การย้อมสีผ้าโพลิเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกท์

DYEING OF POLYESTER FABRIC WITH DIRECT DYES

ชัยยุทธ ช่างสาร*
Chaiyoot Changsarn

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Graduate School, Chulalongkorn University

บทคัดย่อ

การทดลองเตรียมผ้าโพลิเอสเตอร์ก่อนย้อมด้วยสีไดเรกท์โดยวิธีใช้เปอร์คลอโรเอทิลีน วิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟ และวิธีใช้โพลิเอไมด์เรซิน พบว่าการเตรียมผ้าทั้งสามวิธีนี้ทำให้ผ้าโพลิเอสเตอร์สามารถย้อมติดด้วยสีไดเรกท์ได้ และการใช้โพลิเอไมด์เรซินในการเตรียมผ้าโพลิเอสเตอร์เพื่อย้อมสีไดเรกท์เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด โดยความเข้มข้นของโพลิเอไมด์เรซินที่ละลายในน้ำ 5% มีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ เมื่อศึกษาการย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ที่เตรียมด้วยโพลิเอไมด์เรซินกับสีไดเรกท์หมู่เอ บี และซีให้ได้ภาวะการย้อมที่เหมาะสม พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสีย้อมโดยเฉลี่ย 56% และเมื่อนำผลการย้อมที่ได้ไปทดลองหาสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน เช่น ความคงทนต่อแสง ความคงทนต่อการซัก และความทนทานต่อแรงดึง สรุปได้ว่าผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ผ่านการเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินดังกล่าวสามารถย้อมได้ดีด้วยสีไดเรกท์ และยังคงมีสมบัติในการใช้งานได้ดีดังเดิม

ABSTRACT

The pretreatment methods of polyester fabric with perchloroethylene, alkaline hydrolysis and epoxy modified polyamide cationic type resin prior to dyeing with direct dyes

*ที่อยู่ปัจจุบัน : ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและสิ่งทอ คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

have been studied. It has been found that the most suitable method is the pretreatment with epoxy modified polyamide cationic type resin and the 5% of the resin in water is the most economical amount. In the dyeing of the pretreated fabric with direct dyes of class A, B and C by controlling dyeing condition, approximately 56% of average dye absorption has been found. Result of the analysis of the colour fastness to light and to washing and the tensile properties have been shown that these end-use properties of the pretreated fabric are maintained.

คำนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอ ประกอบด้วยธุรกิจอุตสาหกรรมหลายสาขาเริ่มตั้งแต่การผลิตเส้นใย เส้นด้าย ผ้า กระบวนการตกแต่งผ้า กระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปและธุรกิจการจำหน่ายผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

ในปัจจุบันพื้นฐานการผลิตเส้นใยสังเคราะห์หลักที่ใช้ภายในประเทศได้แก่ เส้นใยโพลิเอสเตอร์ ไนลอน และเรยอน สำหรับเส้นใยโพลิเอสเตอร์นั้นพบว่า ผลผลิตรวมทั่วโลกระหว่างปีพ.ศ. 2523- 2525 สูงขึ้นประมาณ 53% ของเส้นใยสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 17% ของผลผลิตรวมทั่วโลกของเส้นใยที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอทั้งหมด[7] ทั้งนี้เนื่องจากขอบข่ายของการใช้เส้นใยชนิดนี้ในวงการอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ถูกนำไปดัดแปลงคุณภาพให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เช่น ทนต่อแสงแดดได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี แมลงและแบคทีเรียไม่สามารถจะทำลายเส้นใยได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้รวมกับเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ ได้ดี

เส้นใยโพลิเอสเตอร์[7] เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดคาร์บอกซิลิกประเภทอะลิฟาติก (aliphatic dicarboxylic acid) และไดแอลกอฮอล์ (dialcohol) ในทางอุตสาหกรรมได้นำเอทิลีนไกลคอล (ethyleneglycol) กับกรดเทเรฟทาลิก (terephthalic acid) หรือไดเมทิลเทเรฟทาเลต (dimethyl terephthalate) มาทำปฏิกิริยากันได้เป็นสารประกอบโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [poly (ethylene terephthalate)] และเป็นเส้นใยที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic)

เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยโพลิเอสเตอร์มีความหนาแน่นของโซ่โมเลกุลมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีเพียงเล็กน้อย และเป็นเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำจึงเป็นเส้นใยที่ดูดสีได้ช้ากว่าใยชนิดอื่นมาก การย้อมเส้นใยโพลิเอสเตอร์[2] ทำได้โดยละลายให้สีกระจายอยู่ในน้ำ แล้วทำให้ติดสีโดยอบด้วยความร้อนหรือไอน้ำ สีที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ สีดิสเพอร์ส (disperse dyes) และสีอะโซอิก (azoic dyes) รวมกัน สำหรับสีวัต (vat dyes) ที่มีโมเลกุลเล็กมากใช้ย้อมในลักษณะของพิกเมนต์ (pigment) สีดิสเพอร์สเป็นสีย้อมที่สำคัญที่สุดสำหรับย้อมเส้นใยโพลิเอสเตอร์ กระบวนการดูดซับสีดิสเพอร์สของใยโพลิเอสเตอร์เป็นกระบวนการเชิงกลระหว่างสารละลายสองชนิดที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวสีที่กระจายอยู่ในน้ำ จะดูดติดเส้นใยได้

ในลักษณะของ solid solution อัตราเร็วของการย้อมจึงขึ้นอยู่กับอัตราการแทรกซึมของสีบนเส้นใยโพลิเอสเตอร์ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ความสม่ำเสมอของสีดิสเพอร์สบนเส้นใยโพลิเอสเตอร์จะมีมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาวะของการย้อมด้วย เช่น เครื่องจักรที่ใช้ย้อม สมบัติเฉพาะตัวของสีย้อมและสารช่วยย้อม เป็นต้น และในปัจจุบันต้นทุนการย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพอร์สค่อนข้างสูงขึ้น จึงพิจารณาเห็นว่า ถ้าได้มีการนำสีไดเรกท์ (direct dyes) ซึ่งเป็นสีที่มีต้นทุนต่ำกว่าและมีกระบวนการย้อมด้วยเครื่องจักรพื้นฐานซึ่งไม่ยุ่งยากมาทดลองย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์แทน จะทำให้สามารถลดต้นทุนการย้อมของโรงงานย้อมสีได้มาก

สีไดเรกท์หรือสีย้อมโดยตรงเป็นสีที่สามารถใช้ย้อมผ้าได้ทันทีไม่ต้องย้อมด้วยสารช่วยติดสี (mordant) ก่อนเหมือนกับสีชนิดอื่น ๆ ส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลโฟเนต (sulphonate) ประเภทเอโซ (azo) ที่สามารถละลายน้ำได้ ในบรรดาสีที่ใช้ย้อมสิ่งทอ สีไดเรกท์เป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุด สีแต่ละตัวในกลุ่มนี้มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานไม่เท่ากันและมีสมบัติเฉพาะในการซึมติดเส้นใยได้ในตัวเอง (substantivity) จึงเหมาะสมกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน เป็นต้น สีไดเรกท์ที่ผลิตออกจำหน่ายเป็นครั้งแรกใน พ.ศ. 2427 โดย บอททิเจอร์ (Bottiger)[17] มีสีแดงเรียกว่า คองโกเรด (congo red)

Kirby, R.D. และ Cates D.M.[12] ได้ให้ความเห็นโดยสรุปว่าการย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์สามารถย้อมได้ด้วยสีประเภทแอนไอออน เช่นสีไดเรกท์ สีแอซิด (acid dyes)* และสีรีแอกตีฟ (reactive dyes)** แต่จะต้องเตรียมผ้าด้วยสารละลายที่ทำให้ผิวหน้าของเส้นใยมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic surface) ก่อนแล้วนำไปย้อมสีได้ นอกจากนี้ยังมีการเตรียมผ้าด้วยวิธีการต่าง ๆ อีกหลายวิธีที่นำมาใช้ในการศึกษา เช่น วิธีของ Gawish, S.M.[8], Ambroise, G. และ Bourgeois, M.[9] แต่ในการเตรียมผ้านั้น[8,9] จะกล่าวถึงเฉพาะประสิทธิภาพในการดูดซึมสีดิสเพอร์สและอิทธิพลของการกระจายตัวของสีดิสเพอร์สในเส้นใยโพลิเอสเตอร์เท่านั้น ไม่ได้กล่าวถึงการนำไปย้อมด้วยสีประเภทแอนไอออน เช่น สีไดเรกท์

การศึกษาการเตรียมก่อนย้อมโดยเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพนี้ เป็นแนวความคิดใหม่ที่จะทำให้โครงสร้างของโพลิเอสเตอร์มีสมบัติที่มีลักษณะเหมือนใยจากธรรมชาติ เช่น ฝ้าย และสามารถย้อมได้ด้วยสีไดเรกท์

