

การศึกษาปัจจัยการย้อมที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาการย้อมซ้ำ

The Effect of Dyeing Factors on Dyeing Repeatability

สุนทร แจ่มแสง และ ประเทืองทิพย์ ปานบำรุง

สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

E-mail: jack1430@windowslive.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อศึกษาปัจจัยการย้อมที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาการย้อมซ้ำในห้องทดลองของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งมีค่า ร้อยละ 65.39 จากเป้าหมายกำหนดที่ ร้อยละ 98 ดำเนินการศึกษาปัจจัยการย้อมจากการระดมสมองของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบของปัญหาการย้อมซ้ำที่มีค่าคะแนน RPN เกิน 100 คะแนนขึ้นไป มาทำการวิเคราะห์ และพิสูจน์ปัจจัยว่ามีผลกระทบต่อปัญหาจริง จากนั้นนำปัจจัยเข้าสู่กระบวนการออกแบบการทดลอง แบบแฟคทอเรียล 2^k เพื่อหาระดับความเหมาะสมของปัจจัยโดยใช้ค่า DE เป็นตัวกำหนดเกณฑ์ตัดสินผ่าน ผลที่ได้ คือ การย้อมโดยซังผ้าตามน้ำหนักจริงก่อนย้อมด้วยกระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร โดยเลือกใช้สต็อกน้ำสีที่เตรียมใน 1 วัน เป็นปัจจัยที่ทำให้สามารถควบคุมผลการย้อมได้ดีที่สุด

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า วัตถุประสงค์คุณภาพของห้องทดลองในเรื่องความสามารถในการย้อมซ้ำอยู่ที่ระดับ ร้อยละ 72.41 เพิ่มขึ้นจากเดิม ร้อยละ 7.02

คำสำคัญ : การย้อมซ้ำ

Abstract

The purpose of the present research is to study the effect of dyeing factors on dyeing repeatability in a laboratory of a plant specimens, with its values is 65.39% as specifically targeted at 98%. The research methodology for the dyeing factor effects is derived from a brainstorming of a particular group of experts, also relate to identifying the cause and effect of analysis and its defective feature, including the dyeing repeatability effects with RPN values over 100 scores that are then applied to analyse and make sure if such factors basically

involve any effects on dyeing repeatability. A process of the dyeing factor effects further includes an arrangement for forming a factorial 2^k experiment method so as to generate an appropriate level of the factors by means of selecting one-day stocked dye solution, a 300-mm-sized dyeing cylinder, and a piece of weight-added cloth prior to dyeing operation.

As a result, this research has found that the purpose of the laboratory quality for repeatability dyeing capability stands at 72.41%, increased by 7.02% respectively

Keyword : *Repeatability*

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ติดอันดับ 1 ใน 20 อันดับแรกที่ทำรายได้ให้กับประเทศเป็นเงินจำนวนมาก ในปีพ.ศ. 2550 เสื้อผ้าสำเร็จรูปมีมูลค่าการส่งออก 94,896.37 ล้านบาท (กระทรวงพาณิชย์. 2550:ม.ป.ป.) ดังนั้นในส่วนของสินค้าต้องมีคุณภาพที่ดี หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาต้องเป็นที่ยอมรับตามความพอใจ หรือตรงตามมาตรฐานความต้องการของลูกค้า ทำให้ผู้ผลิตต้องผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูงออกสู่ท้องตลาดเช่นเดียวกัน ตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์สิ่งทอ มีข้อกำหนดต่าง ๆ ออกมาเป็นการรับประกันคุณภาพสินค้าของตนเอง โดยมีการกำหนดมาตรฐานออกมารองรับ เป็นผลการทดสอบในด้านต่าง ๆ เช่นการทดสอบความคงทนต่อการใช้งานของสี การทดสอบการหดตัวของผ้า การทดสอบความแข็งแรงของผ้า รวมทั้งความเหมือนของสีผ้าที่ย้อมเทียบกับชิ้นตัวอย่าง ทำให้ผู้ผลิตต้องปรับปรุง พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ผ่านเกณฑ์ตามที่ลูกค้าต้องการ เพื่อแข่งขันทางด้านต้นทุน และผลกำไรของผู้ประกอบการในกระบวนการย้อมผ้า ปัญหาความเหมือนของสีผ้าที่ย้อมจริงเมื่อเทียบกับผ้าตัวอย่างของลูกค้าเป็นปัญหาที่ทำให้ผู้ผลิต ไม่สามารถทำการส่งสินค้าให้ตัวแทนจำหน่ายสินค้านั้น ๆ ได้ทันเวลา เนื่องจากต้องนำ

