่างของเฉดสี (ΔE)
1	Y176&R239	Scarlet	Y176⟶ R239	R239 ⟶Y176	0.92
2	Y176&B5	Dull green	Y176⟶B5	B5⟶ Y176	2.30
3	R239& B5	Violet	R239⟶ B5	B5⟶ R239	0.82
4	Y176&B250	Dull green	Y176⟶B250	B250⟶ Y176	0.81

จากการขัดขวางสีที่เกิดขึ้นกับสีคู่ที่ 2 นี้ ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาสีที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนสี B5 ซึ่งก็คือ C.I. Reactive Blue 250 (B250) เพราะสีชนิดนี้มีโครงสร้างสีที่ใกล้เคียงกับ B5 และมีหมูรีแอคทีฟชนิดเดียวกัน สิ่งที่แตกต่างกันในโครงสร้างสีคือ B250 จะมีหมู่เกะกะเพิ่มขึ้นมาจาก B5 (ไม่สามารถเปิดเผยโครงสร้างของสีได้ เพราะเป็นความลับในทางการค้า) อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดก็เกิดที่ความยาวคลื่นเดียวกันคือ 610 nm ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 1 รวมถึงเมื่อนำไปย้อมบนผ้าฝ้ายก็ให้ค่า %E และ %F ใกล้เคียงกับ B5 โดยให้ค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย เมื่อนำ B250 มาย้อมผสมกับ Y176 โดยทำการสลับลำดับการย้อมเพื่อหาค่าความแตกต่างของสีเช่นเดียวกับสีคู่ที่ 1-3 และได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 2 เป็นคู่สีลำดับที่ 4 พบว่า ค่า ΔE < 1 ซึ่งหมายถึงเฉดสีที่ได้จากการสลับลำดับการย้อมมีความใกล้เคียงกันมากจนแทบจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการนำสี B250 มาใช้แทนสี B5 จึงมีแนวโน้มที่ดีว่าจะไม่เกิดการขัดขวางสีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการทดลองต่อโดยใช้สีคู่ที่ 4 นี้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสีคู่ที่ 2

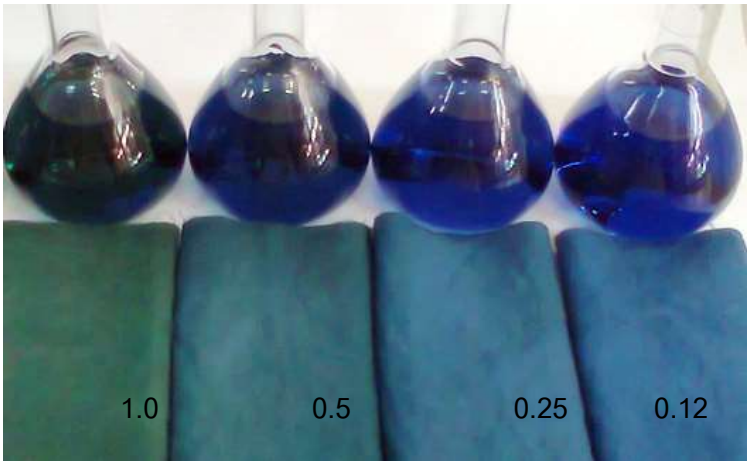
2. ผลการศึกษาลักษณะการขัดขวางการให้สีระหว่างกระบวนการย้อมของสีผสมแบบ 2 สี

เนื่องจากเกิดการขัดขวางสีในการย้อม Y176 กับ B5 ทำให้ได้เฉดสีที่มีความแตกต่างกันในการย้อมสลับลำดับ ดังนั้นในการศึกษาลักษณะการขัดขวางสี จึงได้ทำการย้อมสี B5 ที่ความเข้มข้นคงที่คือ 1%owf พร้อมกับ Y176 ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อพิจารณาอิทธิพลของสี Y176 ที่มีต่อการดูดซับสีและการผนึกสีบนผ้าของสี B5 โดยพิจารณาที่ความยาวคลื่น 610 nm ดังแสดงในตารางที่ 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Y176 ไม่ขัดขวางการดูดซับสีและการผนึกสีบนผ้าฝ้ายของ B5 เลย โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการย้อมสีผสมนี้กับการย้อมด้วยสี B5 เพียงสีเดียวในตารางที่ 1 พบว่าการดูดซับสีและเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้าไม่ได้ลดต่ำลงจากการที่มีสี Y176 อยู่ในน้ำย้อมด้วย และที่น่าสนใจคือกลับทำให้ค่าการดูดซับสีและเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้าฝ้ายของ B5 สูงขึ้นกว่าตอนย้อมเดี่ยวๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการมี Y176 ละลายอยู่ในน้ำย้อมด้วย ทำให้ B5 มีแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำลดลง ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ไปยึดติดที่ผิวผ้าเพิ่มมากขึ้น ภาพที่ 4 แสดงให้

