

การเปรียบเทียบชนิดของโลหะไอออนในดินโคลน และดินลูกรัง  
ที่มีผลต่อการยึดติดของสักรวมกับเส้นใยฝ้าย

วิทยานิพนธ์

ของ

ทุเรียน ปัดสำราญ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลัทธิ

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา

ตุลาคม 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

THE COMPARISON OF CATIONIC IONS IN MUD AND LATERITE FOR  
AN INDIGO BLUE MORDANT ON COTTON FIBER.

BY  
TURIAN PADSUMRAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE MASTER OF SCIENCE DEGREE IN SCIENCE EDUCATION  
AT SAKON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

OCTOBER 2008

ALL RIGHTS RESERVED BY SAKON NAKHON RAJABHAT UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบชนิดของโลหะไอออนในดินโคลน ดินลูกรัง  
ที่มีต่อการยึดติคของสีครามกับเส้นใยฝ้าย  
ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ นางสาวทุเรียน ปัดสำราญ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ดร.สำเร็จ คันธิ) ประธานกรรมการสอบ..... กรรมการสอบและ  
(ดร.ธงจุกา สุวรรณประเสริฐ) ประธานที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์

.....  
(ดร.อมรวิภา เขียวรักษา) กรรมการสอบ ..... กรรมการสอบและ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณรัตน์ สายทอง) กรรมการที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์

.....  
(รองศาสตราจารย์จันทร์แจ่ม ดวงอุปะ)

โครงการจัดตั้งบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร บุญใจ)

ผู้อำนวยการโครงการจัดตั้งบัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

คณะกรรมการประจำสาขารับรองแล้ว

.....  
(ดร.สำเร็จ คันธิ)

ประธานสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เมื่อวันที่ .....เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2551

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

## ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจาก ดร.ชงจุทา สุวรรณประเสริฐ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุรัตน์ สายทอง กรรมการที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย ตั้งแต่ต้นจนจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สำเร็จ คันธิ ประธานสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ดร.อมรา เขียวรักษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิคม ชลิตะนาวัน ดร.ทศวรรษ สีตะวัน อาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้ให้คำแนะนำ และความห่วงใยในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์จันทร์แจ่ม ดวงอุปะ อาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ โครงการหอผ้าคราม จังหวัดสกลนคร ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในบางส่วน จนทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติการทดลอง และศูนย์เครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โครงการศูนย์วิจัย และบริการวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้ความสะดวกในการใช้ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาบัณฑิตศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาทุกท่าน และสมาชิกในครอบครัวทุกท่าน ที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งปวง

ทุเรียน ปัดสำราญ

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบชนิดของโลหะไอออนในดิน โคลน ดินลูกรัง ที่มีผลต่อการยึดติดของสึครามกับเส้นใยฝ้าย
ผู้วิจัย	นางสาวทุเรียน ปัดสำราญ
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.ชงจุฑา สุวรรณประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุรัตน์ สายทอง
ปริญญา	วท.ม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา)
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ปีที่พิมพ์	2551

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของโลหะไอออนที่อยู่ในดิน โคลน และดินลูกรัง ที่มีผลต่อการยึดติดสึครามกับเส้นใยฝ้าย พบโลหะไอออนในดิน โคลนและดินลูกรังที่มีปริมาณมาก ได้แก่  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $Na^+$  ตามลำดับ จึงนำโลหะไอออนเหล่านี้มาทำเป็นสารมอร์แดนท์ ซึ่งมีวิธีการทำมอร์แดนท์ทั้งก่อนและหลังย้อม โดยทำให้อยู่ในรูปออกไซด์ของ  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  และ  $Na_2O$

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย้อมสีด้วย UV-VIS Spectrophotometer ด้วยวิธีการคำนวณจากกราฟมาตรฐาน พบว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามไม่ใส่สารมอร์แดนท์ มีค่าร้อยละการดูดซับสี และร้อยละการฟีนิกสีเป็น 18.78 และ 7.42 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ และใช้วิธีมอร์แดนท์ก่อนย้อม พบว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย มอร์แดนท์ของโลหะไอออน มีค่าร้อยละการดูดซับสี(เลขตัวหน้า) และค่าร้อยละการฟีนิกสี (เลขตัวหลัง)เพิ่มขึ้น คือ  $Al^{3+}$  (61.60,52.03),  $Mg^{2+}$  (33.45,13.88),  $Na^+$  (29.54,18.78) และ  $Fe^{3+}$  (19.98,5.86) และยังคงสมบัติของสีต่อการซักล้างและความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับที่ดี จากการวิเคราะห์หาปริมาณของ โลหะที่ยึดเกาะบนเส้นใยฝ้ายด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) และ Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP-MS) พบโลหะในปริมาณน้อยมากเพียงร้อยละ 0.07-0.8 ของน้ำหนักฝ้าย แต่ทำให้สียึดติดบนเส้นใยฝ้ายได้ดี และจากการวัดเทียบสีของเส้นใยฝ้ายด้วยเครื่องวัดเทียบสี Chroma Meter พบว่าเมื่อใช้โลหะไอออนต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสีที่แตกต่างกัน จากผลการย้อมสึคราม ด้วยการเปรียบเทียบโลหะไอออนที่เหมาะสมที่สุด คือ  $Al^{3+}$  รองลงมา คือ  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  และ  $Na^+$  ตามลำดับ เนื่องจาก  $Al^{3+}$  สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรงกับสึครามและ

เส้นใยฝ้ายได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่นๆ ดินลูกรังเหมาะสมที่จะเป็นสารมอร์แดนท์จากธรรมชาติมากกว่าดินโคลน และสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้มอร์แดนท์คือการทำมอร์แดนท์ก่อนย้อม

จากการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการย้อมคราม เพื่อลดจำนวนครั้งในการย้อม และให้ความคงทนของสีต่อแสงแดดและความคงทนของสีต่อการซักล้างที่ดีกว่าการย้อมแบบเดิม

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

<b>TITLE</b>	The comparison of cationic ions in mud and laterite for an indigo blue mordant on cotton fiber.
<b>AUTHOR</b>	Turian Padsumran
<b>ADVISORS</b>	Dr. Thongjuta Suwanprasert Asst.Prof. Anurat Saitong
<b>DEGREE</b>	M.Sc. (Master of Science)
<b>INSTITUTE</b>	Sakon Nakhon Rajabhat University
<b>YAER</b>	2008

### Abstract

The objective of this research was to compare the mordant functions of each kind of major metal ions in mud and laterite. Each metal ion was studied in the function of amount and capability for binding indigo blue onto cotton fibers. Results from XRF spectroscopy showed the majority of metal ions in mud and laterite were  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$ . These metal ions were studied as mordants in the form of metal oxide such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  and  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Values of the exhaustion and dye fixation were calculated from the standard calibration curve of UV-Vis spectrophotometry which resulted the dyeing with metal ions giving higher percentages of the exhaustion (anterior number) and dye fixation (posterior number),  $\text{Al}^{3+}$  (61.60,52.03),  $\text{Mg}^{2+}$  (33.45,13.88),  $\text{Na}^+$  (29.54,18.78) and  $\text{Fe}^{3+}$  (19.98,5.86), than dyeing without metal ions (18.78, 7.42). The light fastness and the wash fastness values of the dyeing with metal ions were also higher than without metal ions. The amounts of metal ions which binding on the cotton fiber were analyzed by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS). Few metal ions (0.07 – 0.8 % by weight of cotton fiber) were fixed onto the cotton fiber but acted as a good mordant function. The comparative colors of dyeing with varied metal ions were measured by a Chroma Meter. The colors were different as metal ions variety.