ผลิตภัณฑ์กลับมาทำการแก้ไข ย้อมซ้ำให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าจนจึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องต้นทุนวัตถุดิบ แรงงาน และระยะเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้น และปัญหาเรื่องนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ จารวัตร นวลสุวรรณ (2546) ที่ได้ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสีไม่เหมือนตัวอย่างของการย้อมเส้นด้ายโดยอาศัยวิธีการทางสถิติ และงานวิจัยของ วิวัฒน์ คำสง (2551) ที่ได้ศึกษาการลดปัญหาสีไม่เหมือนตัวอย่างในผ้าฝ้ายที่ย้อมสี Reactive เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งมอบตรงกำหนด โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล แล้วทำการพิสูจน์ด้วยเทคนิคการทดสอบสมมุติฐานเชิงสถิติ ผลของการใช้เครื่องมือทางสถิติดังกล่าวสามารถนำสูตรสีที่ได้จากห้องทดลองสู่กระบวนการผลิตโดยไม่มีการปรับสูตรเหมือนที่เคยปฏิบัติมา และสีที่ผลิตจริงเหมือนตัวอย่าง นอกจากนี้งานวิจัยเรื่องปัญหาการย้อมซ้ำในห้องทดลองยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ นันทพร อินทรแก้ว (2547) ที่ศึกษาการลดปัญหาสีเพี้ยนในกระบวนการย้อมเส้นด้ายโดยใช้แนวทางซิกซิกมา และทำการหาค่าความเหมาะสมของปัจจัยโดยการใช้การทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล ผลจากการดำเนินงานสามารถลดปัญหาสีเพี้ยนในเฉดสีดำนกรมท่า แดง เลือดหมู และเลือดนก โดยส่งผลให้งานดีกลับมาย้อมสีเพี้ยนในด้ายฝ้ายเฉดสีแก่ลดลง ซึ่ง

งานวิจัยที่หยิบยกมานี้ แสดงให้เห็นว่าปัญหาของการ ย้อมสีไม่เหมือน หรือปัญหาการย้อมซ้ำ เป็นปัญหาใน ลำดับแรก ๆ ของโรงงานย้อมผ้าส่วนใหญ่

ในส่วนการผลิตของโรงงานย้อมผ้า หน่วยงาน ที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรก คือหน่วยงาน ห้องทดลอง เพราะเป็นส่วนของการผลิตที่ต้อง กำหนดสูตรย้อม กระบวนการย้อม และย้อมผ้าสี ตัวอย่าง ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า ก่อนการ ผลิตจริงในฝ่ายผลิต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ ย้อมในห้องทดลองอันส่งผลให้เกิดปัญหาสีย้อมไม่ เหมือนเดิม

2.2 เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยใน กระบวนการย้อมซ้ำในห้องทดลอง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตในปัจจุบันของ ห้องทดลองของโรงงานตัวอย่างสภาพของปัญหาที่ เกิดขึ้น และได้ดำเนินการแก้ไขปัญหา โดยการใช้ เครื่องมือ การหาสาเหตุโดย แผนภาพสาเหตุและผล ในการวิเคราะห์ (Causse & Effect Diagram) การ วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) จากนั้นใช้เครื่องมือทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ และชี้ บ่งระดับของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาการย้อม ซ้ำได้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการวิจัย และการ ดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาปัญหา โดยศึกษาจากตารางค่า ร้อยละตามเป้าหมายของห้องทดลองเฉลี่ย ข้อมูล ปี 2553-2554 ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม-เมษายน

ตารางที่ 1 ค่าร้อยละตามเป้าหมายของห้องทดลอง

เป้าหมายคุณภาพ	เป้าหมายที่ ต้องการ/เดือน	ค่าที่ได้จริง
อัตราส่วนของปริมาณงาน เข้าต่อปริมาณงานออก (Productivity)	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98	95.48
ระยะเวลาในการผลิต (Lead Time)	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98	93.64
ปริมาณงานที่ตกค้างใน กระบวนการ (Work in Process)	ไม่เกินร้อยละ 5	9.37
ปริมาณงานที่ออกตามเวลา ที่กำหนด (On Time)	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98	87.40
ความสามารถในการย้อม ซ้ำ (Repeatability)	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98	65.39

จากข้อมูลผู้วิจัยเลือกหัวข้อ ความสามารถในการ ย้อมซ้ำ เพื่อใช้ในการปรับปรุงให้มีค่าร้อยละที่ สูงขึ้น

3.2 การศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงาน ตัวอย่าง โรงงานมีการทำงาน 24 ชั่วโมง ทำงาน 3 กะ และผลิตสินค้าประเภทผ้าย้อมสี เพื่อส่งให้กับ ลูกค้าเสื้อผ้าสำเร็จรูป

3.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยที่ส่งผล ต่อปัญหาการย้อมซ้ำ โดยการใช้เครื่องมือ แผนภาพ สาเหตุและผลในการวิเคราะห์ (Causse & Effect

[illegible]

3.4 การเลือกกลุ่มประชากร เลือกโดยการ
คัดเลือกบุคลากรตามระดับของตำแหน่งงาน ตั้งแต่
ระดับบริหารสูงสุด ลงมาถึงพนักงานในระดับต่ำที่สุด
ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของงานวิจัยทั้งหมด 10 คน