เห็นสีผสมในสารละลายก่อนการย้อมและสีที่ย้อมติดบนผ้าฝ้ายของสีผสมระหว่าง B5 (1%owf) กับ Y176 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสี (%E) และเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (%F) ของการย้อมสีผสม C.I. Reactive Black 5 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Yellow 176 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Y176 (%owf)	B5 (1%owf)	
	%E	%F
0.12	87.54	85.72
0.25	81.10	78.65
0.50	82.04	79.61
1.0	83.58	81.17



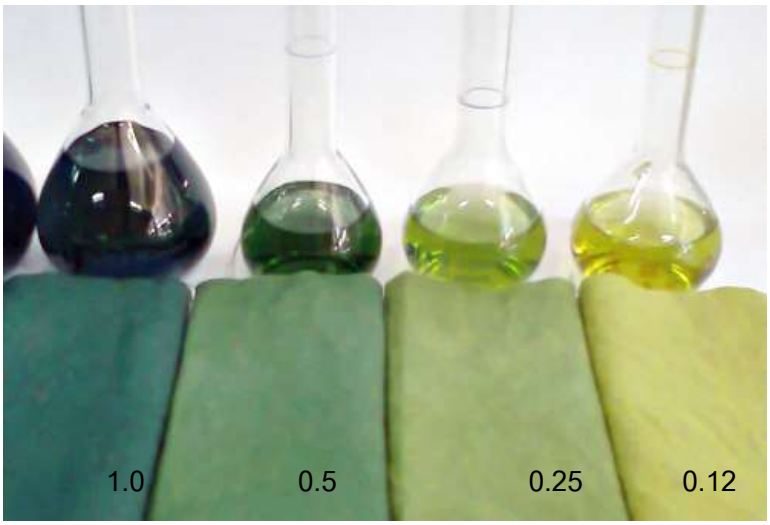
ภาพที่ 4 สีย้อมผสมของ C.I. Reactive Black 5 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Yellow 176 ที่ความเข้มข้มต่างๆ ในสารละลายและบนผ้าฝ้าย

ในทางตรงกันข้าม เมื่อทำการย้อมสี Y176 ที่ความเข้มข้นคงที่คือ 1%owf โดยย้อมพร้อมกับ B5ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อพิจารณาอิทธิพลของสี B5 ที่มีต่อการดูดซับสีและการผนึกติดบนผ้าของสี Y176 โดยพิจารณาที่ความยาวคลื่น 421 nm ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า %E และ %F ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าการย้อม Y176 เพียงสีเดียว ซึ่งก็ต้องเป็นอิทธิพลจาก B5 ที่ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการให้สีของ Y176 ในสีผสม และการขัดขวางสีเกิดขึ้นตั้งแต่ในน้ำย้อม จึงทำให้ค่า %E ลดต่ำลงกว่าการย้อมด้วย Y176 เพียงสีเดียว และเมื่อยิ่งเพิ่มความเข้มข้นของ B5 การดูดซับสีของ Y176 บนผ้าฝ้ายก็ยิ่งลดต่ำลงเรื่อยๆ ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจาก Y176 ถูกขัดขวางการเคลื่อนที่ไปสู่ผิวผ้า โดยเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสีที่อยู่ในน้ำย้อม จนทำให้มีความสามารถในการเคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นใยผ้าได้น้อยลง เมื่อสิ้นสุดการย้อม ปริมาณสีที่ดูดซับบนผ้าจึงน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นของสีทั้งสองที่เท่ากันที่ 1%owf พบว่า Y176 มีค่า %E ลดต่ำลงไป