From all of these results, the most suitable metal ions to be a mordant was  $\text{Al}^{3+}$  because of its forming strongest complex with indigo blue and cotton fiber, next ions were

Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> and Na<sup>+</sup>, respectively. Dyeing with laterite gave better the mordant function than Mud. The dyeing condition with metal ions as mordants before dyeing state showed better results than doing at after dyeing state.

The obtaining of this research can be improved to the indigo blue process in order to reducing the numbers of repeating times of dyeing to maintain the indigo blue quality.

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี



## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
สมมติฐานของการวิจัย .....	3
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
ส่วนประกอบของดิน โคลนและดินลูกรัง .....	5
สารมอร์แคนท์ .....	8
สีย้อมและทฤษฎีการย้อม .....	12
สีครามและการย้อมคราม .....	21
เส้นใยฝ้าย .....	23
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	26
ระบบวัดสี .....	30
การวัดความแตกต่างของสี .....	34
การทดสอบความคงทนของสี .....	37
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	43
งานวิจัยในประเทศ .....	43
งานวิจัยต่างประเทศ .....	48

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	49
เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี .....	49
วิธีดำเนินการวิจัย .....	50
การเก็บตัวอย่างดิน โคลนและดินลูกรัง .....	50
วิเคราะห์หาโลหะ ไอออนในดิน โคลนและดินลูกรัง โดยใช้เครื่อง XRF .....	51
วิธีการเตรียมน้ำข้อมด้วยวิธีทางเคมี .....	51
การเตรียมเส้นใยฝ้ายก่อนข้อม .....	51
วิธีการข้อมครามแบบมอร์แคนท์ .....	52
การทดสอบการย้อมติดของ โลหะ ไอออนกับสีครามและเส้นใยฝ้าย ด้วยเครื่อง SEM .....	55
การวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะ ไอออนที่เหลือบนเส้นใยฝ้าย หลังการทำมอร์แคนท์ด้วยเครื่อง AAS และ ICP-MS .....	55
การประเมินการติดสี .....	55
การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง .....	55
การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด .....	56
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล .....	60
ผลการทดลอง .....	60
อภิปรายผล .....	69
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	73
สรุปผลการวิจัย .....	73

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ข้อเสนอแนะ .....	74
บรรณานุกรม .....	75
ภาคผนวก ก แสดงการคำนวณเพื่อเตรียมสารละลายยอร์แดนท์ .....	77
ภาคผนวก ข รูปภาพประกอบการวิจัย .....	81
ประวัติผู้วิจัย .....	90

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

## สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

1 แสดงสัดส่วนของธาตุที่มีปริมาณมากและน้อยในดิน .....	7
2 แสดงความเข้มข้นของธาตุของ โลหะที่มีปริมาณน้อย และปานกลางในดินที่ไม่ถูกปนเปื้อน .....	7
3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย .....	24
4 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย .....	25
5 แสดงความแตกต่างของสีเทียบกับอัตราความคงทนของสี .....	39
6 อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงสี .....	40
7 ตารางข้อกำหนดคุณภาพ .....	41
8 อัตราความคงทนของสี .....	41
9 ผลการวิเคราะห์โลหะ ไอออนในดิน โคลนและดินลูกรัง .....	60
10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยฝ้ายที่ข้อมสีคราม ใส่สารมอร์แดนต์และเส้นใยฝ้ายที่ข้อมไม่ใส่สารมอร์แดนต์ .....	65
11 ระดับความคงทนของสีผ้าเมื่อใช้โลหะ ไอออนเป็นมอร์แดนต์ .....	67

## บัญชีภาพประกอบ

### ภาพประกอบ

### หน้า

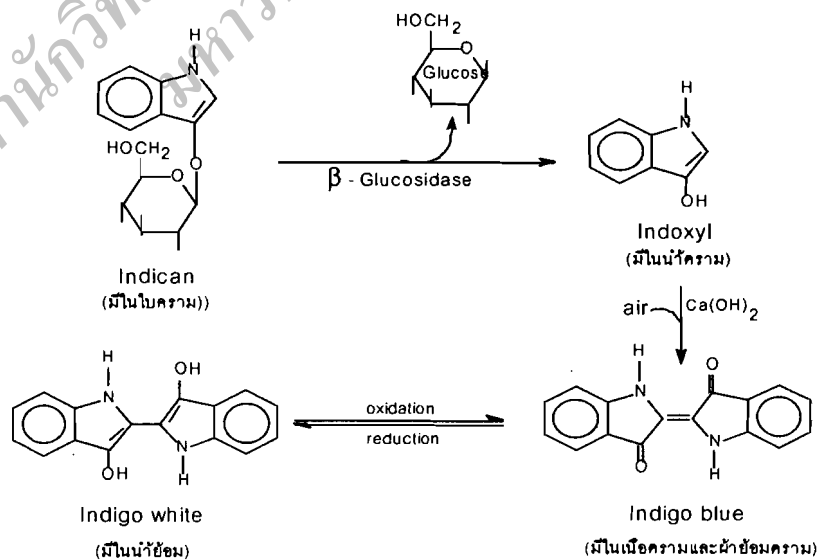
1	ปฏิกิริยาทั้งหมดของกระบวนการทำสีครามธรรมชาติ .....	1
2	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับสีและเส้นใย .....	11
3	การยึติดัดเส้นใยของกรดฟิคริกกับขนสัตว์หรือไหม .....	15
4	การเตรียมสีคราม .....	16
5	การติดสีอินดิโกของการย้อมสีแบบแวนด .....	16
6	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส .....	23
7	แสดงการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิกแอบซอร์พชัน .....	28
8	แสดงการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องของลำแสงผ่านวัตถุใส .....	29
9	ความสัมพันธ์ของการวัดระดับสีระหว่าง Hue Chroma และ Value ตามระบบ Munsell .....	31
10	CIELAB 1976 แสดง L , a , b Color pace .....	32
11	แสดงค่า $\Delta a^*$ และ $\Delta b^*$ ในระบบ CIELAB .....	35
12	แสดงค่า $\Delta h^*$ และ $\Delta C^*$ ในระบบ CIELAB .....	36
13	แสดงความหมายของ $\Delta h^*$ ในระบบ CIELAB .....	37
14	แสดงการเรียงชั้นทดสอบและผ้ามาตรฐานในการสอบความคงทนต่อแสง .....	57
15	แสดงชนิดและปริมาณ โลหะไอออนที่พบในดิน โคลนและดินลูกรัง .....	61
16	แสดงการเปรียบเทียบการดูดซับสีและการพ่นกสีของเส้นใยฝ้าย .....	62
17	แสดงค่าความเป็นสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) ของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ชนิดต่างๆ .....	63
18	แสดงตำแหน่งของการเป็นสีน้ำเงินของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ชนิดต่างๆ .....	64
19	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของโลหะไอออนที่เกาะบนเส้นใยฝ้าย .....	68
20	แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้าย โดยมี $Al^{3+}$ เป็นมอร์แดนท์ .....	69
21	แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้าย โดยมี $Fe^{2+}$ เป็นมอร์แดนท์ .....	70
22	แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้าย โดยมี $Mg^{2+}$ เป็นมอร์แดนท์ .....	71
23	แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้ายด้วยแรงดึงดูดระหว่าง ประจุ โดยมี $Na^+$ เป็นมอร์แดนท์ .....	72