3.6 สรุปผลคะแนน ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมซ้ำในห้องทดลอง ได้ค่าของตัวเลข RPN ที่เกิน 100 คะแนน ดังนี้

3.7 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ผ้าถักพอลิเอสเตอร์เท็กเจอร์ เบอร์ของ
เส้นด้าย 75/48 Denier¹ มีเส้นด้ายฟิลาเมนต์ 48
เส้นตีเกลียวภายในเส้นด้ายโครงสร้าง Interlock 32
เข็ม/เกจ

 Na_2CO_3

Scouring Agent

Dianix Yellow UNSE 200%

Dianix Red UNSE

Dianix Blue UNSE

Dispersing Agent

Absorbency Agent

Anti reduction Agent

$$\text{CH}_3\text{COOH}$$
$$\text{CH}_3\text{COONa}$$
$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$$

NaOH (32 %)

Wetting Agent

$$\text{CH}_3\text{COOH}$$

เครื่องย้อมผ้า IR (Infrared Dyeing Machine)

เครื่องชั่ง แบบ 2 ตำแหน่ง

เครื่องปั่นผ้า (เครื่องซักผ้า)

ตู้อบแห้ง (อบผ้า)
 เครื่อง Dispenser (เครื่องจ่ายสี, เคมี)
 เครื่องเตรียมสติกส์
 เครื่องเซตหน้าผ้า (Heat Setting)
 เครื่อง Spectrophotometer
 ตู้ไฟเทียบสี (Light Box)
 กระบอกย้อมขนาด 300 ml และ
 กระบอกย้อมขนาด 500 ml

3.8 การพิสูจน์ผลกระทบของปัจจัย ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยที่เลือกมามีผลต่อปัญหาการย้อมซ้ำ ดังต่อไปนี้

3.8.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการย้อมของสี มีการใช้งานสติกส์ย้อม ในช่วงระยะเวลาใช้งานที่ 1-3 วันพบว่าเกิดปัญหาย้อมซ้ำขึ้น ผู้วิจัยได้นำค่าการสะท้อนแสงของผ้ามาตรฐาน (Standard) และค่าการสะท้อนแสงจากผลการวิเคราะห์ ได้ค่า P-Value 0.000 ตั้งสมมติฐานการทดสอบที่ขึ้นใหม่ (Batch) มาคำนวณออกมาเป็นค่า DE

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ คือ ค่า DE¹ เฉลี่ยที่ย้อมด้วยสติกส์ที่ 1 วัน, 2 วัน และ 3 วันมีค่าไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อยหนึ่งคู่ของ (i, j) คือ ค่า DE เฉลี่ยที่ย้อมด้วยสติกส์ที่ 1 วัน, 2 วัน และ 3 วันมีค่าแตกต่างกัน หรือมีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

เครื่องมือในการชี้วัด คือ เครื่อง Spectrophotometer ในการเปรียบเทียบสีของผ้าที่ย้อมกับผ้าตัวอย่าง มาตรฐานระบุผลเป็นค่า DE ในการทดสอบปัจจัยการย้อม จากนั้นใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ทางสถิติใน (One Way Anova) ในการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way Anova) สติกส์ย้อมตามระยะเวลาที่กำหนด

แหล่งผ้า	องค์	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ค่าสถิติ	P-
----------	------	-------	-----------	----------	----

แปร (Source of Variation)	อิสระ (Degree of Freedom)	กำลังสอง (Sum of Square)	กำลังสองเฉลี่ย (Mean Square)	ดี(Fo)	Value
จำนวนวัน	2	1.4236	0.7118	14.76	0.000
ความคลาดเคลื่อน (Error)	27	1.3025	0.0482		
ผลรวม (Total)	29	2.7261			

แสดงว่าค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมด้วยสติกส์ที่ 1 วัน, 2 วัน และ 3 วันมีค่าแตกต่างกัน หรือมีอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน (ใช้ระดับของความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 0.05)

3.8.2 พื้นที่ว่างในกระบอกย้อมไม่เท่ากัน ในการปฏิบัติงาน กระบอกย้อมมี 2 ขนาด คือ 300 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร พนักงานย้อมนำกระบอกย้อมทั้ง 2 ขนาดมาใช้งานร่วมกัน ทำให้เกิดปัญหาขึ้น ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ คือ ค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมโดยใช้กระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร มีค่าไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ คือ ค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมโดยใช้กระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร มีค่าแตกต่างกัน

ในส่วนของการบวนการทดลอง ทำการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการย้อมของสี และค่า DE ที่

ได้นำเข้าสู่การใช้เครื่องมือทางสถิติในการพิสูจน์ผลกระทบของปัญหาดังกล่าว โดยใช้เครื่องมือ 2 Sample T-Test ในการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ผลต่างของค่าเฉลี่ย กระบอกล้อมขนาด 300 มิลลิลิตร และขนาด 500 มิลลิลิตร