จากการย้อมเดี่ยวมาก เมื่อมีปริมาณสีที่เท่าๆ กัน B5 สามารถเคลื่อนที่ไปที่ผิวผ้าได้ดีกว่าและยังขัดขวางการเคลื่อนที่ของ Y176 ไปยังผิวผ้าฝ้ายอย่างชัดเจน ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นสีผสมในสารละลายก่อนการย้อมและสีที่ย้อมติดบนผ้าฝ้ายของสีผสมระหว่าง Y176 (1%owf) กับ B5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสี (%E) และเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (%F) ของการย้อมสีผสม C.I. Reactive Yellow 176 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Black 5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

B5 (%owf)	Y176 (1%owf)	
	%E	%F
0.12	91.89	88.18
0.25	91.16	87.46
0.5	89.91	86.43
1.0	81.24	77.59



ภาพที่ 5 สีย้อมผสมของ C.I. Reactive Yellow 176 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Black 5 ที่ความเข้มข้มต่างๆ ในสารละลายและบนผ้าฝ้าย

จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า Y176 ถูกขัดขวางการให้สีจากการมี B5 อยู่ในสารละลายน้ำย้อม ทำให้ค่า %E ลดลงเมื่อเทียบกับการย้อมด้วย Y176 เพียงสีเดียว ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนจาก B5 มาเป็น B250 เพราะในเบื้องต้นพบว่าไม่เกิดการขัดขวางสีกันจากการย้อมสลับลำดับกับ Y176 ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการย้อมสี B250 ที่ความเข้มข้นคงที่คือ 1%owf พร้อมกับ Y176 ที่ความเข้มข้น x% (ตารางที่ 5) สี Y176 ไม่ได้มีอิทธิพลต่อการดูดซับสีและการผนึกสีบนผ้าของสี B250 ที่ความยาวคลื่น 610 nm เลย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Y176 ไม่ขัดขวางการดูดซับสีและการผนึกสีบนผ้าฝ้ายของ B250 เลย โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการย้อมสีผสมคู่นี้กับ

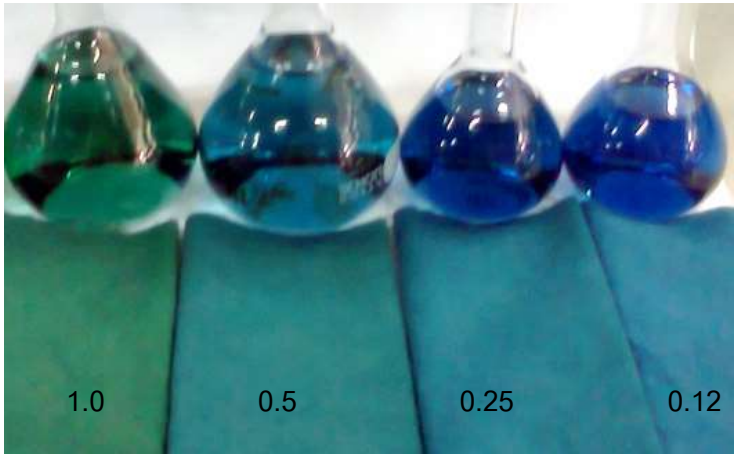
การย้อมด้วยสี B250 เพียงสีเดียวในตารางที่ 1 พบว่าการดูดซับสีและเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้ายังคงมีค่าเท่าเดิม คือ ประมาณ 88 %E และ 84-85 %F ถึงแม้จะมีสี Y176 อยู่ในน้ำย้อมด้วยก็ตาม