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผ้าข้อมครามได้รับความนิยมนและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากเป็นผ้าที่ข้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว นอกจากนี้จะให้สีที่สวยงามแล้ว สีข้อมยังเกาะติดบนเส้นใยได้ดีและทนนาน ที่เรียกว่า “ไม่ตกสี” แต่ไม่สามารถผลิตได้ทันและเพียงพอกับความต้องการของตลาด เพราะกว่าจะได้มาซึ่งผ้าข้อมคราม 1 ผืนนั้นจะต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากกระบวนการผลิตยุ่งยากและซับซ้อน โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการเตรียมน้ำข้อม ถือได้ว่าเป็นหัวใจของการทำผ้าข้อมคราม ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับเทคนิคและความชำนาญของผู้เตรียมน้ำข้อม (ก่อนหม้อม) ด้วย ซึ่งกระบวนการเตรียมน้ำข้อมครามนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อนขึ้น ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ปฏิกิริยาทั้งหมดของกระบวนการทำสีครามธรรมชาติ

(อนูรัตน์ สายทอง. 2543 : 40)

เมื่อได้นำข้อมูลแล้ว เข้าสู่กระบวนการซ่อมซึ่งก็สำคัญไม่น้อยกว่ากัน ที่จะทำให้ได้ผ้าซ่อมครามที่มีเจดสีต่างๆกัน ถ้าหากซ่อมเพียงครั้งเดียวก็จะได้สีที่อ่อน หากซ่อมซ้ำหลายๆ ครั้งก็จะได้สีที่เข้มขึ้น จึงทำให้ผู้ทำผ้าซ่อมครามมีความอดทนสูง และทำให้ผ้าซ่อมครามแตกต่างจากผ้าซ่อมสีธรรมชาติชนิดอื่นๆ เช่น ผ้าซ่อมสีจากเปลือกมะม่วง เปลือกอินทนิล ประคู้ และหว่า เป็นต้น ที่ใช้เวลาในการซ่อมน้อยกว่า สีที่ได้เข้มและสวย มีความหลากหลายมากกว่า และขั้นตอนในการเตรียมผ้าซ่อมก็ไม่ยุ่งยาก แต่สีที่ได้จะมีความคงทนน้อยกว่าสีคราม ดังนั้นจึงทำให้ผู้ซ่อมสีธรรมชาติเหล่านี้หาวิธีที่จะทำให้สีติดบนเส้นใยได้ดี และมีความคงทน บางท้องถิ่นใช้สารส้ม สารประกอบอะลูมิเนียม โครเมียม คีบุก เหล็ก และทองแดง เป็นมอร์แดนท์ช่วยยึดติดระหว่างสีซ่อมกับเส้นใย แต่บางท้องถิ่นใช้สารมอร์แดนท์จากธรรมชาติ เช่น ใช้ดิน โคลน ดินลูกรัง แขนฝ้าย ก่อนซ่อมสี ซึ่งพบว่าจะได้เจดสีที่แตกต่างกัน และมีความคงทนของสีมากขึ้น (สุรีย์ พุทธระภูล. 2543 : 3)

จากการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นดังกล่าวมา ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าในดิน โคลนและดินลูกรังน่าจะมีไอออนของโลหะชนิดต่างๆ เช่น สารประกอบอะลูมิเนียม โครเมียม คีบุก เหล็ก และทองแดง ซึ่งมีสมบัติในการช่วยยึดติดของสีซ่อมธรรมชาติกับเส้นใยฝ้าย ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำสารมอร์แดนท์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้กับกระบวนการซ่อมผ้าครามเพื่อประหยัดเวลาในการซ่อมลง แต่ยังคงผ้าครามที่สวยงาม และผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของตลาด

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของโลหะไอออนในดิน โคลน และดินลูกรัง ที่มีผลต่อการยึดติดสีคราม
2. เพื่อศึกษาผลของโลหะไอออนที่มีปริมาณมาก ในดิน โคลน และดินลูกรัง ที่มีผลต่อการซ่อมสีครามกับเส้นใยฝ้าย ในปัจจัยต่างๆ ได้แก่
  - 2.1 ความคงทนของสีต่อแสง และต่อการซักล้าง บนเส้นใยฝ้าย
  - 2.2 ความแตกต่างของสี
  - 2.3 การยึดติดของโลหะไอออนบนเส้นใยฝ้ายกับสีคราม
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นสารมอร์แดนท์ของโลหะไอออน

## สมมติฐาน

1. โลหะไอออนในดิน โคลน และดินลูกรัง มีผลช่วยยึดติดสีครามกับเส้นใยฝ้ายเพิ่มขึ้น และทำให้เส้นใยฝ้ายมีความคงทนของสีต่อแสง และคงทนของสีต่อการซักล้างเพิ่มขึ้น
2. โลหะไอออนในดิน โคลน และดินลูกรัง มีผลทำให้จำนวนครั้งในการย้อมสีครามลดลง

### ตัวแปรอิสระ

1. ชนิดของโลหะไอออนที่อยู่ในดิน โคลน และดินลูกรัง
2. ปริมาณของโลหะไอออนที่มีต่อการติดสีคราม
3. ชนิดของโลหะไอออนต่อความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความคงทนของสีต่อแสง

### ตัวแปรตาม

1. ผลของโลหะไอออนที่ทำให้สีครามยึดติดกับเส้นใยฝ้ายมีความคงทนของสีต่อแสง และความคงทนของสีต่อการซักล้าง
2. ลักษณะการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ ไอออนกับสีครามและเส้นใยฝ้ายที่ทำให้สีครามที่ยึดติดบนเส้นใยฝ้ายมีความคงทนของสี

### ตัวแปรควบคุม

1. ระยะเวลาในการทำออร์แกนิก และการย้อม
2. ชนิดของเส้นใยฝ้ายเป็นฝ้ายเบอร์ 8
3. ปริมาตรของน้ำย้อม
4. ปริมาตรของสารละลายของโลหะไอออน

## ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษานิคมของโลหะไอออนที่อยู่ในดิน โคลนและดินลูกรังที่ได้จากบ้านวาใหญ่ อำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร  
การเตรียมน้ำย้อมคราม เป็นการเตรียมน้ำย้อมโดยวิธีทางเคมี



## นิยามศัพท์เฉพาะ

**ดินโคลน** หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด องค์ประกอบที่สำคัญในดิน ได้แก่ สารอินทรีย์ (organic matters) สารอนินทรีย์ (inorganic matters) และความชื้น (น้ำ)

**ดินลูกรัง** หมายถึง ดินที่มีลักษณะหยาบมีก้อนหินขนาดเล็กๆผสม มีสีแดง

**สารช่วยติด หรือมอร์แดนท์ (mordant)** หมายถึง ชนิดของโลหะไอออนที่เป็นตัวช่วยให้สีเกาะติดผ้าและซึมเข้าไปในเส้นใยผ้า ได้แก่ โลหะไอออนในดินโคลน และดินลูกรัง

**การเตรียมน้ำย้อมคราม** หมายถึง วิธีการเตรียมสีครามสำหรับย้อมเส้นใยผ้าโดยการใช้ผงครามมาตรฐาน และใช้ผงสังกะสีเป็นตัวรีดิวซ์ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (อนุรัตน์ สายทอง. 2543 : 40)

**ความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Wash fastness : WF)** หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสีย้อมบนเส้นใยผ้าที่ผ่านการย้อมสีแล้ว โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง เพื่อทดสอบการตกสีของเส้นใยผ้าต่อน้ำ

**ความคงทนของสีต่อแสงแดด (Light fastness)** หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสีย้อมบนเส้นใยผ้า ต่อการตากกลางแจ้งในระยะเวลา 18 ชั่วโมง เพื่อทดสอบการซีดจางของสี