แหล่งต้นแปร (Source of Variation)	จำนวนตัวอย่าง (N)	ค่าเฉลี่ย DE ผ้าสีของ กระบอกล้อม	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่าง (Standard Deviatio)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย (Standard Error)	ค่า นัยสำคัญ (P-Value)
กระบอกล้อมขนาด 500 มิลลิลิตร	10	0.7490	0.0433	0.0140	0.000
กระบอกล้อมขนาด 300 มิลลิลิตร	10	0.0970	0.0134	0.0042	

จากผลการวิเคราะห์ ได้ค่า P-Value 0.000 แสดงว่า ค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมโดยใช้กระบอกล้อมขนาด 300 มิลลิลิตร และ500 มิลลิลิตร มีค่าแตกต่างกัน (ใช้ระดับของความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 0.05)

3.8.3 น้ำหนักผ้าเตรียมย้อมไม่ตรงตามที่กำหนด เนื่องจากพนักงานย้อมตัดผ้า และชั่งน้ำหนักผ้าเป็นอันดับแรก จากนั้นนำผ้าไปพอกทำความสะอาด และนำผ้ากลับมาย้อม โดยไม่มีการชั่งน้ำหนักซ้ำ อาจทำให้น้ำหนักผ้าไม่ตรง ตามการคำนวณค่าของปริมาณการใช้สีย้อม ผู้วิจัยได้นำผ้าที่ผ่านขั้นตอนการพอก และไม่ชั่งน้ำหนักซ้ำ และผ้าที่ผ่านการพอกแล้วชั่งน้ำหนักซ้ำมาย้อมเพื่อนำค่า DE ที่ได้มาเปรียบเทียบกับกัน โดยกำหนดสมมติฐานการทดสอบดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ คือ ค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมโดยใช้ผ้าที่ไม่เติมให้น้ำหนักตามกำหนดก่อนการย้อม และใช้ผ้าที่มีการเติมน้ำหนักให้ได้ตามกำหนดก่อนการย้อมมีค่าไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ คือ ค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมโดยใช้ผ้าที่ไม่เติมให้น้ำหนักตามกำหนดก่อนการย้อม และใช้ผ้าที่มีการเติมน้ำหนักให้ได้ตามกำหนดก่อนการย้อมมีค่าแตกต่างกัน

ในส่วน ของกระบวนการทดลอง ใช้เช่นเดียวกับการทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการย้อมของสี และค่า DE ที่ได้นำเข้าสู่การใช้เครื่องมือทางสถิติในการพิสูจน์ผลกระทบของปัญหาดังกล่าว เหมือนทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้กล่าวมา โดยใช้เครื่องมือ 2 Sample T-Test ในการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลต่างของค่าเฉลี่ย DE ของผ้าที่น้ำหนักไม่ตรงตามกำหนด และผ้าที่น้ำหนักตรงตามกำหนด

แหล่งต้นแปร (Source of Variation)	จำนวนตัวอย่าง (N)	ค่า DE เฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่าง (Standard Deviation)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard Error)	ค่า นัยสำคัญ (P-Value)
DE ของผ้าที่ น้ำหนักไม่ตรงตามกำหนด	10	0.553	0.362	0.11	0.008
DE ของผ้าที่ น้ำหนักตรงตามกำหนด	10	0.1650	0.0401	0.013	

จากผลการวิเคราะห์ ได้ค่า P-Value 0.008 แสดงว่าค่า DE เฉลี่ยของผ้าที่ย้อมโดยใช้ผ้าที่ไม่เติมให้น้ำหนักก่อนการย้อม และใช้ผ้าที่มีการเติม

น้ำหนักให้ได้ก่อนการย้อมมีค่าแตกต่างกัน (ใช้ระดับของความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 0.05)

3.9 การออกแบบการทดลอง เชิง แฟคทอเรียล 2^K (DOE : Design of Experiment) จากหัวข้อการพิสูจน์ผลกระทบของปัจจัย ที่แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่นำมาทดลองมีผลต่อค่า DE จริง จึงนำปัจจัยที่ได้เข้าสู่การออกแบบการทดลองเชิง แฟคทอเรียล 2^K เพื่อหาระดับความเหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาการย้อมผ้า ในการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือกสีย้อมมา 2 เฉดสี คือ สีเทา และน้ำเงิน โดยในแต่ละเฉดสีได้แบ่งค่าตามร้อยละของความเข้มสีออกเป็น 3 ระดับได้แก่ สีเทาอ่อน สีเทากลาง สีเทาเข้ม สีนํ้าเงินอ่อน สีนํ้าเงินกลาง และสีนํ้าเงินเข้ม รวมเป็น 6 การทดลอง ในการทดลองมีการทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง ดังนั้นใน 1 ตารางการทดลอง จะมี 3 ปัจจัยการย้อม เท่ากับ 2^3 แฟคทอเรียล ($2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24$ การทดลอง) ดังแสดงตามการออกแบบการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ทำการทดลอง	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย		หน่วย
		Low Level (-)	High level (+)	
น้ำหนักผ้า	Weight Fabric	Yes	No	กรัม
ระยะเวลาในการใช้งานสีย้อมน้ำสี	Time Stock	1	3	วัน
ขนาดของกระบอกย้อม	Dye Pot	300	500	มิลลิลิตร