แต่อย่างไรก็ดีเมื่อเมื่อทำการย้อมสี Y176 ที่ความเข้มข้นคงที่คือ 1%owf โดยย้อมพร้อมกับ B250 ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันคือ 0.12, 0.25, 0.5 และ 1%owf เพื่อพิจารณาอิทธิพลของสี B250 ที่มีต่อการดูดซับสีและการผนึกติดบนผ้าของสี Y176 โดยพิจารณาที่ความยาวคลื่น 421 nm ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า %E และ %F ทั้งหมดของสี Y176 มีค่าลดลงกว่าการย้อม Y176 เพียงสีเดียว ซึ่งก็ต้องเป็นผลจาก B250 ที่ทำให้เกิดการขัดขวางการให้สีของ Y176 ในสีผสมโดยเกิดขึ้นตั้งแต่ในน้ำย้อม จึงทำให้ค่า %E ลดต่ำลงกว่าการย้อมด้วย Y176 เพียงสีเดียว แต่หากพิจารณาการดูดซับสีของ Y176 บนผ้าฝ้ายเปรียบเทียบกันระหว่างการมีสี B5 และ 250 อยู่ในน้ำย้อมด้วยนั้น จะพบว่าการขัดขวางสีเกิดขึ้นอย่างชัดเจนมากกว่าในกรณีของสีผสมระหว่าง Y176 กับ B5 โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นของ B5 และ B250 ที่สูงขึ้น สังเกตได้จากค่า %E ของ Y176 ที่คำนวณได้จากการมี B5 หรือ B250 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% owf อยู่ในน้ำย้อมด้วย ในกรณีที่มี B5 หรือ B250 ความเข้มข้น 1% owf เท่ากับ Y176 จะเห็นได้ว่า คู่ Y176 กับ B5 มีค่า %E เพียง 81% ลดลงไปจากการย้อม Y176 เพียงสีเดียวซึ่งมีค่า 96 %E อย่างมาก ในขณะที่คู่ Y176 กับ B250 ถึงแม้จะมีค่า %E ลดลงจากการย้อมด้วย Y176 เพียงสีเดียวแต่ก็ยังคงมีค่า %E ประมาณ 90% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า B250 ขัดขวางการให้สีของ Y176 น้อยกว่า B5 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสี B5 กับ Y176 ในน้ำย้อมจึงน่าจะมีมากกว่า B250 ซึ่งยืนยันได้จากผลการทดลองนี้ ทั้งนี้โครงสร้างของสีที่มีความเป็นเส้นตรงกว่าของ B5 น่าจะส่งผลให้เกิดแรงกระทำต่อ Y176 มากกว่ากรณีของ B250 นั่นเอง

ดังนั้นในการย้อมเพื่อให้ได้เฉดสีเขียวเข้ม (dull green) หากเกิดจากการย้อมผสมกันระหว่าง Y176 และ B5 ก็จะเกิดปัญหาการย้อมที่ให้เฉดสีผิดเพี้ยนหรือแตกต่างกันในแต่ละครั้งของการย้อมได้ ซึ่งจะส่งผลให้ผ้าไม่ผ่านการทดสอบในการนำไปใช้งานจริง จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่า หากใช้สี B250 มาใช้ในการย้อมพร้อมกับ Y176 เพื่อให้ได้สีเขียวเข้มเช่นเดียวกัน น่าจะทำให้เกิดปัญหาสีผิดเพี้ยนและไม่ผ่านการทดสอบลดลง ดังนั้น Y176 สีรีแอคทีฟที่ควรเลือกใช้ในการย้อมเพื่อมาใช้แทนที่สีที่ทำให้เกิดการขัดขวางสีซึ่งในที่นี้คือ สี B5

<u>ตารางที่ 5</u> เปอร์เซ็นต์การดูดซับสี (%E) และเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (%F) ของการย้อมสีผสม C.I. Reactive Blue 250 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Yellow 176 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