**การดูดซับสี** หมายถึง ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับโดยเส้นใยผ้า

**การหนีสี** หมายถึง ปริมาณของสีย้อมที่ซีดจางบนเส้นใยผ้าได้มากที่สุด

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัย เรื่องการเปรียบเทียบชนิดของโลหะไอออนในดิน โคลน และดินลูกรังที่มีผลต่อการยึดติดของสีครามกับเส้นใยฝ้าย ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและตำราวิชาการที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### ส่วนประกอบของดินโคลนและดินลูกรัง

(กุลยา โอตากะ. 2547 : 471-473) ดิน คือ วัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลกอยู่บางๆ เกิดขึ้นจากผลของการแปรสภาพหรือผุพังของหินและแร่ โดยมีกระบวนการสร้างดินที่สำคัญ 2 แบบคือ

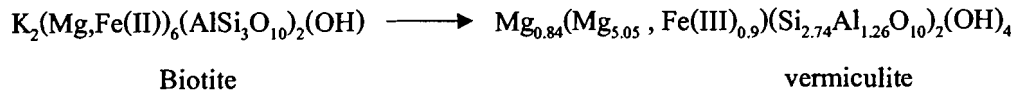
1. การผุพังโดยทางกายภาพ ทำให้หินเกิดการแตกกลายเป็นชิ้นเล็กๆและรวมเป็นดิน โดยวิธีการเกิดอาจเป็นเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกัน หรือเกลือที่อยู่ในหินเกิดการขยายตัวมากกว่าหินที่อยู่รอบๆทำให้เกิดการแตกหัก หรือเกิดจากการพัดพาของลม น้ำ หรือน้ำแข็ง ตลอดจนถึงรากต้นไม้ที่เข้าไปในเนื้อหินแล้วทำให้หินแตกแยกออกจากกัน

2. การผุพังโดยทางเคมี ปกติมักจะเกิดร่วมกับกระบวนการทางกายภาพ พบว่ากระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นทำให้เกิดดินและทำให้องค์ประกอบของดินมีสัดส่วนของสารไม่เท่ากัน มีหลายแบบได้แก่

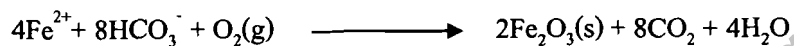
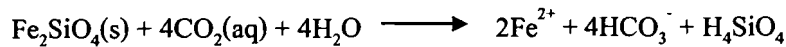
2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยเป็นกระบวนการที่มีน้ำมาเกี่ยวข้อง มักจะเป็นปฏิกิริยาหลักในการผุพังของหินของแร่ธาตุ ตัวอย่าง เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต(aluminosilicate)ที่เกิดการผุพังโดยปฏิกิริยาดังนี้

$$\text{Aluminosilicate (s)} + \text{H}_3^+ \text{ (aq)} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Clay mineral (s)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (aq)} + \text{cation (aq)}$$
พบว่าปฏิกิริยานี้จะให้โลหะไอออนได้แก่  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  และให้ดินเหนียวที่มีค่าพีเอชต่ำกว่ากว่าสารตั้งต้นด้วย

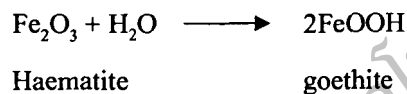
2.2 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation และ Reduction) ตัวอย่างออกซิเดชันในดิน เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอไทท์ (biotite) ทำให้เกิดเป็นชั้นแบบ 2:1 ของดินเหนียวประเภท vermiculite ดังสมการ



ซึ่งบางครั้งออกซิเดชันและรีดักชันจะเกิดด้วยกันดังนี้



2.3 ไฮเดรชัน (Hydration) เป็นกระบวนการที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ตัวอย่างที่เกิดได้แก่



ส่วนประกอบของดินพบว่าในส่วนของดินที่เป็นของแข็งจะมีสารอินทรีย์อยู่ 5% และอีก 95% เป็นสารอนินทรีย์ดังนี้

**สารอนินทรีย์ของดิน** สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่ในทราย คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ และผสมกับแร่ธาตุคาร์บอเนต ส่วนในดินเหนียวเป็นแร่ธาตุซิลิเกตซึ่งเกิดจากหินและยังมีสารอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดสีซึ่งอาจเป็นออกไซด์ของเหล็ก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) หรือแมงกานีสเขียวและไทเทเนียม ถ้าพิจารณาในรูปของธาตุในดินจะสรุปชนิดของธาตุหลักและธาตุรองที่พบมากน้อยในตาราง 1 ส่วนธาตุที่มีปริมาณน้อยที่พบในดินสรุปได้ในตาราง 2

ตาราง 1 แสดงสัดส่วนของธาตุที่มีปริมาณมากและน้อยในดิน

Major elements / %		Minor elements / mgkg <sup>-1</sup>	
Si	30-45	Zn	10-250
Al	2.4-7.4	Cu	5-15
Fe	1.2-4.3	Ni	20-30
Ti	0.3-0.7	Mn	~400
Ca	0.01-3.9	Co	1-20
Mg	0.01-1.6	Cr	10-50
K	0.2-2.5	Pb	1-50
Na	tr-1.5	As	1-20

tr = trace. (กุลยา โอตากะ. 2547 : 481)

ตาราง 2 แสดงความเข้มข้นของธาตุของโลหะที่มีปริมาณน้อยและปานกลางในดินที่ไม่ถูกปนเปื้อน  
ตัวเลขในวงเล็บเป็นช่วงความเข้มข้น

Elements	World <sup>a</sup>	World <sup>b</sup>	World <sup>b</sup>	USA <sup>a</sup>	canada <sup>a</sup>
Arsenic			6 (0.1-4)		
Cadmium	0.5		0.06 (0.01-7)		<1
Chromium	200	(100-300)	100 (5-3000)	53	43 (10-100)
Cobalt	8	(10-15)	8 (1-40)	10	21 (5-50)
Copper	20	(15-40)	20 (2-100)	25	22 (5-50)
Lead	10	(15-25)	10 (2-200)	20	20 (5-50)
Manganese	850	(500-1000)	850 (100-4000)	560	520 (100-1200)
Mercury	0.01			0.071	0.059 (0.005-0.1)
Nickel	40	(20-30)	40 (10-1000)	20	20 (5-50)
Selenium	0.01		0.5 (0.1-2)	0.45	0.26 (0.03-2)
Strontium	350	(50-100)	300 (50-1000)	240	210 (30-500)
Zinc	50		50 (10-300)	54	74 (10-200)

(กุลยา โอตากะ. 2547 : 481)

<sup>a</sup>Data reported in McKeague J.A. and M.S. Wolynetz, Background levels of minor elements in some Canadian Soils, Geoderma 24 (1980),299-307.

<sup>b</sup>Data reported in Allaway, W.H. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. Advances in Agronomy, 29 (1968), 235-74.