---

* สีแอซิด คือ สีชนิดที่มีกลุ่มกรด เช่น กลุ่มซัลโฟนิก หรือคาร์บอนิก

** สีรีแอกตีฟ คือ สีที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเส้นใย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- ผ้าโพลิเอสเตอร์ชนิดการทอลายขัด No. 5006 (150-30-BR) น้ำหนัก 180 ก./ตร.ม. ซึ่งผ่านกระบวนการเตรียมสิ่งทอขั้นต้นแล้ว[1] จากบริษัทอุตสาหกรรมสยามซินเธติกเท็กซ์ไทล์ จำกัด
- เปอร์คลอโรเอทิลีน (perchloroethylene) เกรดที่ใช้กับอุตสาหกรรม
- โซดาไฟ 100% (โซเดียมไฮดรอกไซด์) เกรดที่ใช้กับอุตสาหกรรม
- สารเรซินชนิด non-formaldehyde epoxy modified polyamide cationic type resin จากบริษัท สยามเรซินและเคมีภัณฑ์ จำกัด ซึ่งในการทดลองนี้เรียกว่า "โพลิเอไมด์เรซิน" เรซินที่ใช้ในการเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของผ้าโพลิเอสเตอร์สำหรับย้อมด้วยสีไดเรกท์นั้นเป็นสารสังเคราะห์ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนชนิดโพลิเอไมด์อยู่ในรูปของพรีคอนเดนเสตเรซิน (precondensate resin)
- น้ำสบู่ชนิดนอนไอออน (nonionic detergent) จากบริษัทวราแวกซ์แอนด์ออยล์ จำกัด
- สีย้อม สีไดเรกท์ หมู่เอ ใช้สี C.I. Direct Yellow 12 (Tavidirect Chrysophenic G) สีไดเรกท์ หมู่บี ใช้สี C.I. Direct Blue 6 (Tavidirect Blue 2B) สีไดเรกท์หมู่ซี ใช้สี C.I. Direct Red 28 (Tavidirect Congo Red) จากบริษัทจิเรวัฒน์ดายสตัฟ จำกัด
- เครื่องย้อมและซักแบบโรตารีชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Penta Rapid-12)
- เครื่องอัดสีและอบแห้ง (''MATHIS'' Pad-Steam Rang Type PSA HT 500 mm)
- เครื่องดึงหน้าผ้า (Pin Tenter Type Thermosoling Machine Model PT-1., Tsujii Dyeing Machine Manufacturing Co., Ltd.)
- ตู้ตรวจสอบความแตกต่างของสี และสเกลสีเทา สำหรับวัดค่าเปลี่ยนแปลงของสี
- เครื่องวัดค่าความแตกต่างของสี (The Reflectance Spectrophotometer : The ICS MM-9000 Computer Match Prediction System)
- สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-120-01)
- เครื่องหาความคงทนต่อแสง (Standard UV Long-life Fade Meter; Suga Test Instruments Co., Ltd.)
- เครื่องวัดความทนทานต่อแรงดึง (''LLOYD'' Instruments, Single Lead Screw Model T5K)

วิธีการ

การศึกษาทดลอง หาความเป็นไปได้ที่ใช้สีไดเรกท์ย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ มีดังนี้

1. **การเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของผ้าโพลิเอสเตอร์ เพื่อย้อมด้วยสีไดเรกท์** มีวิธีเตรียมผ้า

ก่อนย้อมสีไดเรกท์ 3 วิธีคือ

1.1 การเตรียมผ้าโดยวิธีใช้เปอร์คลอโรเอทิลีน

นำผ้าดิบฟอกขาวที่ผ่านกระบวนการเตรียมสิ่งทอขั้นต้นแล้ว[1] น้ำหนักชิ้นละประมาณ 10 ก. มาแช่ในเปอร์คลอโรเอทิลีนนาน 30 นาที นำขึ้นมารีดเปอร์คลอโรเอทิลีนออกด้วยเครื่องอัดผ้า (padder) ความดันอัด 2 กก./ตร.ซม. และนำมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 ± 5 °ซ. นาน 5 นาที และใช้เครื่องดึงผ้าดึงให้มีความตึงอย่างสม่ำเสมอ ทิ้งไว้ให้ผ้าเย็นตัว นำไปแช่ในอะซิโตนแล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 ± 2 °ซ. นาน 3 นาที

1.2 การเตรียมผ้าโดยวิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟ (Alkaline hydrolysis)

เตรียมสารละลายโซดาไฟในน้ำให้มีความเข้มข้น 5, 15, 30 และ 45 ก./ล. ตามลำดับ แล้วจึงนำผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมสิ่งทอขั้นต้นมาแล้ว[1] น้ำหนักชิ้นละ 5 ก. มาแช่ในสารละลายโซดาไฟที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามที่เตรียมไว้ข้างต้น ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80 และ 100 °ซ. กำหนดความแตกต่างของเวลาที่ใช้เปรียบเทียบกันระหว่าง 30 และ 60 นาที ของแต่ละชุดการทดลองในอุณหภูมิที่แตกต่างกันตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อหาข้อมูลเปรียบเทียบจะได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กำหนดภาวะการย้อมที่ได้ผลดีต่อไป จากนั้นนำผ้าออกล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง และทำให้ผ้าเป็นกลางด้วยกรดน้ำส้ม (10%) 2 ก./ล. แล้วล้างให้สะอาดอีกครั้งด้วยน้ำและทำให้แห้ง

1.3 การเตรียมผ้าโดยวิธีใช้โพลิเอไมด์เรซิน

นำผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมสิ่งทอขั้นต้นมาแล้ว[1] อัดด้วยโพลิเอไมด์เรซินที่มีความเข้มข้นในน้ำ 5% ด้วยกรรมวิธี pad-dry-cure (รูปที่ 1) ที่มีความตึงอย่างสม่ำเสมอด้วยความดันอัดของลูกกลิ้ง 2 กก./ตร.ซม. เปอร์เซ็นต์การดูดขึ้น (pick up) บนผ้าประมาณ 70% (ผ้าแห้ง 100 ก. อัดด้วยโพลิเอไมด์เรซินแล้วทำให้ผ้าที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 70% ของน้ำหนักเดิมแสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดขึ้นบนผ้า 70%) แล้วนำไปอบแห้งและแปรสภาพเป็นโพลิเมอร์

2. การย้อมด้วยสีไดเรกท์ เพื่อเลือกวิธีการเตรียมที่เหมาะสม

เมื่อเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของผ้าโพลิเอสเตอร์แล้ว นำมาย้อมด้วยสีไดเรกท์หมู่ซี[17] ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักผ้า (on weight of fiber/fabric = owf.) โดยมีกรรมวิธีตามรูปที่ 4 ผลการติดสีได้มากน้อยเพียงใดของผ้าที่เตรียมทั้ง 3 วิธีเปรียบเทียบกันถือเป็นเกณฑ์ตัดสินในการเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการเตรียมผ้า

การวัดการติดสีบนผ้าอาศัยการวัดค่า L และค่า K/S โดยค่า L (lightness) คือค่าความสว่างของแสงบนผืนผ้าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสีย้อมที่ติดบนผ้า ถ้าค่า L น้อย แสดงว่า ปริมาณแสงที่สะท้อนจากผิวผ้าน้อย สีที่ติดบนผ้ามีความเข้มสูง

$\triangle$ L คือผลต่างระหว่างค่า L ของ blank กับค่า L ของตัวอย่างผ้าทดลอง ซึ่งใช้เป็นตัวชี้ผลการติดสีเปรียบเทียบ ดังนั้น

$$\triangle L = L\ (blank) - L\ (sample)$$

blank คือ ผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ผ่านการเตรียมสิ่งทอข้างต้นแล้วย้อมด้วยสีไดเรกท์เป็นตัวกลางเปรียบเทียบ

sample คือ ผ้าที่ทำการทดลองด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามขั้นตอนการทดลองข้างต้นและย้อมด้วยสีไดเรกท์

สำหรับค่า K/S คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับการสะท้อนแสงของสีย้อมบนผืนผ้า ทำให้ทราบระดับความเข้มของสีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของสีย้อมบนผ้าจากจุดสูงสุดของ reflectance curve ว่าผลการติดสีย้อมบนผืนผ้านั้นดีหรือไม่ ตามสมการของ Kubellka-Munk[13]

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

เมื่อ K และ S = ค่าคงที่ของ Kubellka-Munk โดยที่

K = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient)

S = สัมประสิทธิ์การกระจายแสง (scattering coefficient)

R = การสะท้อนแสงจากผิวที่มีความหนา ซึ่งการสะท้อนแสงจะไม่เปลี่ยนแปลงไปโดยการเพิ่มความหนาขึ้น

ถ้าค่า K/S ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยสูงแสดงว่าสีย้อมติดบนพื้นผ้าดี ซึ่งค่านี้อาจใช้เป็นองค์ประกอบที่จะยืนยันผลการติดสีของผ้าได้ดีอย่างหนึ่ง

3. การเลือกปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมผ้า

จากการเลือกวิธีเตรียมผ้าที่เหมาะสมในข้อ 2 นำมาเตรียมโดยใช้สารเคมีความเข้มข้นต่าง ๆ กันแล้วย้อมด้วยสีไดเรกท์หมู่บี (1% owf.) ตามกรรมวิธีในรูปที่ 3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารที่ใช้และผลต่างของการติดสีย้อม ($\triangle$ L)

4. การย้อมเพื่อหาจุดสมดุลของสีไดเรกท์กับผ้าที่ผ่านการเตรียมแล้ว

นำผ้าที่ผ่านการเตรียมสิ่งทอขั้นต้นแล้วมาเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพโดยวิธีการเตรียมผ้าที่เหมาะสมจากการทดลองแต่ละขั้นตอนข้างต้น มาย้อมสีไดเรกท์ แต่เปลี่ยนแปลงเวลาการย้อมให้แตกต่างกันไป ตั้งแต่ 30, 60, 120, 180, 300 และ 420 นาที ตามลำดับ วัดค่าความแตกต่างของสี (L) นำมาพิจารณาโดยวิธีไอโซเทอร์มของการดูดซึม[18]

5. การทดลองย้อมผ้าที่เลือกการเตรียมที่เหมาะสมกับสีไดเรกท์หมู่ต่าง ๆ

นำผ้าที่เปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพ โดยวิธีและสภาวะที่เหมาะสมมาย้อมสีไดเรกท์ หมู่เอ หมู่บี และหมู่ซี[17] โดยมีกรรมวิธีตามรูปที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสีย้อมแตกต่างกันตั้งแต่ 0.2, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0% ของน้ำหนักผ้าตามลำดับ แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติของผ้าที่ย้อม