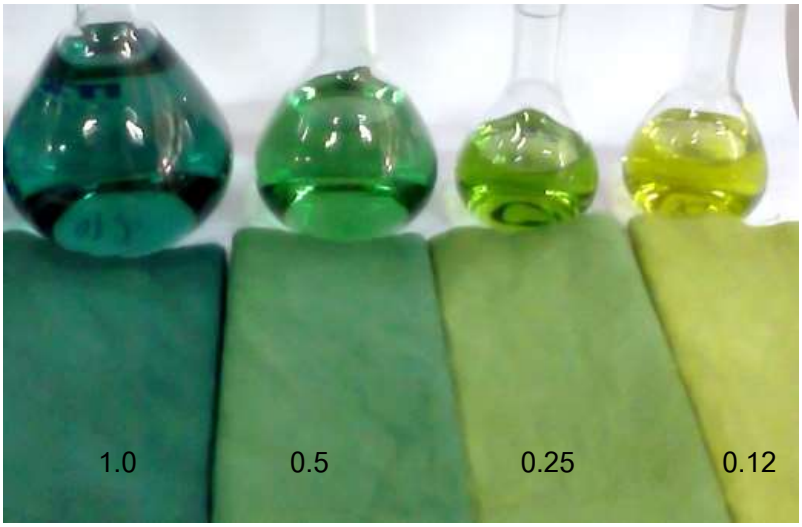
Y176 (%owf)	B250 (1%owf)	
	%E	%F
0.12	87.66	85.18
0.25	88.27	85.96
0.5	88.29	85.80
1.0	87.36	83.63



ภาพที่ 6 สีย้อมผสมของ C.I. Reactive Blue 250 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Yellow 176 ที่ความเข้มข้มต่างๆ ในสารละลายและบนผ้าฝ้าย

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสี (%E) และเปอร์เซ็นต์สีที่ผนึกบนผ้า (%F) ของการย้อมสีผสม C.I. Reactive Yellow 176 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Blue 250 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

B250 (%owf)	Y176 (1%owf)	
	%E	%F
0.12	91.64	89.40
0.25	91.14	89.08
0.5	90.06	87.92
1.0	89.68	86.66



ภาพที่ 7 สีย้อมผสมของ C.I. Reactive Yellow 176 ที่ 1%owf กับ C.I. Reactive Blue 250 ที่ความเข้มข้มต่างๆ ในสารละลายและบนผ้าฝ้าย

3. ผลการศึกษาการย้อมผสมสีย้อม 3 สี

เพื่อทำการพิสูจน์ยืนยันว่า สี B250 ไม่ทำให้เกิดการขัดขวางการให้สีและน่าจะเป็นตัวแทนสี B5 ได้ดีในการย้อมสีรีแอคทีฟแบบผสม จึงได้ทำการทดลองย้อมสีรีแอคทีฟแบบ 3 สี ประกอบด้วย R239, B250 และ Y176 ซึ่งจะให้สีน้ำตาล (Brown) ดังแสดงในภาพที่ 8 วิธีการทดลองได้ออกแบบการย้อมเป็น 7 ชุดดังแสดงในตารางที่ 7 โดยการย้อมใน 6 ชุดแรกจะเป็นการย้อมทีละสีแล้วสลับลำดับการย้อม โดยย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีที่ 1 (1%owf) แล้วจึงย้อมด้วยสีที่ 2 (1%owf) และสีที่ 3 (1%owf) ตามลำดับ ส่วนในการย้อมชุดที่ 7 ทำการใส่สีทั้งสามสี ซึ่งแต่ละสีมีความเข้มข้น 1%owf ผสมลงไปในน้ำย้อมเดียวกันเลยก่อนจะทำการย้อมบนผ้าฝ้าย ซึ่งก็จะเป็นการย้อมเพียงครั้งเดียว โดยได้ทำการย้อมในสภาวะเบสที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C เป็นเวลา 90 นาที หลังการย้อมทำการล้างสีที่ถูกไฮโดรไลซ์และเกาะอยู่ที่ผิวผ้า โดยใช้สภาวะเดียวกับการย้อมสีเดียวและสองสี นำผ้าที่ตากแห้งแล้วไปวัดค่าความแตกต่างของสีเพื่อวิเคราะห์ว่าเกิดการขัดขวางการให้สีหรือไม่ โดยค่า ΔE จะต้องไม่เกิน 1.5