จากตารางที่ 5 แสดงระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของระดับ Low Level (+) และ High Level (-)

3.9.1 การออกแบบการทดลอง 2^K แฟคทอเรียลของการย้อมผ้าสีเทาอ่อน สีนํ้าเงินอ่อน

สีเทากลาง นํ้าเงินกลาง สีเทาเข้ม และสีนํ้าเงินเข้ม สามารถแสดงตามขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

จากตารางที่ 6 กระบวนการย้อมที่ใช้มีการแบ่งการทดลองออกเป็น 6 การทดลองตามความเข้มของเฉดสี โดยเฉดสี เทาอ่อน นํ้าเงินอ่อน เทากลาง และนํ้าเงินกลาง ใช้กระบวนการย้อมที่เหมือนกันต่างแค่ เวลาในการย้อม คือสีอ่อนใช้เวลา 30 นาที ส่วนสีกลางใช้เวลา 45 นาที และในส่วนของสีเทาเข้ม และสีนํ้าเงินเข้ม มีการใช้กระบวนการที่ต่างออกไป คือ จับเวลาที่ย้อมที่ 60 นาที ทำการ RC 1 ครั้ง จากนั้นผ้าจะผ่านการอบแห้งและ เชดผ้าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากนั้นผ้าจะกลับมา RC ซ้ำเพื่อกำจัดสีส่วนเกิน และเชดผ้าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสอีกครั้ง

3.9.2 การตั้งสมมติฐานการวิจัยจากการออกแบบการทดลอง 2^K แฟคทอเรียล ดังนี้

1) H_0 : ผ้าที่ไม่เติมให้ได้น้ำหนักตามกำหนด ก่อนการย้อม ไม่มีผลต่อค่า DE

H_1 : ผ้าที่ไม่เติมให้ได้น้ำหนักตามกำหนด ก่อนการย้อม มีผลต่อค่า DE

2) H_0 : อายุการใช้งานของสีย้อมสี 1 วัน และ 3 วันไม่มีผลต่อค่า DE

H_1 : อายุการใช้งานของสีย้อมสี 1 วัน และ 3 วัน มีผลต่อค่า DE

3) H_0 : ขนาดของกระบอกย้อม 300 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตรไม่มีผลต่อค่า DE

H_1 : ขนาดของกระบอกย้อม 300 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตรมีผลต่อค่า DE

ในส่วนในช่วงความเชื่อมั่นในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 95 หรือ $\alpha = 0.05$ ในการพิสูจน์ปัจจัย และการออกแบบการทดลอง 2^K แฟคทอเรียลในทุก ๆ การทดลอง และใน

การออกแบบการทดลองมีปัจจัยที่นำมาทดลอง 3 ปัจจัย ดังนั้นจำนวนของชิ้นผ้าตัวอย่างที่ใช้ในการย้อมมีดังนี้ ($2^K = 2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ และมีการย้อมซ้ำอย่างละ 3 ชั้น) โดยในการย้อม 1 เกรดสีต้องย้อมผ้า

Batch ทั้งหมด $8 \times 3 = 24$ ชิ้นผ้าสี และการย้อมทั้งหมดย้อมผ้าทั้งหมด 6 ตารางตามความเข้มของเกรดสี

ตารางที่ 6 กระบวนการย้อม

กระบวนการย้อมผ้า	ปริมาณสารเคมีเกรดสีเทาอ่อน	ปริมาณสารเคมีเกรดสีน้ำเงินอ่อน	ปริมาณสารเคมีเกรดสีเทากลาง	ปริมาณสารเคมีเกรดสีน้ำเงินกลาง	ปริมาณสารเคมีเกรดสีเทาเข้ม	ปริมาณสารเคมีเกรดสีน้ำเงินเข้ม
กระบวนการฟอกทำความสะอาด 90 °C x 20 นาที						
Na ₂ CO ₃	1.0 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l
Scouring Agent	1.0 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l		
เคมีปรับสภาวะ pH					0.5 g/l	0.5 g/l
CH ₃ COOH ,อบแห้ง 90°C x 5 นาที	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l		
กระบวนการย้อม 130 °C L:R 1:13	30 นาที	30 นาที	45 นาที	45 นาที	60 นาที	60 นาที
Dianix Yellow UNSE 200%	0.065 %	0.002 %	0.144 %	0.010%	0.320 %	0.027 %
Dianix Red UNSE	0.12 %	0.040 %	0.213 %	0.105 %	0.468 %	0.029 %
Dianix Blue UNSE	0.15 %	0.408 %	0.300 %	1.100 %	0.650 %	2.970 %
เคมีช่วยย้อม						
Dispersing Agent	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l
Absorbency Agent	1.5 g/l	1.5 g/l	1.5 g/l	1.5 g/l	1.5 g/l	1.5 g/l
Anti reduction Agent	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l
CH ₃ COOH	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l
CH ₃ COONa	0.35 g/l	0.35 g/l	0.35 g/l	0.35 g/l	0.35 g/l	0.35 g/l
ปรับ pH 4.2						
การทำความสะอาดผ้าหลังการย้อม (RC : Reduction Clear) 80 °C	20 นาที	20 นาที	20 นาที	20 นาที	20 นาที	20 นาที
Na ₂ S ₂ O ₄	1.25 g/l	1.25 g/l	2.5 g/l	2.5 g/l	5.0 g/l	5.0 g/l
NaOH (32 %)	1.0 g/l	1.0 g/l	2.0 g/l	2.0 g/l	4.0 g/l	4.0 g/l
Wetting Agent	0.25 g/l	0.25 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	1.0 g/l	1.0 g/l
เคมีปรับสภาวะ pH						
CH ₃ COOH	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l	0.5 g/l