สารอินทรีย์ของดิน ปริมาณสารอินทรีย์ในดินนั้นพบว่าจะมีมากบริเวณผิวดิน ซึ่งจะมีปริมาณต่างๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สารอินทรีย์ในดินแบ่งเป็น 2 ชนิดกว้างๆ คือ

1. **กลุ่ม humic material** เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากการสลายทางชีวภาพของสารจากซากต้นไม้โดยอาศัยแบคทีเรียและรา เป็นกลุ่มคอลลอยด์ที่มีมากในดิน และมีบทบาทที่สำคัญต่อสมบัติของดิน เช่น การรวมกับแคทไอออนในดิน แบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

Fulvic acid (FA) มีโมเลกุลขนาดเล็ก ละลายได้ในสารละลายพีเอชต่างๆ

Humic acid (HA) มีโมเลกุลขนาดกลาง ละลายได้ในเบสอ่อน จะไม่ละลายในกรดอ่อน

Humic acid (HA) มีโมเลกุลขนาดกลาง ละลายได้ในเบสอ่อน จะไม่ละลายในกรดอ่อน

Humic acid (HA) มีโมเลกุลขนาดกลาง ละลายได้ในเบสอ่อน จะไม่ละลายในกรดอ่อน

2. **กลุ่ม non humic material** ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์โพลีเมอร์ ได้แก่ สารประกอบของโพลีแซคคาไรด์ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่

### สารมอร์แดนต์ (Mordant)

สารมอร์แดนต์หรือสารช่วยย้อมติด เป็นตัวที่ช่วยให้สีย้อมติดอยู่บนผ้าและเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ สารมอร์แดนต์นี้เป็นสารประกอบที่ช่วยให้เส้นใยสามารถดูดซับน้ำสีได้ และในขณะเดียวกัน สารมอร์แดนต์แต่ละชนิดยังมีผลให้เกิดสีที่แตกต่างกัน

สารมอร์แดนต์ หมายถึง สารประกอบที่ช่วยให้สีย้อมติดแน่นกับเส้นใยได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งสีธรรมชาติส่วนใหญ่ติดวัสดุสิ่งทอได้ไม่คงทน

สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายได้ในน้ำ (มีน้อยมากที่ไม่ละลายน้ำ เช่น คราม) และทำปฏิกิริยากับเส้นใยด้วยตนเอง จึงเป็นสีที่ย้อมติดง่ายและเมื่อนำไปซักล้าง สีก็สามารถละลายน้ำออกมาได้ง่ายเช่นกัน (ขวัญฤทัย และ เตือนใจ. 2530, อ้างถึงใน เทียนศักดิ์. 2543 : 15) การใช้สารมอร์แดนต์ เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพความคงทนของสีย้อมจากธรรมชาติ สารมอร์แดนต์จะสามารถรวมกับโมเลกุลของสีเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสี (metal dye complexes) ทำให้สี

สามารถผนึกอยู่ในเส้นใยได้ดีขึ้น ทำให้โมเลกุลของสีมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีความคงทนมากขึ้น บางครั้งสารมอร์แดนท์จะเป็นสารให้สีด้วย และสามารถใช้ได้ทั้งช่วงก่อนย้อม ขณะย้อม และ หลังย้อม สารมอร์แดนท์จะทำปฏิกิริยากับสีย้อมผ่านพันธะ โควาเลนต์ หรือ พันธะ โคออร์ดิเนต เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “สารประกอบเชิงซ้อนประเภทวงแหวน” ทั้งนี้ สารที่นิยมใช้เป็นสารมอร์แดนท์ได้แก่ เกลือของโลหะบางชนิด เช่น อลูมิเนียม ทองแดง เหล็ก โครเมียม ฯลฯ รวมทั้งกรดบางชนิด เช่น กรดแทนนิก กรดทาทารริก กรดอะซิติก ฯลฯ เมื่อนำผ้าไป ต้มในน้ำย้อมที่มีสารช่วยติดละลายอยู่ เกลือของโลหะจะเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งทำให้ได้ สารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำแทรกตัวอยู่ในเส้นใย เมื่อสีซึมเข้าไปจับ สารมอร์แดนท์จึงไม่ทำให้สีละลายออกมาขณะทำการซักล้าง

#### ชนิดของสารมอร์แดนท์

Moeyes (1993) ได้กล่าวถึง สารมอร์แดนท์ที่นิยมใช้ในการย้อมสีธรรมชาติไว้ดังนี้

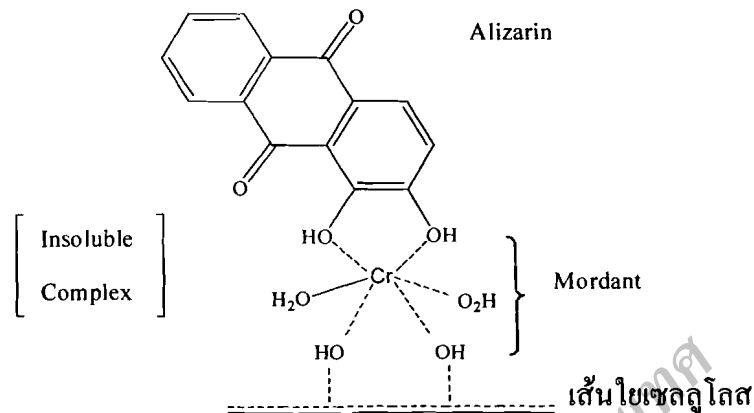
1. สารส้ม ( Potassium Aluminium Sulphate ) ใช้ปริมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักวัสดุ ในการย้อมผ้าฝ้ายมักจะใช้ร่วมกับโซดาแอช 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุ และใน การย้อมไหมมักจะใช้ร่วมกับกรดทาทารริกหรือครีมออฟทาร์ทปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุ โดยสามารถใช้ ได้ทั้งก่อนย้อมและหลังย้อมสีธรรมชาติที่ใช้สารส้มเป็นสารมอร์แดนท์นี้ เมื่อย้อม แล้วจะให้สีเหมือนกับสีที่สกัดได้ สีที่ได้จึงมีความสดใส
2. จุนสี (copper sulphate) ใช้ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุ นิยมใช้ ร่วมกับน้ำส้มสายชูปริมาณครึ่งหนึ่งของวัสดุ (วัสดุ 100 กรัมใช้น้ำส้มสายชู 50 มิลลิกรัม) สามารถ ใช้เป็นสารมอร์แดนท์ได้ทั้งก่อนและหลังย้อม การใช้จุนสีเป็นสารมอร์แดนท์จะทำให้สีที่ย้อม ได้เป็นสีออกเขียว ตัวอย่างเช่น เมื่อย้อมด้วยแก่นขนุนที่ให้สีเหลือง โดยใช้จุนสีเป็นสารมอร์แดนท์ สีที่ย้อมได้จะเป็นสีเหลืองอมเขียวหรือสีเขียวขี้ม้า
3. เกลือเหล็กหรือสนิมเหล็ก (Ferrous sulphate) ใช้ปริมาณ 3-6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักวัสดุ ไม่นิยมใช้ร่วมกับสารใดและใช้เป็นสารมอร์แดนท์ภายหลังการย้อมเท่านั้น การย้อมโดยใช้เกลือเหล็กเป็นสารมอร์แดนท์จะทำให้สีที่ย้อม ได้คล้ำลง ถ้าใส่มากเกินไปจะคล้ำยิ่งขึ้น จนเป็นสีดำ
4. โครม (Potassium Dichromate) ใช้ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุ นิยมใช้ร่วมกับน้ำส้มสายชูปริมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักวัสดุเช่นเดียวกับเมื่อใช้ร่วมกับจุนสี ใช้ เป็น สารมอร์แดนท์ก่อนย้อมหรือหลังย้อมก็ได้ เมื่อย้อมแล้วจะทำให้ได้สีออกเป็นสีเหลืองทอง

สคไล การย้อมแบบนี้การติดสีแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นที่ 1 สีย้อมจะซึมเข้าภายในเส้นใย ชั้นที่ 2 สารมอร์แดนต์จะซึมเข้าเส้นใย และชั้นที่ 3 สีกับสารมอร์แดนต์ทำปฏิกิริยากันภายในเส้นใย กลายเป็นสารประกอบสีตัวใหม่ กระบวนการขั้นที่ 2 แอนไอออนของสารมอร์แดนต์ Dichromate เมื่อเข้าไปภายในเส้นใยแล้วจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบโครมิกโดยพันธะเคมีของ cystine ( $-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-$ ) ของเส้นใย ทำปฏิกิริยากับเส้นใยเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยสีย้อม 1 หรือ 2 โมเลกุลล้อมรอบโครเมียมหนึ่งอะตอม ด้วยแรงไอออนิก