ผลการทดลองในตารางที่ 7 แสดงค่า ΔE ที่วัดได้ของการย้อมผ้าฝ้ายทั้ง 7 ชุด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.44 ถึง 1.39 ซึ่งถือได้ว่าไม่มีการขัดขวางการให้สีเกิดขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองในการย้อมสีย้อมผสม 2 สีที่พบว่าไม่มีการขัดขวางการให้สีของสีย้อมผสมแต่ละคู่ ดังนั้นเมื่อนำมาย้อมในระบบที่มีสีรีแอคทีฟ 3 สี ก็ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นสี B250 จึงสามารถใช้ในการย้อมสีผสมได้โดยไม่ส่งผลไปขัดขวางการให้สีของสีอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำย้อม อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาปริมาณของสีที่อยู่บนผ้า ซึ่งวัดได้จากค่า K/S ของผ้าแต่ละผืน พบว่าสีที่อยู่บนผ้าใน 6 ชุดแรกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 14.59 – 15.14 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่การย้อมผ้าด้วยสีผสมทั้ง 3 สีในครั้งเดียวจะมีค่า K/S น้อยกว่า (13.51) และไม่อยู่ในช่วงเดียวกับการย้อมทีละสี ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ในน้ำย้อมมีสีรีแอคทีฟทั้ง 3 ชนิดอยู่รวมกันจะเกิดการแข่งขันกันระหว่างสีที่อยู่ในน้ำย้อม รวมถึงอาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างสีที่อยู่รวมกันเป็นจำนวนมากทำให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าต่ำกว่าการย้อมทีละสี

แต่อย่างไรก็ดีในแง่การปฏิบัติงานจริง การทำการย้อมเพียงครั้งเดียวก็จะสะดวก รวดเร็ว และประหยัดพลังงานและเวลาในการทำงานได้มากกว่า เพราะการย้อมทีละสีจะต้องทำการย้อมถึง 3 ครั้ง ต้องมีการเตรียมน้ำย้อมถึง 3 ครั้ง พลังงานและเวลาที่ใช้ในการย้อมก็เพิ่มเป็น 3 เท่า ถึงแม้จะทำให้โอกาสที่สีจะเกาะติดกับผ้ามากกว่าการย้อมเพียงครั้งเดียว ซึ่งเห็นได้จากค่า K/S ของผ้าผืนที่ 1-6 ที่ทำการย้อมสีทั้งสามเป็นลำดับจะมีค่าสูงกว่าการย้อมแบบครั้งเดียวก็ตาม ดังนั้นการใช้สีที่ไม่ทำให้เกิดการขัดขวางสีขึ้นในน้ำย้อมก็จะทำให้การย้อมในแต่ละครั้งไม่เกิดการผิดเพี้ยนไป การเลือกใช้สีผสมจึงมีความสำคัญมาก

ภาพที่ 8 สีบนผ้าฝ้ายที่ได้จากการย้อมด้วยสีผสมของ C.I. Reactive Yellow 176, C.I. Reactive Blue 250 และ C.I. Reactive Red 239

ตารางที่ 7 ค่าความแตกต่างของเฉดสี (ΔE) จากการย้อมของสีผสมแบบ 3 สี

No.	Sample	λ_{max}	K/S	**ΔE**
1	R239⟶B250⟶Y176	560	15.04	0.77
2	R239⟶Y176⟶ B250	560	15.14	1.23
3	B250⟶Y176⟶R239	560	14.99	0.44
4	B250⟶R239⟶Y176	560	15.09	1.02
5	Y176⟶R239⟶ B250	560	14.59	0.98
6	Y176⟶ B250⟶R239	560	14.89	0.54
7	R239 + B250 + Y176	560	13.51	1.39