4. ผลการวิจัย

จากผลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง 2^K แฟคทอเรียล สามารถแสดงค่า P-Value ที่แยกตามผลกระทบหลัก และผลกระทบรวมที่ได้จากการย้อมผ้า แยกตามเกรดสี และความเข้มของค่าเปอร์เซ็นต์

เกรดที่ส่งผลให้เกิดปัญหาการย้อมซ้ำ แยกตามค่าเปอร์เซ็นต์เกรด ดังต่อไปนี้

4.1 ผลของค่า P-Value จากการทดลอง

● สีเทาอ่อน (≤ 0.5 เปอร์เซ็นต์)

ผลกระทบหลัก

น้ำหนักผ้า ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

ผลกระทบรวม

น้ำหนักผ้า/เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

น้ำหนักผ้า/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value

0.000

● สีนํ้าเงินอ่อน (≤ 0.5 เปอร์เซ็นต์)

ผลกระทบหลัก

น้ำหนักผ้า ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

● สีเทากลาง (0.51-1.6 เปอร์เซ็นต์)

ผลกระทบหลัก

น้ำหนักผ้า ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

● สีนํ้าเงินกลาง (0.51-1.6 เปอร์เซ็นต์)

ผลกระทบหลัก

น้ำหนักผ้า ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

ผลกระทบรวม

น้ำหนักผ้า/เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.022

น้ำหนักผ้า/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.014

เวลาเตรียมสต็อก/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value

0.045

● สีเทาเข้ม (≥ 1.61 เปอร์เซ็นต์)

ผลกระทบหลัก

น้ำหนักผ้า ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

ผลกระทบรวม

น้ำหนักผ้า/เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.007

น้ำหนักผ้า/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.054

เวลาเตรียมสต็อก/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value

0.000

● สีนํ้าเงินเข้ม (≥ 1.61 เปอร์เซ็นต์)

ผลกระทบหลัก

น้ำหนักผ้า ค่า P-Value 0.000

เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.000

ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.000

ผลกระทบรวม

น้ำหนักผ้า/เวลาเตรียมสต็อก ค่า P-Value 0.203

น้ำหนักผ้า/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value 0.046

เวลาเตรียมสต็อก/ขนาดกระบอกรับ ค่า P-Value

0.000

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ ผลกระทบหลักของปัจจัย และผลกระทบรวมของปัจจัยสามารถแสดงได้ว่าปัจจัยใดมีผลบ้าง โดยแสดงได้จากค่า P-Value ที่ได้ หากค่า P-Value มีค่าต่ำกว่า ค่าความเชื่อมั่น ($P\text{-Value} < \alpha$) แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าของ DE (เข้าสู่เงื่อนไขยอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0) ที่ส่งผลต่อการย้อมผ้าแต่ละชนิดสีที่ทำการทดลอง

4.2 การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยที่ได้ ทำให้ทราบข้อเท็จจริงของปัจจัยในการย้อมที่ ส่งผลกระทบต่อปัญหาการย้อมซ้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำงานของห้องทดลองให้ดีขึ้น ดังต่อไปนี้

จากการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ปัญหาการย้อมซ้ำในห้องทดลอง ได้ดำเนินการตามขั้นตอน การวิเคราะห์แผนภาพ

ก้างปลา เพื่อหาสาเหตุของปัญหา จากนั้นนำสาเหตุของปัญหาที่ได้เข้าสู่ กระบวนการการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อหาค่า ดัชนีความเสี่ยงขึ้น (RPN Score) ที่เกิน 100 คะแนน ได้ 3 ปัจจัยที่มีผล คือ ระยะเวลาในการใช้งานสต็อกสีที่ 1 วัน และ 3 วัน การใช้งานกระบอกย้อมที่มีขนาดต่างกัน 300 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร และการใช้ผ้าที่เติมให้ได้น้ำหนักตามกำหนดก่อนการย้อม และการใช้ผ้าที่ไม่เติมให้ได้น้ำหนักตามกำหนดก่อนการย้อม จากนั้นนำปัจจัยที่ได้เข้าสู่การพิสูจน์ผลกระทบของปัจจัยว่า มีผลกระทบต่อปัญหาหรือไม่ เมื่อทำการพิสูจน์ผลกระทบของปัจจัยพบว่า มีผลต่อปัญหาจริง ขั้นตอนต่อไป นำปัจจัยทั้ง 3 เข้าสู่การหาระดับความเหมาะสมของปัจจัยโดยการใช้ การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เพื่อหาระดับความเหมาะสมของปัจจัยในการควบคุมปัญหาการย้อมซ้ำ