### กลไกการช่วยติดของสารมอร์แดนต์

การย้อมแบบใช้สารมอร์แดนต์ (Mordant dye) เป็นการย้อมที่ใช้มอร์แดนต์ เพื่อช่วยในการติดทนของสีในเส้นใย ทำให้สีมีความคงทน ไม่ตกหรือซีดง่าย สารมอร์แดนต์ ที่ใช้คือ สารละลายของเกลือโลหะ เช่น เกลือของอลูมิเนียม ทองแดง โครเมียม ดีบุก เหล็ก และแทนนิน การย้อมทำได้ 3 ลักษณะ คือ ย้อมสารละลายมอร์แดนต์ก่อน ย้อมสารละลายมอร์แดนต์ และสี พร้อมๆกัน และการย้อมสารละลายมอร์แดนต์หลังจากการย้อมสี ปฏิกิริยาในการย้อมแบบนี้คือ เมื่อเส้นใยได้ผ่านการย้อมสีและการย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนต์จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรง (Strong complex) กับสีและเส้นใย เช่น การย้อมด้วยสีอะลิซาริน กับเส้นใยพวกลูเซลลูโลส โดยมีโครมเป็นสารละลายมอร์แดนต์ ทำให้สีที่ได้มีความคงทนมากขึ้น ซึ่งมีกลไกเกิดขึ้นขณะย้อม ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสีย้อมผ่านสารละลายไปยังผิวของเส้นใย
2. การดูดซับสีที่ผิวของเส้นใย ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของสีย้อมเข้าไปสัมผัสกับโมเลกุลของเส้นใย
3. การแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปภายในเส้นใยและสามารถเกาะติดบนเส้นใยได้ ( สุภาพ ฐ์การ. 2544 :15-19) ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับสีและเส้นใย  
(สุภาพ รุ่งการ. 2544 :19)

### การใช้สารมอร์แดนท์ในกระบวนการย้อมสี

การนำสารมอร์แดนท์มาใช้ในการย้อมผ้ามีหลายวิธี สุภาพ รุ่งการ(2544 : 16)  
ได้สรุปไว้ดังนี้

1. การใช้สารมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี (The chrome mordant method) เป็น  
การนำผ้าไปย้อมสารมอร์แดนท์ก่อนการย้อมสี วิธีนี้ใช้น้อยกว่าวิธีอื่นๆ โดยนำสิ่งที่จะย้อมที่  
ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ไปใส่ในภาชนะที่บรรจุสารมอร์แดนท์ ส่วนมากจะทำให้ร้อนหรือเดือด  
นานระหว่าง 15 นาทีถึง 1 ชั่วโมงก่อนปล่อยแช่ทิ้งไว้ในสารละลายต่ออีก 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง  
จากนั้นจะนำสิ่งที่ย้อมออกล้างทำความสะอาด ก่อนทำให้แห้งหรือนำไปย้อมสีต่อ

2. การใช้สารมอร์แดนท์พร้อมกับการย้อมสี (The metachrome method) เป็นการ  
นำสารมอร์แดนท์ผสมรวมกับสีย้อม แล้วนำผ้าลงย้อม พร้อมๆกันทำให้ประหยัดเวลาและพลังงาน  
การย้อมใช้อุณหภูมิเดียวกันกับการย้อมสี ทั้งนี้การเติมสารมอร์แดนท์ จะมีทั้งที่เติมในน้ำย้อม  
ก่อนย้อม เติมหลังการย้อมผ่านไประยะเวลาหนึ่ง เติมเป็นช่วงๆระหว่างการย้อม และการเติม  
สารมอร์แดนท์เมื่อการย้อมใกล้สิ้นสุด การย้อมแบบนี้มีข้อเด่นที่ลดขั้นตอนของกระบวนการ  
ลง แต่สีที่ได้มักไม่คงทนเท่าการย้อมแบบแรก หลังการย้อมแล้วสิ่งที่ย้อมอาจถูกปล่อยแช่ไว้ใน  
น้ำย้อมจนเห็นตัวลงการย้อมแบบนี้มีข้อด้อยที่น้ำย้อมที่ใช้แล้วอาจไม่สามารถนำกลับมาใช้



ใหม่ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสีย สิ่งที่มีคุณค่าในน้ำย้อมแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัดน้ำเสียด้วย

3. การใช้สารมอร์แดนท์หลังการย้อมสี (The afterchrome method) เป็นการนำผ้าไปย้อมสารมอร์แดนท์หลังจากการย้อมสีแล้ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี เป็นวิธีที่ใช้กันมาก เช่น เกลือของดีบุก เกลือของเหล็ก แทนนินหรือกรดแทนนิก การย้อมสารมอร์แดนท์ แบบนี้อาจใช้วิธีการย้อมแยกอิสระหรือในบางกรณีสารมอร์แดนท์จะถูกเติมลงไปใต้น้ำย้อมในช่วง 5 ถึง 10 นาทีสุดท้าย ก่อนนำวัสดุที่แช่ในน้ำย้อมออก บางกรณีผู้ย้อมจะแช่วัสดุในสารละลายเกลือดีบุก หรือเกลือของเหล็กหลังการย้อมสีเพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงเฉดสี สารมอร์แดนท์ นอกจากจะทำให้สีติดแล้วยังพบว่ามีส่วนสำคัญต่อสมบัติความคงทนของสีที่ย้อม ได้ต่อแสงด้วย

## สีย้อมและทฤษฎีการย้อมสี

### 1. สีย้อม (dyestuffs)

สีย้อม คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปใน โมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก(ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้น เกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400–700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาออกมาเป็นสีต่างกันไป ทั้งนี้เราสามารถแบ่งสีย้อมออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สีย้อมธรรมชาติ (natural-dye stuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชและสัตว์ สีย้อมที่มาจากส่วนประกอบพืช เช่น ส่วนลำต้น ส่วนดอก ส่วนที่เป็นเปลือก ส่วนที่เป็นใบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นคราม สีเหลืองจากเนื้อไม้ไผ่ สีแดงจากดอกกรรณิการ์ สีแดงจากรากต้นเข็ม ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ เช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น

(สารพืคข้างอุครธานี. <http://udelec.i8.com/panvade1.htm>)

**1.1 เคมีของสารให้สีและสีย้อม** สารให้สีนั้นมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ สารประกอบอนินทรีย์ที่ให้สีมักจะเป็นของผสมออกไซด์ของโลหะ หรือสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่นออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น สีประเภทนี้เคยใช้เป็นสีย้อมในอดีตโดยสารให้สีเหล่านี้จะเกิดการตกตะกอนในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ให้ความคงทนต่อแสงมาก ในประเทศไทยมีการย้อมสีในกลุ่มนี้ในอุตสาหกรรมคริวเรือน โดยการหมักโคลน และดินแดง ซึ่งมีสารพวกอะลูมิเนียมซิลิเกต และส่วนที่ให้สีออกไซด์ของโลหะที่มีอยู่ในโครงสร้างของดินส่วนมากโลหะที่ใช้ได้แก่ เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์และโครเมียม ตัวอย่างเช่น ให้สีเหลืองจากตะกั่ว และโครเมียม สีกากี้ที่ใช้อยู่ในอดีตได้จากออกไซด์ของเหล็กผสมออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสีจากแร่โลหะดังกล่าวเป็นโลหะหนัก ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในปัจจุบันจึงหมดความนิยมไป ส่วนสารให้สีในกลุ่มสารประกอบอินทรีย์มักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนต่ออยู่กับอะตอมของธาตุอื่นๆ ซึ่งส่วนมากเป็นไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงและมีโครงสร้างประกอบด้วยวงเบนซีนหรือเบ็นโซควิโนอิด (benzoquinoid) ตามปกติเบนซีนไม่มีสี แต่หากมีกลุ่มอะตอมอื่นๆที่เหมาะสมมาแทนที่ไฮโดรเจนอะตอม อะตอมใดอะตอมหนึ่งหรือหลายอะตอมในวง จะได้สารประกอบที่มีสี สารให้สีอาจประกอบด้วยวงเบนซีน วงเดิวหรือมากกว่า ลักษณะและสมบัติของสารให้สีขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและตำแหน่งที่กลุ่มของอะตอมอื่นๆมาเกาะติดอยู่บนตำแหน่งต่างๆของโครงสร้างนั้นๆ (สุริย์ พุตระกุล. 2543:3)