6. การวัดและทดสอบสมบัติของผ้าที่ย้อม ดังนี้

6.1 วัดค่า K/S และ L โดยนำผ้าตัวอย่างขนาด 10×10 ตร.ซม. พับซ้อนกัน 4 ชั้น (ไม่ให้แสงผ่านได้) และยึดติดกับแขนจับของช่องใส่ตัวอย่างในเครื่องวัดความแตกต่างของสีโดยใช้ผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ผ่านการเตรียมสิ่งทอขั้นต้นแล้ว ย้อมด้วยสีไดเรกท์เป็นตัวกลางเปรียบเทียบ (blank) กับผ้าที่ทำการทดลอง ค่าที่อ่านได้เป็นค่าของ K/S และ L

ค่า K/S ที่ได้จากเครื่องวัดความแตกต่างของสีทำให้ทราบระดับความเข้มของสีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของสีย้อมบนผ้าจากจุดสูงสุดของ reflectance curve ว่าผลการติดสีย้อมบนผืนผ้านั้นดีหรือไม่ ค่าที่อ่านได้มีค่าเฉลี่ยสูง แสดงว่าสีย้อมติดบนผืนผ้าดี

ค่า L เป็นค่าที่แสดงความสว่างของแสงบนผืนผ้า ค่าน้อยแสดงว่าปริมาณแสงที่สะท้อนจากผิวผ้านั้นน้อย สีที่ติดบนผืนผ้ามีความเข้มสูง

6.2 การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสีย้อม นำน้ำสีย้อมที่เหลือจากการย้อมตามวิธีการทดลองในข้อ 5 จำนวน 10 มล. เติมน้ำให้ครบ 100 มล. นำไปวัดโดยใช้วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (visible spectrophotometer) ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการวัดเปรียบเทียบ (blank) ด้วยควอร์ตเซลล์ (quartz cell) ขนาด 10 มม. หาค่าคงที่ (gradient of calibration curve) ในความถี่ของคลื่นแสงที่ 530 นาโนเมตร หาความสัมพันธ์การดูดกลืนแสง โดยอ่านค่าที่ได้จากสเกลของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึม ดังนี้

$$\%\text{การดูดซึม} = \frac{\text{ค่าคงที่} \times \text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดในหน่วย A.}}{\text{ปริมาณสีย้อม\% owf.} \times \text{จำนวนตัวอย่าง (มล.)}}$$

$$\text{ค่าคงที่} = \frac{\text{ปริมาณสีย้อมในอัตราส่วน* \% owf.}}{\text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดในหน่วย A.}}$$

หน่วย A. = การดูดกลืนแสง

อัตราส่วน* = ความเข้มข้นของสีย้อมที่แตกต่างกันของการย้อม ตั้งแต่ 0.2, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 ตามลำดับ

6.3 การหาค่าความทนทานต่อแรงดึง

นำผ้าโพลิเอสเตอร์ที่เตรียมโดยวิธีการที่เหมาะสมและย้อมด้วยสีไดเรกท์แล้วตามวิธีการทดลองในข้อ 5 มาตรวจสอบหาค่าความทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐานของ ASTM Method D 2101-79 โดยกำหนดเงื่อนไขในการวัดของเครื่องไว้ ดังนี้

- ความเร็วในการดึงตัวอย่าง	200	มม./นาที
- ความเร็วของกระดาษบันทึก	300	มม./นาที
- แรงดึงสูงสุด	1,500	ก.
- ความยาวของตัวอย่าง	10	ซม.

ในการวัดหาค่าความทนทานต่อแรงดึงนั้น ใช้เส้นด้ายฟิลาเมนต์จากผ้าดิบ ผ้าดิบฟอก ผ้าดิบฟอกเตรียมผ้าโดยวิธีใช้เปอร์คลอโรเอทิลีนและย้อมสีไดเรกท์หมู่ซี 1% owf. ผ้าดิบฟอกเตรียมผ้าโดยวิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟและย้อมสีไดเรกท์หมู่ซี 1% owf. ผ้าดิบฟอกเตรียมผ้าโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินปริมาณ 5% และย้อมสีไดเรกท์หมู่เอ บี และซี 1% owf. ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเส้นด้ายฟิลาเมนต์จากผ้าดิบฟอกและย้อมสีในอ่างน้ำย้อมที่มีภาวะในการย้อมเดียวกัน

6.4 การหาความคงทนต่อแสง

นำผ้าโพลิเอสเตอร์ที่เตรียมโดยใช้วิธีที่เหมาะสม และย้อมด้วยสีไดเรกท์ตามวิธีการทดลองในข้อ 5 มาตรวจสอบหาค่าความคงทนต่อแสงตามมาตรฐาน AATCC Method 16A-1982[3] ด้วย standard UV long life fade meter โดยใช้ตัวอย่างของผ้าให้มีขนาด 7×12 ตร.ซม. ยึดติดกับแขนจับภายในเครื่องตรวจสอบที่มี carbon-arc lamp เป็นอุปกรณ์ให้พลังงานแสง ปรับอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเครื่องทดสอบให้มีความชื้นสัมพัทธ์ 30 ± 5% และอุณหภูมิที่ black panel 63 ± 3°ซ. แล้วทำการทดลองในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 10, 20, 40, 80, 160, 320 และ 640 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลที่ได้เทียบค่าระหว่างตัวอย่างและสีที่เปลี่ยนไปจากสเกลสีเทาสำหรับวัดค่าเปลี่ยนแปลงของสีที่มีต่อแสงตามระดับความแตกต่างของสีตามมาตรฐานของ AATCC

6.5 การหาความคงทนต่อการซัก

นำผ้าโพลิเอสเตอร์ที่เตรียมโดยวิธีการที่เหมาะสม และย้อมด้วยสีไดเรกท์ ตามวิธีการทดลองในข้อ 5 มาตรวจสอบหาความคงทนต่อการซักตามมาตรฐาน ISO-105-1 ถึง ISO-105-5[16] ซึ่งมีภาวะการซักด้วยน้ำสบู่ชนิดนอนไอออนในเครื่องซักแบบโรตารี ตามตารางที่ 1

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของผ้าโพลิเอสเตอร์เพื่อย้อมสีไดเรกท์

การเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของผ้าโพลิเอสเตอร์ก่อนย้อมสี โดยเตรียมผ้าด้วยวิธีใช้เปอร์คลอโรเอทิลีน ไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟ และโพลิเอไมด์เรซิน แล้วย้อมด้วยสีไดเรกท์ ผลการติดสีได้มากน้อยเพียงใดของผ้าที่เตรียมทั้ง 3 วิธีเปรียบเทียบกันถือเป็นเกณฑ์ตัดสินในการเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการเตรียมผ้า

การเตรียมผ้าโดยใช้เปอร์คลอโรเอทิลีนแล้วย้อมสีไดเรกท์

วิธีการนี้เป็นการทำให้ผิวหน้าของเส้นใย ขนาด หรือช่องว่างภายในของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป และสามารถที่จะให้น้ำย้อมของสีไดเรกท์แทรกซึมเข้าไปยึดติดด้วยการกระจายแรงยึดระหว่างโมเลกุลสีย้อมและเส้นใย แต่ในการยึดติดนั้น เนื่องมาจากเส้นใยโพลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เมื่อถูกกระทำด้วยเปอร์คลอโรเอทิลีนซึ่งเป็นตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว (non-polar solvent) จะกำจัดสารจำพวกไขเคลือบผิว (surface waxes)[16] และทำให้เส้นใยพองตัว ดังนั้นจึงทำให้เส้นใยมีสัมพรรคภาพ (affinity) ในการยึดติดสีไดเรกท์

ผลที่ได้จากการวัดค่าหาความแตกต่างระหว่างผ้าดิบฟอกและย้อมสี่ไดเรกท์เป็น blank เปรียบเทียบกับผ้าที่ใช้ในการทดลองค่าของ $\triangle$ L ที่ D65 (แหล่งแสง D65 ให้แสงสีขาว (day light) มีอุณหภูมิสี 6500 K)[11] มีผลต่าง = 19.73 แสดงว่าการติดสีไดเรกท์บนผ้าโพลิเอสเตอร์ได้เพียงเล็กน้อยและระดับความเข้มของสีที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสีย้อมบนผ้าจาก reflectance curve ของค่า K/S ที่แตกต่างกันกับ blank เท่ากับ 0.41 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงระดับความแตกต่างของ reflectance curve ที่ได้จากค่า $\triangle$ K/S เพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับผลที่แสดงด้วยค่า L

การเตรียมผ้าโดยวิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟและย้อมสีไดเรกท์

วิธีการนี้[8] น้ำหนักของผ้าหายไปเนื่องจากปฏิกิริยาของโซดาไฟกับโพลิเอสเตอร์ ดังนั้นจึงนำผ้าที่ผ่านการไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟไปหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้าที่หายไป และทดสอบสมบัติของเส้นใยเพื่อหาค่าที่เหมาะสมนำไปทดลองหาความเป็นไปได้ต่อการย้อมสี

จากการทดลองวิธีการหาเปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนักผ้าพบว่าความเข้มข้นของโซดาไฟ อุณหภูมิ และเวลา มีผลต่อสมบัติของผ้า และปริมาณความเข้มข้นของโซดาไฟ 30 ก./ล. ที่อุณหภูมิ 100°ซ. นาน 60 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมที่จะนำไปทดลองย้อมสีต่อไป วิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟ นอกจากทำให้สมบัติของผ้าโพลิเอสเตอร์มีผิวสัมผัสดีขึ้นแล้วยังทำให้การดูดซับของสีย้อมดีขึ้นด้วย[10] ดังนั้นในการทดลองนำผ้าที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟมาย้อมด้วยสีไดเรกท์แล้วทดสอบโดยวัดค่าความแตกต่างของสี