ผลจากการออกแบบการทดลอง ระดับของปัจจัยที่ได้ตามผลกระทบหลักที่เลือก คือ เลือกใช้สต็อกสีที่ 1 วัน เลือกใช้กระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร และเลือกใช้ผ้าที่เติมให้ได้น้ำหนักก่อนการย้อม เป็นผลที่ได้จากการทำวิจัยในเรื่องปัญหาการย้อมซ้ำในครั้งนี้

ส่วนปัจจัยที่ได้จากการทดลองพิสูจน์ผลกระทบของปัจจัย โดยทั้ง 3 ปัจจัย ผู้วิจัยมีแนวความคิดเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจทำให้เกิดสาเหตุของปัจจัย แยกตามหัวข้อดังนี้

1) ปัจจัยเรื่อง เวลาในการใช้งานของสต็อกสี ใช้ระยะเวลาในการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ 1 วัน และ 3 วัน จากลักษณะการทำงานของเครื่อง จ่ายสี และสารเคมีช่วยย้อม หลักการทำงานของเครื่อง เมื่อผู้ปฏิบัติงานทำการเตรียม สต็อกสีจากเครื่องเตรียมสต็อกแล้ว จะนำขวดสต็อกที่เตรียม วางบนเครื่อง

จ่ายสี และสารเคมีช่วยย้อม และใส่แม่เหล็กลงในขวด เพื่อให้แม่เหล็กทำการกวนน้ำสีตลอดเวลา แต่อายุการใช้งานของสต็อกสีแต่ละขวดอยู่ที่ 3 วัน จึงทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นไปเกาะที่ฝาของขวดสต็อก จากนั้นหยดน้ำที่เกาะอยู่ได้รวมตัวกันเกิดเป็นหยดน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และหยดลงมาในขวด ทำให้ความเข้มข้นของ น้ำสีในขวดเจือจางลง อาจเป็นเหตุทำให้เฉดของผ้าสีที่ทำการย้อมมีความเข้มของสีเปลี่ยนไปจากความเข้มข้นเดิมได้ทำให้น้ำสีในขวดเจือจางลง

2) ปัจจัยเรื่อง ขนาดของกระบอกที่ใช้ในการย้อม มีขนาดไม่เท่ากัน คือ กระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร และกระบอกย้อมขนาด 500 มิลลิลิตร เนื่องจากขั้นตอนการทำงานของพนักงานย้อม เมื่อรับใบสุตรย้อมจากเจ้าหน้าที่ปรับสูตรย้อมที่มีการปรับสูตรสี จากนั้นนำสูตรย้อมที่ได้มาทำการย้อม แต่เนื่องจากจำนวนของกระบอกย้อมที่ใช้ในการย้อมมีจำนวนที่ไม่เพียงพอ พนักงานย้อมจึงนำกระบอกย้อมทั้ง 2 ขนาดมาใช้งาน จึงทำให้เกิดปัญหาสีย้อมไม่เหมือนเดิมขึ้น จากแนวความคิดของผู้วิจัย เนื่องจากขนาดของกระบอกย้อมทั้ง 2 มีขนาดของพื้นที่ว่างในกระบอกไม่เท่ากัน กระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร มีขนาดพื้นที่ในกระบอกย้อม น้อยกว่ากระบอกย้อมขนาด 500 มิลลิลิตร ในกระบวนการย้อมในเครื่องย้อม IR (Infrared Dyeing Machine) มีการเคลื่อนตัวเป็นวงกลม เกิดขึ้นทำให้ผ้า และน้ำสีมีการเคลื่อนตัวไปมา ทำให้พื้นที่ในการสัมผัส หรือการติดสีมีไม่เท่ากัน ผ้าสีที่ย้อมในกระบอก 300 มิลลิลิตร มีโอกาสในการแช่ หรือสัมผัสน้ำสีได้นานกว่าผ้าที่ย้อมในกระบอก 500 มิลลิลิตร ทำให้อ้อมสามารถเข้าสู่เส้นใยได้ดีกว่า จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น

3) ปัจจัยเรื่อง ผ้าที่เพิ่มให้ได้น้ำหนักตามกำหนดก่อนการย้อม และผ้าที่ไม่เพิ่มให้ได้น้ำหนัก