**1.2 ชนิดของสีย้อม** สีย้อมจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ ได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

**1.2.1 จำแนกตามแหล่งที่มาของสี ได้แก่**

**1.2.1.1 สีสังเคราะห์หรือสีเคมี** เป็นสารสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้นจาก

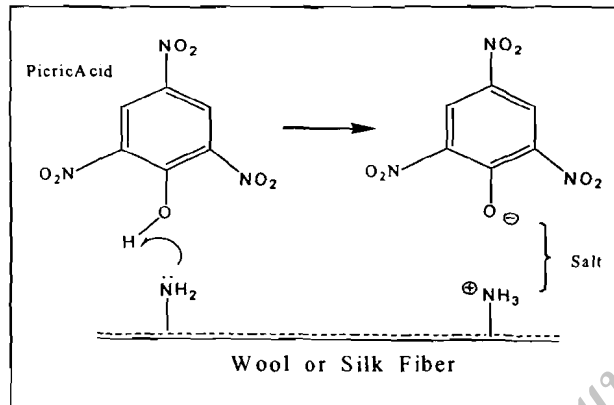
ปฏิกิริยาเคมีให้มีโครงสร้างที่เกิดสีต่างๆ ได้มากมาย มีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีสควมีความคงทนไม่ตกสีง่าย ทนต่อการซักฟอกและตากแดด สามารถปรับให้เล็กรวมกับเส้นใยต่างๆ ได้ดี ใช้งานง่ายและเก็บรักษาได้ดี สามารถผลิตได้ในปริมาณมากเพียงพอกแก่การใช้และราคาไม่แพง สีสังเคราะห์เป็นที่นิยมและมีการพัฒนาจนถึงจุดอิมิตัวทางด้านเคมีและวิธีการย้อม พบว่ามีข้อเสียได้แก่ ทำให้เกิดมลพิษสูงในกระบวนการผลิต น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อม สีเคมีทำให้ดินและน้ำเสีย สีเคมีหลายชนิดเมื่อสลายตัวจะมีพิษต่อผิวหนัง

1.2.1.2 สีจากธรรมชาติ สีธรรมชาติ เป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ และแร่ธาตุต่างๆ สีที่ได้จากพืชมักเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากส่วนต่างๆของพืชตั้งแต่ราก เปลือก ลำต้น แก่น ไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด สีจากสัตว์มักเป็นสีที่ได้จากแมลงตากล้างเช่น โคชินิล เป็นสีแดงส้มที่ได้จากตัวแมลง *Coccus cacti* จากเม็กซิโก และเคอร์มัสเป็นสีแดง แดงส้ม ที่ได้จากแมลงปีกแข็งขนาดเล็ก *Coccus illicis* พบมากในยุโรป ส่วนสีจากครั่งซึ่งพบมากในประเทศไทยนั้นเป็นสีในกลุ่มสีแดงที่ขับออกมาจากตัวแมลง *Laccifera lacca* หรือเรียกกันทั่วไปว่า ครั่ง นิยมใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สีจาก จุลินทรีย์พบมากในรา ยีสต์ และแบคทีเรีย สีแดงจากรา *Monascus sp.* ได้จากการหมักราบนข้าว ประเทศจีนทำเป็นอุตสาหกรรม สีผงใช้เป็นสีผสมอาหารและ ได้พิสูจน์แล้วว่าไม่มีสารพิษเจือปน เช่น ย้อมจากขมิ้นเป็นสีแดง ย้อมมะเกลือเป็นสีดำ ย้อมขมิ้นชันหรือแก่นขมิ้น เป็นสีเหลือง ย้อมลูกหว้าเป็นสีม่วง ย้อมคราม เป็นสีน้ำเงิน ย้อมเปลือกไม้โกงกางเป็นสีน้ำตาล ย้อมลูกสมอหรือลูกกวาว หรือเปลือกมะกรูด เป็นสีเขียว เป็นต้น สีธรรมชาติมีข้อดีมากมาย ดังต่อไปนี้ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สำนักบริการวิชาการ. 2538 : 1)

1. ให้สีที่เย็นตา มองแล้วรู้สึกสบายตา
2. ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของผู้ย้อมและผู้บริโภค
3. สามารถหาง่ายในท้องถิ่น ไม่ต้องเสียเงินซื้อ
4. เพื่ออนุรักษ์วัฒนธรรมดั้งเดิมให้คงอยู่
5. มีความคิดสร้างสรรค์ในการคิดค้นหาสีที่แปลกใหม่
6. ประหยัดค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการย้อม
7. ช่วยอนุรักษ์ต้นไม้และสิ่งแวดล้อม

## 1.2.2 จำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม

1.2.2.1 สีไคเร็ก (Direct Dyes) หรือสีย้อมแบบตรง (Direct dyeing) เป็นการย้อมเส้นใยเซลลูโลส ย้อมได้ง่าย และติดสีได้ดี เพราะเส้นใยเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนเส้นใยที่เป็นพวกพอลิเอปไทด์ ได้แก่ ขนสัตว์หรือไหม โมเลกุลของเส้นใยมีส่วนที่เป็นทั้งกรดและด่าง ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะเกิด ปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นหมู่กรดหรือด่างใน โมเลกุลของสีเกิดเป็นเกลือขึ้น ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบไอออนิก ดังภาพประกอบ 3



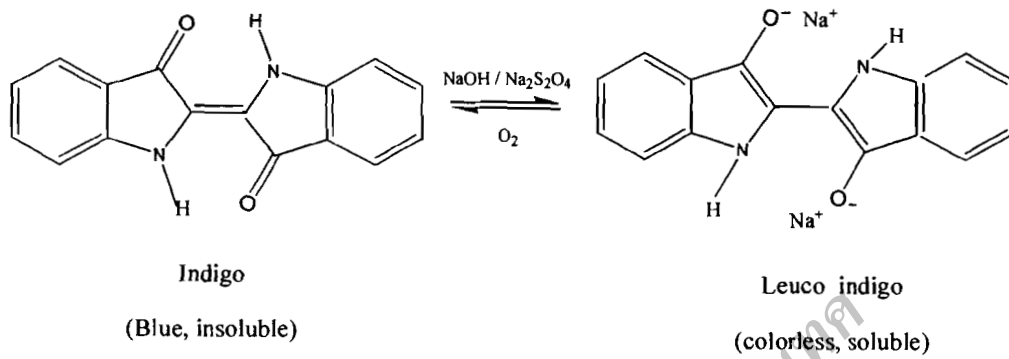
ภาพประกอบ 3 การย้อมติดเส้นใยของกรดพิกริกกับขนสัตว์หรือไหม

(สุภาพ ฐักร. 2544 :17)