ระหว่างผ้าดิบฟอกและย้อมสีไดเรกท์เป็น blank เปรียบเทียบกับผ้าที่ใช้ในการทดลองได้ค่าของ △ L ที่ D65 มีผลต่างกันเท่ากับ 22.83 แสดงว่าผ้าโพลิเอสเตอร์ติดสีไดเรกท์ได้เพียงเล็กน้อย และระดับความเข้มของสีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของสีย้อมบนผ้าจาก reflectance curve แสดงให้เห็นชัดเจนด้วยค่า △ K/S ที่ต่างกันเท่ากับ 0.581

การเตรียมผ้าโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินแล้วย้อมสีไดเรกท์

การย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินด้วยสีไดเรกท์นั้น มีข้อพิจารณาการติดสีโดยทั่วไป 2 แนวทาง คือ

1. โพลิเอไมด์เรซิน จากสูตรโครงสร้างทางเคมีของโพลิเอไมด์เรซิน กลุ่มเคมีที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมโยงอณูของสีย้อมคือ หมู่ควอเทอนารีแอมโมเนียม (quarternary ammonium group) และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ดังนั้นการเตรียมผ้าด้วยเรซิน[14] จึงหมายถึง กระบวนการที่ทำให้โมโนเมอร์ของเรซินสามารถผ่านเข้าไปอยู่ในช่องว่างของเส้นใยหรือช่องว่างระหว่างโครงสร้างของผ้าทอและเปลี่ยนเป็นโพลิเมอร์ได้ภายหลัง เนื่องจากโมเลกุลบางส่วนของเรซินที่ซึมเข้าไปในเส้นใยนั้น จะคงรูปเป็นสารเหนียวใสในตอนแรกที่อยู่ในรูปของพรีคอนเดนเสต ในสภาวะนี้ เรซินจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยไม่ติดอยู่ที่ผิว เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันแล้วกลายเป็นโพลิเมอร์เกาะติดหรือแทรกเข้าไปในผิวของเส้นใยโดยเกิดกลไกการเชื่อมโยงขึ้นภายในโมเลกุล ทำให้เส้นใยแข็งแรง ยืดหยุ่นดีขึ้นและมีสมบัติเฉพาะกาลตามคุณสมบัติของเรซินชนิดนั้น ๆ

2. โครงสร้างของสีย้อมและการเกาะติดเส้นใย เป็นที่ยอมรับกันว่า การที่สีไดเรกท์ย้อมติดเส้นใยได้นั้นเกิดจากแอนไอออนในส่วนประกอบที่ให้สี สำหรับการทดลองย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกท์นี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าของใยโพลิเอสเตอร์ให้มีกลุ่มเคมีของหมู่ควอเทอนารีแอมโมเนียมคล้าย ๆ กับโครงสร้างภายในของขนสัตว์หรือไนลอน ทั้งนี้เกิดขึ้นได้จากการที่ใช้เรซินเป็นตัวกลางเกาะยึดติดภายในช่องว่างของเส้นใยและช่องว่างระหว่างโครงสร้างของลายทอ ซึ่งหมู่ควอเทอนารีแอมโมเนียมที่เกิดจากเรซินนี้จะเรียงรายอยู่และสามารถรวมกับแอนไอออนของสีได้[19]

จากการเตรียมผ้าโพลิเอสเตอร์โดยใช้โพลิเอไมด์เรซินเพื่อย้อมสีไดเรกท์และวัดหาค่าความแตกต่างของสีระหว่างผ้าดิบฟอกย้อมสีไดเรกท์ที่เป็น blank เปรียบเทียบกับผ้าที่ใช้ในการทดลองได้ค่าของ △ L ที่ D65 มีผลต่างเท่ากับ 37.35 แสดงว่าผ้าโพลิเอสเตอร์ติดสีไดเรกท์ได้ดี และสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของสีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของสีย้อมบนผ้าจาก reflectance curve ที่เห็นได้ชัดเจนด้วยค่า △ K/S ที่ต่างกันเท่ากับ 2.104

จากการทดสอบหาค่าความแตกต่างของสี พิจารณาค่าของ △ L ที่ D65 ปรากฏว่าการเตรียมผ้าโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินดูดซับสีไดเรกท์ได้ดีที่สุด (△ L ที่ D65 โดยวิธีใช้โพลิเอไมด์เรซิน เปรียบเทียบ

กับ blank เท่ากับ 37.35) วิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟดูดซับสีไดเรกท์ได้ปานกลาง ($\triangle$L ที่ D65 โดยวิธีไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟเปรียบเทียบกับ blank เท่ากับ 22.83) และวิธีเปอร์คลอโรเอทิลีนดูดซับสีไดเรกท์ได้น้อยที่สุด ($\triangle$L ที่ D65 โดยวิธีใช้เปอร์คลอโรเอทิลีนเปรียบเทียบกับ blank เท่ากับ 19.73) และการติดสีของการใช้โพลิเอไมด์เรซินดีกว่าวิธีอื่น ๆ เพราะมีกลุ่มเคมีหมู่ควอเทอนารีแอมโมเนียมที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางยึดติดสีย้อมเหมือนกับสีแอซิดที่ย้อมติดขนสัตว์[17] แสดงให้เห็นได้ชัดเจนจากค่าความแตกต่างของ $\triangle$K/S ที่สอดคล้องกับค่าของ L ดังนี้

- ใช้เปอร์คลอโรเอทิลีน $\triangle K/S = 0.479$
- ใช้ไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟ $\triangle K/S = 0.685$
- ใช้โพลิเอไมด์เรซิน $\triangle K/S = 2.296$

ดังนั้นจึงเลือกใช้โพลิเอไมด์เรซินเป็นสารเคมีที่ใช้ในการเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของผ้าโพลิเอสเตอร์ก่อนย้อมด้วยสีไดเรกท์

2. การย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ผ่านการเตรียมผ้าโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน

2.1 การเลือกปริมาณโพลิเอไมด์เรซินที่เหมาะสม

การทดสอบหาค่าความแตกต่างของสีจากการเตรียมผ้าโพลิเอสเตอร์เพื่อย้อมสีไดเรกท์ ปรากฏว่าการเตรียมผ้าโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดต่อการย้อม จึงได้ทดลองย้อมเพื่อเลือกปริมาณความเข้มข้นของโพลิเอไมด์เรซินที่เหมาะสมด้วยสี 1% owf. C.I. Direct Blue 6 โดยกำหนดปริมาณโพลิเอไมด์เรซินเป็น 0.25, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 และ 9.0% ตามลำดับ นำผ้าที่ย้อมได้มาวัดหาค่าความแตกต่างของสี พบว่าค่าเฉลี่ยของ L ลดลง (การติดสีย้อมเพิ่มขึ้น) ตามปริมาณการใช้โพลิเอไมด์เรซินที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) จากการใช้หลักการทางสถิติเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมของค่า L มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันที่ t value 95% ปรากฏว่า ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณโพลิเอไมด์เรซินเท่ากับ 5% และเมื่อพิจารณาค่า L สามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ดังนี้

- ปริมาณการใช้โพลิเอไมด์เรซิน 3% มีค่า L = 40.53 และปริมาณการใช้เรซินที่ 5% มีค่า L = 30.01 แสดงว่ามีค่าความแตกต่างของปริมาณการใช้เรซินเพิ่มขึ้น 2% แต่ความแตกต่างของค่า L ของปริมาณการใช้เรซินลดลง = 10.52

- ปริมาณการใช้โพลิเอไมด์เรซินที่ 7% มีค่า L = 27.38 (จากปริมาณการใช้เรซิน 5% ค่า L = 30.01) พบว่าค่าของ L ลดลงจากปริมาณการใช้เรซินที่เพิ่มขึ้นอีก 2% เท่ากับ 2.63

ดังนั้นปริมาณการใช้โพลิเอไมด์เรซินที่เหมาะสมคือปริมาณความเข้มข้น 5% โดยพิจารณาจากอัตราที่เพิ่มขึ้นของการใช้โพลิเอไมด์เรซิน 3% ถึง 7% ซึ่งสรุปได้ว่าค่า $\triangle$ L ระหว่างที่ปริมาณการใช้เรซิน

3% กับ 5% มีค่าความแตกต่างกันมากอย่างเห็นได้ชัด ($\triangle L = 10.552$) แต่การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของการใช้โพลิเอไมด์เรซินจาก 5% เป็น 7% ค่า $\triangle L$ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ($\triangle L = 2.63$) ดังนั้น การเพิ่มปริมาณการใช้โพลิเอไมด์เรซินสูงขึ้นอีก 2% (จากปริมาณความเข้มข้น 5%) เป็นการเพิ่มปริมาณที่ไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อเทียบกับปริมาณการติดสีที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของค่า L กับปริมาณโพลิเอไมด์เรซินได้ดังรูปที่ 5

2.2 การย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกท์ให้ได้จุดสมดุล

การตัดสินค่าของจุดสมดุลแห่งการย้อม โดยวิธีไอโซเทอร์มของการดูดซึมในกรณีของผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ทดลองย้อมด้วยสีไดเรกท์นี้ พิจารณาจากสมการเส้นตรงของแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม (Langmuir isotherm equation)[18] โดยกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ในการย้อมสีได้คงที่ สำหรับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปจาก 30, 60, 120, 180, 300 และ 420 นาที วัดค่าความแตกต่างของสี ได้ค่า L ที่ D65 เปรียบเทียบกับผ้าดิบฟอกย้อมสีไดเรกท์เป็น blank (85.10) เท่ากับ 68.49, 59.58, 58.04, 62.80, 60.00 และ 59.94 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า L กับเวลาที่จุดสมดุลของการย้อมสีไม่เป็นไปตามสมการเส้นตรงที่ได้จากแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม เพราะว่าความสัมพันธ์ที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับสมบัติระหว่างสีย้อมกับเส้นใยแต่ในที่นี้พบว่า จะขึ้นอยู่กับสีย้อมและปริมาณการใช้โพลิเอไมด์เรซินเท่านั้น