ตามกำหนดก่อนการย้อม เกิดจากปัญหาการทำงานที่พนักงานย้อม นำผ้าซึ่งน้ำหนักก่อนกระบวนการฟอกผ้าดิบ และนำผ้าดิบที่ฟอกแล้วมาย้อม เนื่องจากมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยการย้อม และทำให้ทราบปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดขั้นตอนการทำงานใหม่ขึ้นมา เพื่อป้องกันความผิดพลาดของพนักงาน โดยการให้พนักงานย้อมนำผ้าที่ผ่านกระบวนการฟอกแล้ว นำผ้ากลับมาเพิ่มน้ำหนักที่ถูกต้องก่อนการย้อมจริง จากแนวความคิดของผู้วิจัย เนื่องจากกระบวนการย้อมคิดร้อยละของเนื้อสีจากน้ำหนักของสีที่ใช้ในการย้อมเป็น ค่าร้อยละเทียบกับน้ำหนักผ้า เมื่อถึงขั้นตอนของการจ่ายสีย้อมจากเครื่องจ่ายสี และสารเคมีช่วยย้อม การจ่ายสี และสารเคมี ต้องมีการบันทึกน้ำหนักผ้าก่อนการย้อมลงไปในเครื่อง ๆ จึงจะสามารถจ่ายสีย้อม ตามค่าร้อยละของน้ำหนักผ้าได้ หากเกิดปัญหาเรื่อง น้ำหนักผ้าไม่ตรงตามที่กำหนดขึ้น จะทำให้สีที่จ่ายออกมาคิดตามค่าของน้ำหนักที่กำหนด แต่ผ้าที่อยู่ในกระบอกย้อมมีน้ำหนักน้อยกว่าที่เครื่องคำนวณ ทำให้ผ้าที่ย้อมเกิดปัญหาการย้อมที่สีไม่เหมือนเดิมเกิดขึ้นได้ทำให้ค่า DE ของผ้าสีที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

5. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k ผู้ทำการวิจัยได้พิจารณาความเหมาะสมในการใช้ข้อสรุปจากการออกแบบการทดลอง จากการปฏิบัติงานจริงในห้องทดลองย้อมผ้าในโรงงานตัวอย่าง ซึ่งปัจจัยที่ต้องควบคุม คือปัจจัยหลักที่ได้ทำการทดลองทั้ง 3 ปัจจัยที่ต้องควบคุมดังนี้

- 1) เลือกใช้ผ้าที่เติมน้ำหนักให้ครบตามน้ำหนักที่กำหนดก่อนการย้อม
- 2) เลือกใช้สีย้อมที่เตรียมในสต็อกสีที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 1 วัน

3) เลือกใช้กระบอกย้อมขนาด 300 มิลลิลิตร
จากผลการทดลอง ผู้วิจัยนำผลการทดลองที่ได้ เสนอแก่ห้องทดลองของโรงงานตัวอย่าง เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาค่าความสามารถในการย้อมซ้ำ จากร้อยละ 65.39 เป็น ร้อยละ 72.41 มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.02 ในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และโรงงานตัวอย่างที่เอื้อเพื่อสถานที่เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิชาติ สนธิสมบัติ. กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด มหาชน, 2554: 5, 97-98, 137-139
- [2] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542: 192-195, 199-203
- [3] นันทน พิชเชษฐวิทย์. การย้อมสีสิ่งทอ. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเคมีสิ่งทอ 1 ภาควิชา คหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏบุรีรัมย์, 2540: 2
- [4] เขมชาติ สุรกุล. วิทยาศาสตร์สีสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ. สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2550: 41, 46-47
- [5] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้อง และผลกระทบ FMEA.

- กรุงเทพมหานคร:บริษัทเทคนิคคอล แอปโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด, 2547: 107-122
- [6] บุญเรียง ขจรศิลป์. สถิติวิจัย I. ภาควิชา การ ศี ก ษ า ค ณ ะ ศี ก ษ า ศาส ต ร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542: 79-83
- [7] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การ ทดลองกรุงเทพมหานคร : บริษัท สำนักพิมพ์ ท้อป จำกัด, 2551: 32-34
- [8] จารุวัตร นวลสุวรรณ. การลดปริมาณการย้อม ซ้ำที่เกิดจากสีไม่เหมือนตัวอย่างในกระบวนการ ย้อมเส้นด้ายฝ้าย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า ธนบุรี
- [9] ธนิตพล จันทสม. การประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงกระบวนการฟอกย้อม ใน โรงงานตัวอย่าง.มหาวิทยาลัยศิลปกร
- [10] James Park, . Instrumental Colour Formulation Principal, Park Dyeing Services Ltd, Nottingham, UK The Society of Dyers and Colourists, 1993, 10
- [11] Antonio Scipioni, et al., FMEA methodology design implementation and integration with HACCP system in food company. Journal of food no 13, 2002, 495-501
- [12] Rodetick McDonald, Colour physic for industry, 2 nd edt., SDC, 1997, 58-70
- [13] Wilfred Ingamells, Colour for textiles a user' s handbook. School of home Economics and Institutional Management, University of Wale, Cardiff, UK, 1993, 152