สรุปและเสนอแนะ

การศึกษาการการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสมในการย้อมผ้าฝ้าย ได้ทำการศึกษาโดยใช้สีรีแอคทีฟประเภทย้อมอุ่นจำนวน 3 สีคือ C.I. Reactive Red 239 (R239), C.I. Reactive Yellow 176 (Y176) และ C.I. Reactive Black 5 (B5) ทำการย้อมบนผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 60^{o}C ในสภาวะที่เป็นเบส โดยทำการย้อมสีแบบเดียวที่ 1%owf เพื่อหาค่า %E และ %F ของแต่ละสี จากนั้นทำการย้อมแบบผสม 2 สีโดยทำการสลับลำดับการย้อมแล้วหาค่าความแตกต่างของเฉดสี (ΔE) พบว่าเกิดการขัดขวางสีระหว่าง Y176 และ B5 โดยมีค่า ΔE = 2.30 จึงใช้สีคู่นี้ในการศึกษาการขัดขวางสีในกระบวนการย้อมต่อไป โดยทำการย้อมสีผสมโดยให้สีหนึ่งมีค่าความเข้มข้นคงที่ที่ 1%owf และอีกสีหนึ่งมีความเข้มข้น 0.12, 0.25, 0.5 และ 1.0%owf ตามลำดับ ซึ่งถ้าไม่เกิดการขัดขวางสีขึ้น สีที่ย้อมที่ 1%owf รวมกับอีกสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ก็ควรจะมีค่า %E และ %F ใกล้เคียงกับการย้อมแบบสีเดียว ซึ่งผลการทดลองทำให้ทราบว่าสี B5 ขัดขวางการให้สีของสี Y176 และเป็นการขัดขวางการให้สีที่เกิดขึ้นตั้งแต่ในน้ำย้อม เพราะค่า %E ของ Y176 ลดลงจากการย้อมแบบสีเดียว ดังนั้นจึงต้องหาสีที่จะมาใช้แทน B5 เพื่อลดปัญหาการขัดขวางสี โดยได้ทำการทดลองด้วยวิธีการเดิมแต่เปลี่ยนเป็นสี B250 แทนเพราะว่ามีโครงสร้างและหมู่รีแอคทีฟใกล้เคียงกัน ผลการทดลองพบว่าสี B250 มีการขัดขวางการให้สีน้อยกว่า B5 และทำให้การย้อมสีผสมให้สีใกล้เคียงกันมากกว่าทั้งในการย้อมระบบ 2 และ 3 สี ทั้งนี้เป็นเพราะโครงสร้างของสี B5 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสีด้วยกันได้มากกว่าส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสี Y176 ไปสู่ผ้าลดน้อยลง และมีการติดผนึกสีลดลงไปด้วย

ในการทดลองนี้ใช้สีทั้งสามคือ Y176 R236 และ B5 เป็นตัวแทนแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการเกิดปัญหาการขัดขวางการให้สีของสีรีแอคทีฟผสม แต่อย่างไรก็ดีเราสามารถหาสีที่นำมาใช้แทนโดยยังให้สีเดียวกันแต่ลดปัญหาการขัดขวางสีลงไปได้ โดยพิจารณาจากการมีโครงสร้างและหมู่รีแอคทีฟที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า การเลือกสีรีแอคทีฟในการย้อมสีผสมมีความสำคัญมาก ทั้งนี้เพราะหากสีที่เลือกเกิดการขัดขวางการให้สีกันขึ้นในระหว่างการย้อมก็จะส่งผลให้สีที่ปรากฏบนผ้าในการย้อมแต่ละครั้งแตกต่างกัน ถึงแม้จะทำการย้อมด้วยสีเดียวกัน ความเข้มข้นเท่ากันก็ตาม เราต้องพิจารณาเลือกสีไม่มีแรงดึงดูดระหว่างกันเองหรือมีน้อยที่สุด ก็จะไม่เป็นอุปสรรคในการเข้าไปยึดติดบนผ้าฝ้าย เพราะเมื่อเกิดการขัดขวางสีขึ้นแล้วจะส่งผลทั้งในแง่ธุรกิจที่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต ด้านเทคนิคที่ต้องทำการย้อมใหม่ให้ได้เฉดสีเดียวกัน และด้านสิ่งแวดล้อมคือในการย้อมแล้วสีผิดเพี้ยนไปนี้ก็เท่ากับเพิ่มของเสีย ทั้งน้ำทิ้งและผ้าที่ไม่ผ่านการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

1. P. Suwanruji and H.S. Freeman: Coloration Technology Vol. 122 (1) (2006), p.27.

2. P. Suwanruji and H. S. Freeman: Colourage. Vol. 55 (4, Suppl.) (2006), p. 85.

3. J.A.Taylor, K. Pasha and D.A.S. Phillips: Dyes and Pigments. Vol. 51(2-3) (2001), p 145.

4. D.A.S. Phillips: Advances in Colour Science & Technology. No. 1 (1998), p. 1.

5. J.A. Taylor: Advances in Colour Science & Technology. No. 1 (1998), p. 19.