ส่วนค่า K/S ที่แสดงผลการติดของสีย้อมบนผืนผ้า จะสอดคล้องกับค่าของ L ที่เปรียบเทียบกับ blank ที่เป็นผ้าดิบฟอกและย้อมสีไดเรกท์ ปรากฏว่าค่า K/S มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.98, 0.935, 1.123, 0.721, 1.005 และ 0.905 ของเวลาเปลี่ยนแปลงที่ 30, 60, 120, 180, 300 และ 420 นาที เปรียบเทียบกับผ้าดิบฟอกย้อมสีไดเรกท์ (0.093) ซึ่งค่า K/S ของผ้าที่ย้อมได้เหล่านี้ไม่แตกต่างกันมาก แม้ว่าเวลาที่ย้อมจะเปลี่ยนแปลงจากเดิมคือแตกต่างกันถึง 390 นาที (จาก 30 นาทีถึง 420 นาที)

2.3 การย้อมสีไดเรกท์หมู่เอ บี และซี

- การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสีย้อม

น้ำย้อมที่ได้จากการทดลองย้อมผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ผ่านการเตรียมผ้าโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินและย้อมด้วยสีหมู่เอ หมู่บี และหมู่ซี ปริมาณความเข้มข้นเรซิน 5% นำมาหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมพบว่าการดูดซึมของสีหมู่เอโดยเฉลี่ยเท่ากับ 64.23% (ค่าคงที่ = 0.9855) สีหมู่บีเท่ากับ 47.57% (ค่าคงที่ = 1.0169) และสีหมู่ซีเท่ากับ 54.89% (ค่าคงที่ = 0.9757) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของสีย้อมตามปริมาณสีย้อมของสีไดเรกท์ทั้งสามหมู่เท่ากับ 55.56%

จากเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของสีไดเรกท์ที่มีต่อผ้าที่เตรียมโดยวิธีใช้โพลิเอไมด์เรซิน สีหมู่เอมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมดีที่สุด สีหมู่ซีมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมปานกลาง และสีหมู่บีมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมต่ำที่สุด ดังรูปที่ 7

- การหาความแตกต่างของสีบนผ้าที่ย้อมสีไดเรกท์หมู่เอ หมู่บี และ หมู่ซี

นำผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน ปริมาณความเข้มข้น 5% และย้อมสีไดเรกท์หมู่เอ บี และซี ที่มีปริมาณสีย้อมตั้งแต่ 0.2, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0% owf. ตามลำดับ วัดค่าความแตกต่างของสี ค่าของ L ที่ D65 เปรียบเทียบระหว่างผ้าดิบฟอกย้อมสีไดเรกท์เป็น blank จากตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าค่า L ขึ้นอยู่กับปริมาณสีย้อม

ส่วนค่า K/S ที่แสดงผลการติดสีย้อมบนผืนผ้าซึ่งมีปริมาณสีย้อมตั้งแต่ 0.2, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0% owf. ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยโดยสรุปของสีหมู่เอเท่ากับ 0.431, 0.8, 1.526, 3.211 และ 3.942 สีหมู่บีเท่ากับ 0.807, 0.837, 1.287, 2.383 และ 3.959 สีหมู่ซีเท่ากับ 0.617, 0.784, 1.988, 3.317 และ 4.807 ซึ่งหาความสัมพันธ์ของค่า K/S เปรียบเทียบกับ blank เมื่อค่า K/S ของสีไดเรกท์หมู่เอเท่ากับ 0.219 หมู่บีเท่ากับ 0.114 หมู่ซีเท่ากับ 0.213 ในขณะที่ค่า K/S ของผ้าดิบเท่ากับ 0.9 ซึ่งสอดคล้องกับค่าของ L

3. การทดสอบคุณสมบัติของผ้าที่ย้อมสีไดเรกท์

3.1 การหาสมบัติความทนทานต่อแรงดึงและอัตราการยืดตัว

การทดลองหาค่าความทนทานต่อแรงดึง และอัตราการยืดตัวของเส้นด้ายฟิลาเมนต์จากผ้าตัวอย่างที่ใช้ทดลองปรากฏว่า สมบัติของเส้นใยโพลิเอสเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากสมบัติเดิม (ตารางที่ 4)

3.2 การหาสมบัติความคงทนต่อแสง

นำผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินความเข้มข้น 5% และย้อมด้วยสีไดเรกท์มาทดสอบหาความคงทนต่อแสงในระยะเวลาตามมาตรฐานของ AATCC[3] ตั้งแต่ 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 และ 640 ชม. ตามลำดับ เทียบค่ากับสเกลสีเทามาตรฐานสำหรับค่าความเปลี่ยนแปลงของสีปรากฏว่า ค่าความแตกต่างของสีโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับ 5 ถึง 3 ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวแสดงว่า สภาพการใช้งานดีพอใช้ (ตารางที่ 5)

3.3 การหาสมบัติความคงทนต่อการซัก

นำผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซินความเข้มข้น 5% และย้อมสีไดเรกท์ที่มีความเข้มข้น 5% owf. มาทดสอบหาค่าความคงทนต่อการซักตามมาตรฐานของ ISO[16] ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีเดิมก่อนทำการทดลอง และเทียบกับสเกลสีเทามาตรฐาน สำหรับวัดค่าเปลี่ยนแปลงของสี ผลการทดลองโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4 ถึง 3 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ดีถึงปานกลาง (ตารางที่ 6)

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การเตรียมผ้าก่อนย้อมด้วยวิธีใช้เปอร์คลอโรเอทิลีน ไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟและใช้โพลิเอไมด์เรซิน ทั้งสามวิธีนี้ทำให้ผ้าโพลิเอสเตอร์สามารถย้อมติดด้วยสีไดเรกท์ได้

การใช้โพลิเอไมด์เรซินเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดต่อการเตรียมผ้าโพลิเอสเตอร์เพื่อย้อมด้วยสีไดเรกท์ ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของโพลิเอไมด์เรซิน เท่ากับ 5% และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของผ้าโพลิเอสเตอร์ที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน และย้อมด้วยสีไดเรกท์ทั้งสามหมู่โดยเฉลี่ย 55.56%

จุดสมดุลแห่งการย้อมของผ้าที่เตรียมโดยวิธีใช้โพลิเอไมด์เรซินแล้วย้อมด้วยสีไดเรกท์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับสมบัติระหว่างสีย้อมและเส้นใยตามทฤษฎีของจุดสมดุลแห่งการย้อมสี แต่ปริมาณการติดสีย้อมจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของการใช้โพลิเอไมด์เรซิน

ผ้าที่เตรียมก่อนย้อมด้วยการใช้โพลิเอไมด์เรซินความเข้มข้น 5% สามารถย้อมสีไดเรกท์ได้ทั้งสามหมู่ โดยมีระดับความเข้มข้นของสีที่ใช้ย้อมตั้งแต่ 0.25 ถึง 5.0% ของน้ำหนักผ้า และการติดสีนั้นมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของสีย้อมในหมู่ต่าง ๆ ที่ใช้

การทดสอบสมบัติของผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน และย้อมด้วยสีไดเรกท์ของสีหมู่ต่าง ๆ ที่มีต่อความทนทานต่อแรงดึง ความคงทนต่อแสง และต่อการซักไม่เปลี่ยนแปลงมาก กล่าวคือ ความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใยจากตัวอย่างผ้าดิบฟอกเตรียมโดยเปอร์คลอโรเอทิลีน โดยไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟ และใช้โพลิเอไมด์เรซิน แล้วนำมาย้อมสีเปรียบเทียบกับผ้าดิบฟอกและย้อมสี ความทนทานต่อแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 1,513, 1,463, 1,506 และ 1,483 ก. ตามลำดับ และอัตราการยืดตัว เท่ากับ 34.3, 37.0, 32.7 และ 33.8 ตามลำดับ ซึ่งความทนทานต่อแรงดึง และอัตราการยืดตัวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ความคงทนต่อแสงของผ้าที่ทำการทดลอง มีความเปลี่ยนแปลงของสี เทียบกับสเกลสีเทามาตรฐานอยู่ในระดับ 5 ถึง 3 ซึ่งมีเกณฑ์สภาพการใช้งานดีพอใช้

ความคงทนต่อการซักของผ้าที่ทำการทดลอง มีค่าเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับสเกลสีเทามาตรฐานอยู่ในระดับ 4 ถึง 3 ซึ่งมีเกณฑ์สภาพการใช้งานดีถึงปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

1. การย้อมสีผ้าโพลิเอสเตอร์ด้วยสีไดเรกท์นั้น จะมีสีส่วนที่สูญเสียไปบ้างในเรื่องอัตราการดูดซึม จึงควรจะมีการทบทวนก่อนนำไปใช้ในการผลิตจริง เพราะสามารถใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมต่อการควบคุมภาวะการย้อมและสามารถปรับเครื่องย้อมให้เหมาะกับสภาพของโครงสร้างผ้าได้

2. ควรทำการค้นคว้าวิธีการย้อมแบบต่อเนื่อง (continuous method) เพราะวิธีนี้จะสามารถ

ช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตได้มาก

3. ในสภาพการย้อมจริง จำเป็นจะต้องให้ผ้าโพลิเอสเตอร์คงรูปและมีความตึงสม่ำเสมอในขณะย้อม จะทำให้การกระจายสีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

4. การปรับปรุงคุณภาพของสีให้สดใส มีความคงทนต่อการซัก ต่อการขัดถูที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ผ้าที่ย้อมแล้วควรมีการตกแต่งด้วยสารเรซินในกระบวนการตกแต่งสิ่งทอ (textile finishing) และควรเลือกเรซินที่เหมาะสมที่สามารถทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโดยตรงกับเส้นใยและสีไดเรกท์ได้ จะเป็นการช่วยเพิ่มคุณภาพการใช้งาน

คำขอบคุณ

รายงานวิจัยนี้ ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก นายสุชาติ อินทรโชติ กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์เข็มชัย เหมะจันทร ศาสตราจารย์พิเศษ อัจฉราพร ไศละสูตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ ตันตยานนท์ ดร.สุพล โชติวรรณ ดร.นันทยา ยานุเมศ และดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนทางด้านวัตถุดิบ เครื่องวัดสีด้วยคอมพิวเตอร์ จากคุณสิทธิพงษ์ สีตะประดิษฐ์ คุณทวีศักดิ์ ปกรณ์ผดุงสิทธิ์ คุณวิฑูรย์ เผดิมปราชญ์ คุณชนะ รัตนชัยสิทธิ์ และคุณสงคราม ชีวประวัติดำรงค์

เอกสารอ้างอิง

1. ยานุเมศ, นันทยา. เทคโนโลยีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ 1. คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา), กรุงเทพมหานคร, 2527.
2. ไศละสูต, อัจฉราพร. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2, เทคนิค 19 การพิมพ์, กรุงเทพมหานคร, 2527.
3. American Association of Textile Chemists and Colorists. AATCC Technical Manual-1985. American Association of Textile Chemists and Colorists, Research Triangle Park, North Carolina, 1985.
4. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standard Vol. 07.01. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, 1985.
5. Bird, C.L. and Boston, W.S. The Theory of Coloration of Textiles. The Dyers Company Publication Trust, Bradford, 1975.
6. Caldo, C. Synthetic Fibers : An Uncertain Future? *Am. Dyestuff Reptr.*, 1985, **74** (3), 23-27.
7. Corbman, B.P. TEXTILES Fiber to Fabric. 6th ed., McGraw-Hill Book Company,

Singapore, 1985.

8. Gawish, S.M. and Ambroise, G. Alkaline Hydrolysis of Polyester Fabrics. *Am. Dyestuff Reptr.*, 1986, **75**(2), 30 – 32.
9. Gawish, S.M., Bourgeois, M. and Ambroise, G. Cationic Surfactants for the Alkaline Hydrolysis of Polyester Fabrics. *Am. Dyestuff Reptr.*, 1986, **75**, 19-24.
10. Gawish, S.M., Bourgeois, M. and Ambroise, G. Cationic Polymers for the Alkaline Saponification of Polyester Fabrics. *Am. Dyestuff Reptr.*, 1985, **74** (11), 35-39.
11. Judd, D.B. and Wyszecki, G. Color in Business, Science and Industry. 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., Ottawa, Ontario, 1979.
12. Kirby, R.D. and Cates, D.M. Application of Water Soluble Anionic Dyes to Solvent-Treated Polyester. *Textile Res. J.*, 1986, **56**(5), 304-309.
13. Kissa, E. Tinotorial Efficacy of Dyes in Polyester Fibers. *Textile Res. J.*, 1984, **54**(8), 497-504.
14. Marsh, J.T. An Introduction to Textile Finishing. 6th ed., Champman & Hall, London, 1957.
15. Rippon, J.A. and Leeder, J.D. The Effect of Treatment with Perchloroethylene on the Abrasion Resistance of Wool Fabric. *J. Soc. Dyers. Colourists*, 1986, **102**(5), 171-175.
16. Thompson, T.M. Dyehouse Laboratory Practice. The Eastern Press Ltd., London, 1983.
17. Trotman, E.R. Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres. 5th ed., Charles Griffin & Company, London, 1975.
18. Vickerstaff, T. The Physical Chemistry of Dyeing. 2nd ed., Oliver and Boyde, London, 1954.

ตารางที่ 1. ภาวะ

มาตรฐาน ISO	
105- 1	
105- 2	
105- 3	
105- 4	
105- 5	

อัตราส่

ตารางที่ 1. ภาวะการทดลองหาความคงทนต่อการซัก

มาตรฐาน ISO	สภาวะการซัก	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°ซ.)	หมายเหตุ
105-1	น้ำสบู่ 5 ก./ล.	30	40	
105-2	น้ำสบู่ 5 ก./ล.	45	50	
105-3	น้ำสบู่ 5 ก./ล. โซดาแอช 2 ก./ล.	30	60	
105-4	น้ำสบู่ 5 ก./ล. โซดาแอช 2 ก./ล.	30	95	ใส่ Stainless steel balls 10 เม็ด
105-5	น้ำสบู่ 5 ก./ล. โซดาแอช 2 ก./ล.	240	95	ใส่ Stainless steel balls 10 เม็ด

อัตราส่วนน้ำซัก 50 : 1

ตารางที่ 2. ค่าความแตกต่างของสีที่มีต่อปริมาณโพลิเอไมด์เรซิน

ปริมาณเรซิน (%)	ค่าเฉลี่ยของ L
blank	78.98
0.25	64.54
0.5	62.40
1.0	51.53
3.0	40.53
5.0	30.01
7.0	27.38
9.0	24.62

ตารางที่ 3. ค่า L ที่ D65 ของความแตกต่างของสีบนผ้าโพลิเอสเตอร์ที่ย้อมสีไดเรกท์ หมู่เอ บี และซี

ปริมาณสีย้อม (% owf.)	ค่า L		
	สีย้อมหมู่เอ	สีย้อมหมู่บี	สีย้อมหมู่ซี
blank	85.53	76.39	76.64
0.2	81.06	58.99	63.54
0.5	78.50	60.41	65.87
1.0	74.53	52.21	52.03
3.0	70.66	42.84	41.86
5.0	67.79	36.22	45.99

ตารางที่ 4. ความทนทานต่อแรงดึงและอัตราการยืดตัวของผ้าที่ย้อมด้วยสีไดเรกท์

เส้นด้ายฟิลาเมนต์ของตัวอย่าง	ความทนทานต่อแรงดึง		อัตราการยืดตัว	
	ก.	CV%	%	CV%
ผ้าดิบ	1,499	2.43	28.1	5.15
ผ้าดิบฟอก	1,450	3.56	34.4	3.49
ผ้าดิบฟอกเตรียมโดยเปอร์คลอโรเอทิลีนและย้อมสี	1,513	1.55	34.3	3.55
ผ้าดิบฟอก เตรียมโดยไฮโดรลิซิสด้วยโซดาไฟและย้อมสี	1,463	2.63	37.0	8.82
ผ้าดิบฟอกเตรียมโดยโพลิเอไมด์เรซินและย้อมสีไดเรกท์				
- หมู่เอ	1,549	2.76	38.3	6.19
- หมู่บี	1,487	1.12	38.0	4.29
- หมู่ซี	1,506	3.32	32.7	8.96
ผ้าดิบฟอกและย้อมสี (blank)	1,483	1.27	33.8	6.38

CV% = เปอร์เซ็นต์ของค่าสัมประสิทธิ์แห่งการแปรผัน (coefficient of variation)

ตารางที่ 5. ค่าความคงทนต่อแสง เทียบกับสเกลสีเทามาตรฐานของ AATCC

ระยะเวลาที่ทดลอง (ชม.)	C.I. Direct Yellow 12	C.I. Direct Blue 6	C.I. Direct Red 28
5	5	5	5
10	5	5	5
20	4- 5	4- 5	4- 5
40	4- 5	4- 5	4- 5
80	4- 5	4- 5	4- 5
160	4	4	4
320	3	3	3
640	3	3	3

เกณฑ์การแบ่งระดับความแตกต่างของสีมาตรฐานของ AATCC แยกออกเป็นระดับชั้น ดังนี้

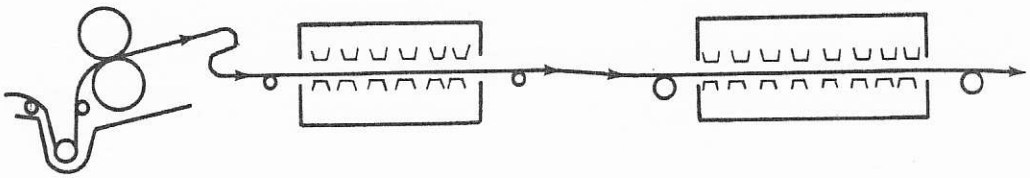
1. เลวมาก (very poor)
2. เลว (poor)
3. พอใช้ (fair)
4. ดีพอใช้ (fairly good)
5. ดี (good)
6. ดีมาก (very good)
7. ดีเยี่ยม (excellent)
8. ดีเด่น (outstanding)
9. ดีสุดยอด (superative)

ตารางที่ 6. ผลของความคงทนต่อการซัก เทียบกับสเกลสีเทามาตรฐาน

มาตรฐานการทดสอบ	C.I. Direct Yellow 12	C.I. Direct Blue 6	C.I. Direct Red 28
ISO-105- 1	4	4	4
ISO-105- 2	4	4	4
ISO-105- 3	4	4	4
ISO-105- 4	3- 4	3- 4	3- 4
ISO-105- 5	3- 4	3- 4	3- 4

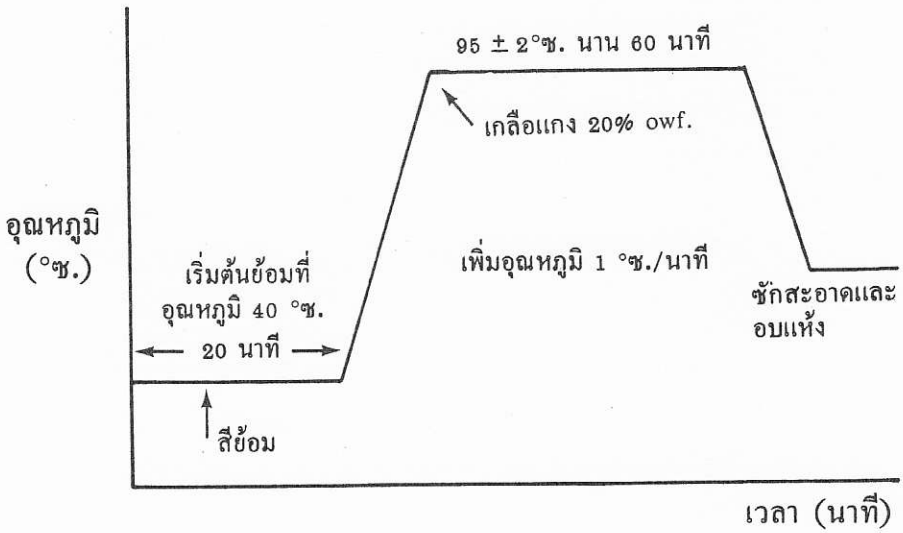
เกณฑ์แบ่งระดับความแตกต่างของสเกลสีเทามาตรฐาน

1. เลวมาก (very poor)
2. เลว (poor)
3. ปานกลาง (fair)
4. ดี (good)
5. ดีมาก (excellent)

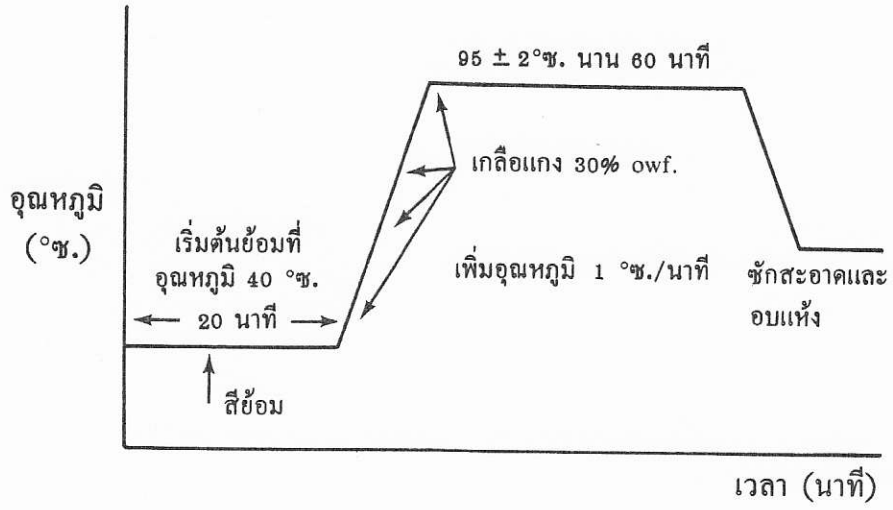


อัดโพลิเอไมด์เรซิน บนผ้าด้วยความดัน 2 กก./ตร.ซม. ⇨ อบแห้งที่อุหณภูมิ 100 ± 5°ซ. นาน 2 นาที ⇨ แปรสภาพโพลิเอไมด์เรซิน เป็นโพลิเมอร์ ที่อุณหภูมิ 160 ± 5 °ซ. นาน 3 นาที

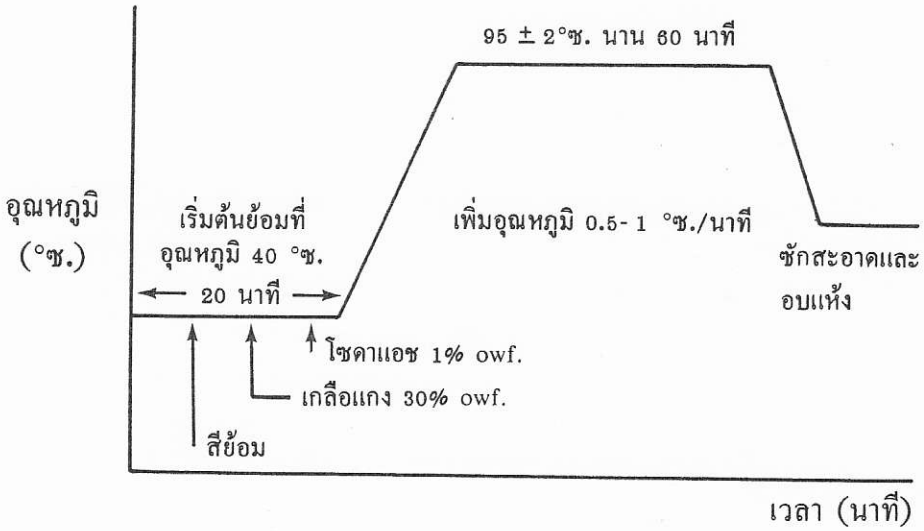
รูปที่ 1. กรรมวิธี pad-dry-cure ของโพลิเอไมด์เรซินบนผ้าโพลิเอสเตอร์



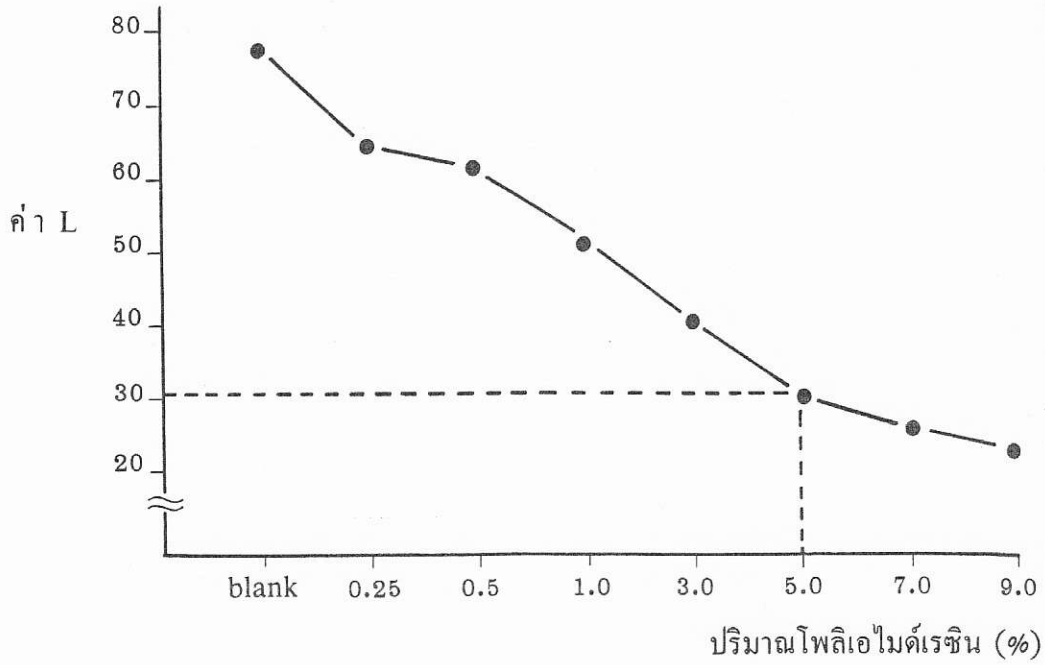
รูปที่ 2. กรรมวิธีการย้อมด้วยสีไดเรกท์หมู่เอ



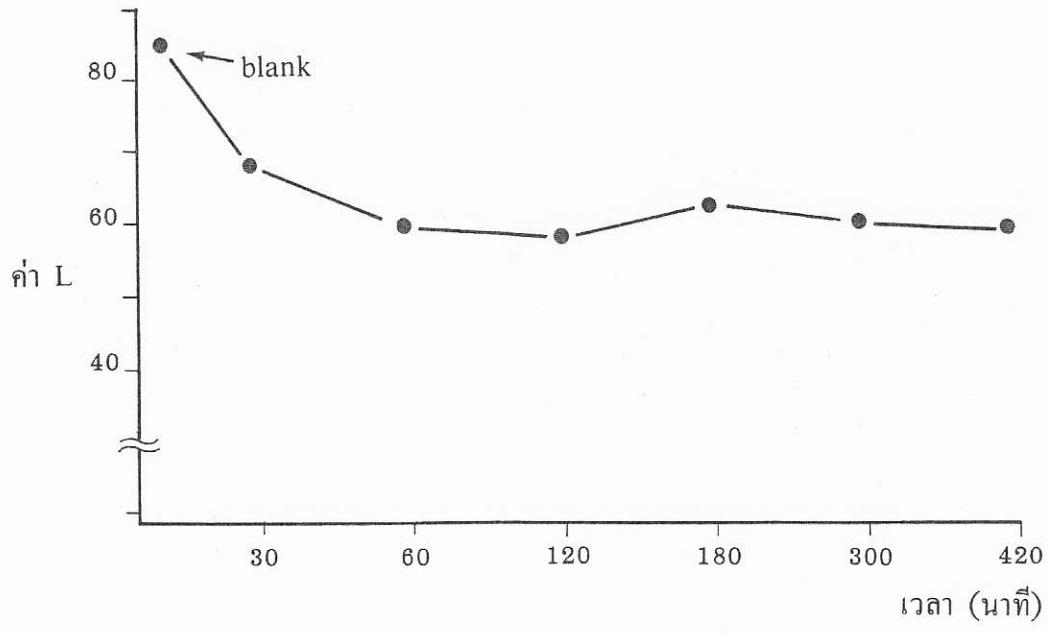
รูปที่ 3. กรรมวิธีการย้อมด้วยสีไดเรกท์หมู่บี



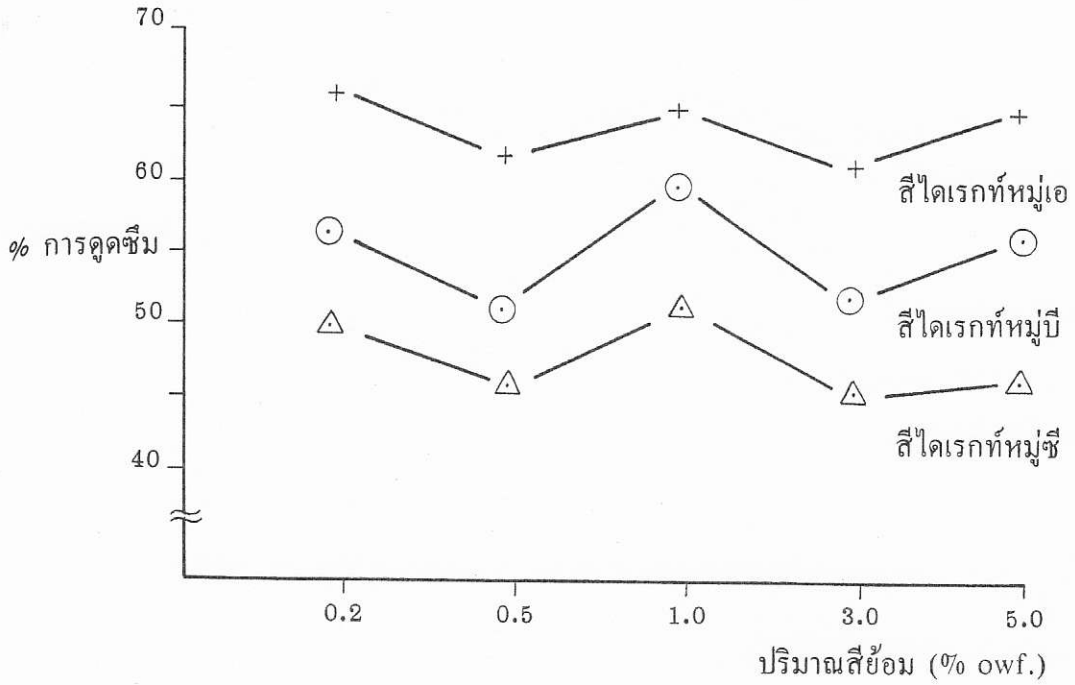
รูปที่ 4. กรรมวิธีการย้อมด้วยสีไดเรกท์หมู่ซี



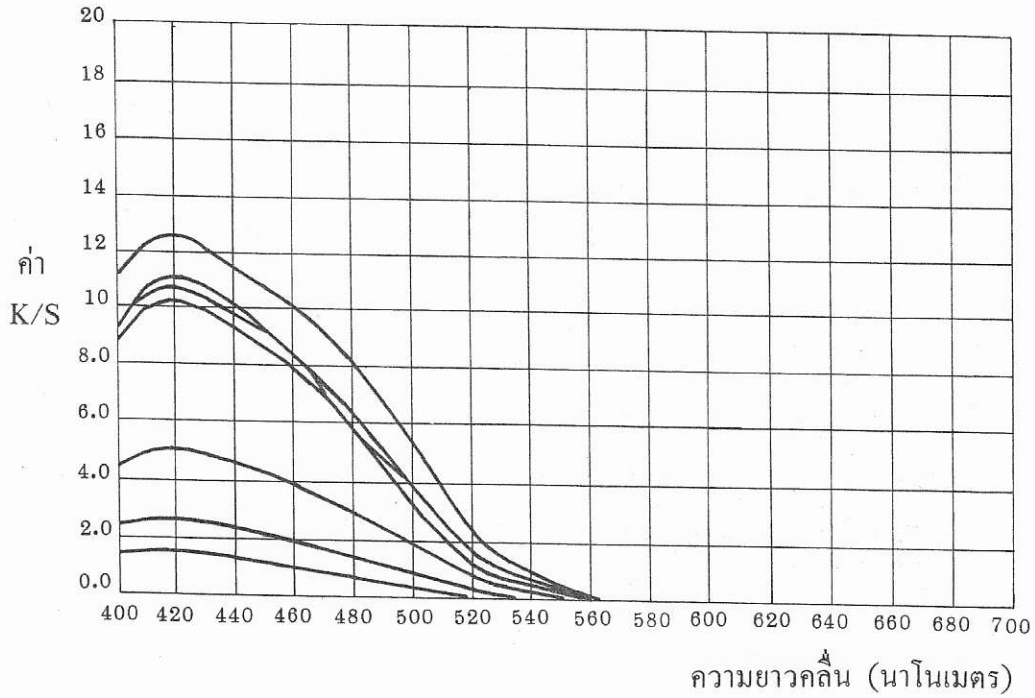
รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ของค่า L ที่มีต่อปริมาณโพลิเอไมด์เรซิน และย้อมสีหมู่บี 1% owf.



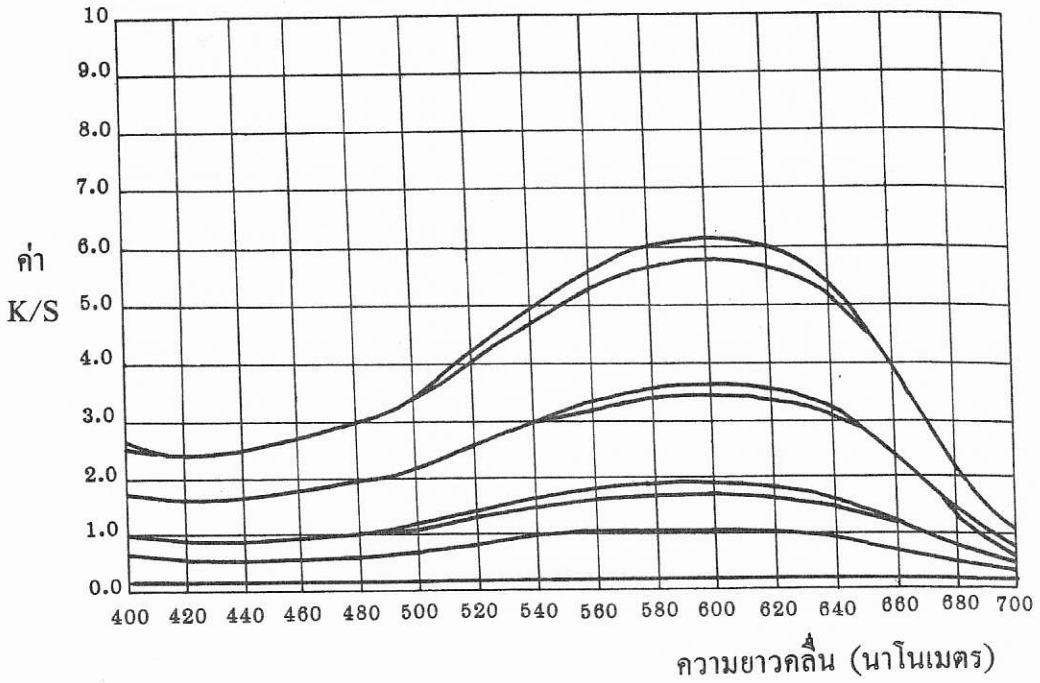
รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L กับเวลาที่จุดสมดุลของการย้อมสี



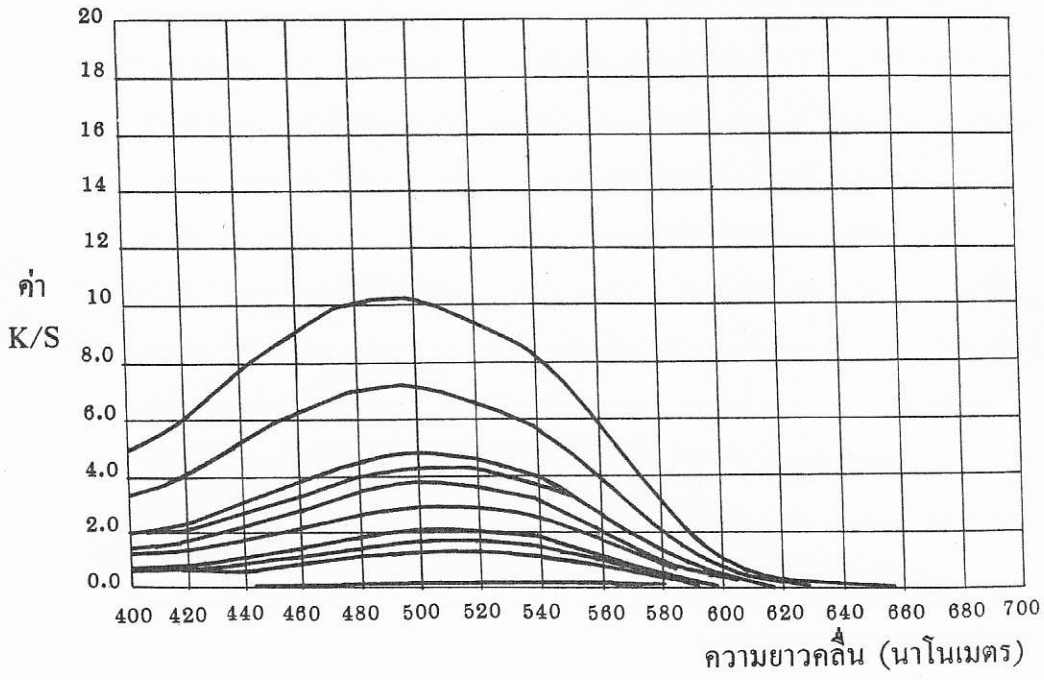
รูปที่ 7. ความสำคัญของเปอร์เซ็นต์การดูดซึมกับปริมาณสีย้อมของหมู่สีต่าง ๆ



รูปที่ 8. ค่า K/S ของผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน และย้อมสีไดเรกท์หมู่ เอ



รูปที่ 9. ค่า K/S ของผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน และย้อมสีไดเรกท์หมู่บี



รูปที่ 10. ค่า K/S ของผ้าที่เตรียมโดยใช้โพลิเอไมด์เรซิน และย้อมสีไดเรกท์หมู่ซี