1.2.2.2 สีเบสิก (Basic Dyes) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวก บางครั้งเรียกว่า สีแคทไอออนิก เป็นสีที่สามารถเกาะติดเส้นใยโปรตีน แต่ไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจะย้อมติดได้เมื่อใส่เมอร์แคปต์ เช่น กรดแทนนิก มีลักษณะเด่นคือมีความสดใและความเข้มของสีดีมาก สีชนิดอื่นเทียบไม่ได้ แต่เมื่อใช้ย้อมเส้นใยขนสัตว์และฝ้ายแล้ว ความคงทนต่อการซักและต่อแสงต่ำมาก จึงไม่นิยมใช้สีประเภทนี้

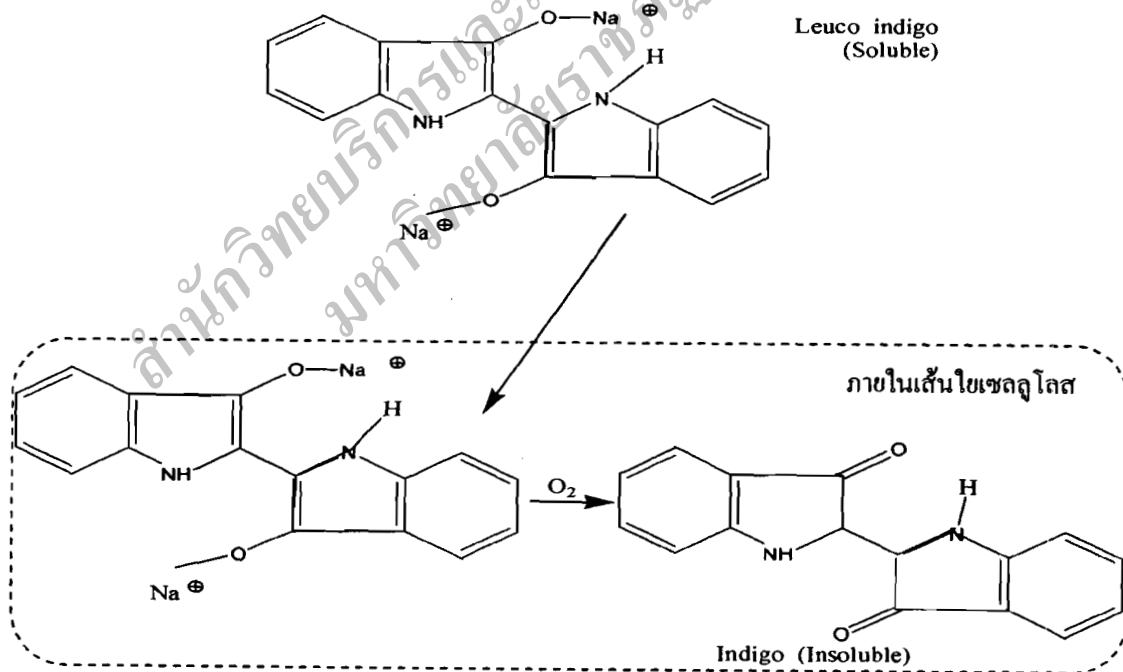
1.2.2.3 สีแอซิด (Acid Dyes) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีประจุลบ บางครั้งเรียกว่า สีแอนไอออนิก ส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายสีโคเร็กมากแต่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า ส่วนใหญ่ไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส หรือเกาะได้น้อย แต่สามารถเกาะติดเส้นใยโปรตีนและไนลอนได้ดี

1.2.2.4 สีแวต (Vat Dyes) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้เมื่อทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์และตัวรีดิวซ์ เช่นผงสังกะสี สารประกอบที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส โดยเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย ทำให้สีมีความคงทนต่อการซักดีมาก เช่น การย้อมสีครามจากต้นคราม (Indigo) ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 การเตรียมสีคราม

(รูปภาพ ฐักร. 2544 : 17)



ภาพประกอบ 5 การติดสีของอินดิโกของการย้อมแบบแวด

(รูปภาพ ฐักร. 2544 : 18)

1.2.2.5 แบบใช้สารมอร์แดนต์ (Mordant dye) เป็นการย้อมที่ใช้สารมอร์แดนต์ เพื่อช่วยในการติดทนของสีในเส้นใย ทำให้สีมีความคงทน ไม่ตกหรือซีดง่าย สารมอร์แดนต์ที่ใช้ คือ สารละลายของเกลือ โลหะ เช่น เกลือของอลูมิเนียม ทองแดง โครเมียม ดีบุก เหล็ก และแทนนิน การย้อมสารมอร์แดนต์ทำได้ 3 ลักษณะ คือ ย้อมสารละลายมอร์แดนต์ก่อนย้อม ย้อมสารละลายมอร์แดนต์และสีพร้อมๆกัน และการย้อมสารละลายมอร์แดนต์หลังจากการย้อมสี ปฏิบัติการในการย้อมแบบนี้ คือ เมื่อเส้นใยได้ผ่านการย้อมสีและการย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนต์จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรง (Strong complex) กับสีและเส้นใย เช่น การย้อมด้วยสีอะลิซาริน กับเส้นใยพวกเซลลูโลส โดยมีโครมเป็นสารละลายมอร์แดนต์ ทำให้สีที่ได้มีความคงทนมากขึ้น

## 2. ทฤษฎีการย้อมสี

(อัจฉราพร ไสละสูต. 2527 : 65-69) กระบวนการย้อมสีจะเกิดขึ้นในขณะที่เส้นใยหรือสิ่งทออยู่ในสารละลายของน้ำสีหรือ ในน้ำที่มีอนุภาคของสีแขวนลอยอยู่ การที่อนุภาคของสีติดเส้นใยได้จะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวทำหน้าที่ระหว่าง โมเลกุลสีให้ติดอยู่กับเส้นใย ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวนี้จะมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของสีกับน้ำ การติดของสีในเส้นใยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความสามารถที่โมเลกุลของสีจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยกับ โมเลกุลของสีย้อม ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบเคมีใหม่ การรวมตัวของสีและเส้นใยนั่นไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป เพียงเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพเห็นเป็นสีต่างๆเท่านั้น

เมื่อ โมเลกุลของสีซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยแล้ว จะต้องมีการจับอย่างมาแยกตัวสีออกจากน้ำและเกาะติดเส้นใย สี โมเลกุลใหม่ที่อยู่ในน้ำย้อมภายนอกเส้นใยจะซึมเข้าไปแทนที่เส้นใยจึงค่อยๆมี โมเลกุลของสีรวมตัวกันมากขึ้น สีจะเข้มมากขึ้นตามลำดับ เส้นใยจะดูดติดไว้ได้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับกลุ่มเคมีที่ทำให้ปฏิกิริยาของตัวสีและเส้นใยนั่นๆ

อำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของน้ำและสีจึงจะย้อมได้ผลดี คุณสมบัติเช่นนี้ทำให้เกิดขึ้นได้เมื่อ โมเลกุลของสีมีหมู่อะตอมที่เรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดภาวะดูดติดกับเส้นใยแล้วเกิดพันธะทางเคมียึดกันแน่น อิทธิพลเชิงเคมีที่ทำให้สียึดติดกับเส้นใยได้แบ่งกว้างๆ เป็น 4 ชนิดได้แก่ 1) พันธะไฮโดรเจน 2) แรงแวนเดอร์วาลส์ 3) แรงไอออนิก และ 4) พันธะโคเวเลนต์

**พันธะไฮโดรเจน** ไฮโดรเจนในหมู่ OH จะยึดอย่างหลวมๆกับอะตอมอื่นได้ เช่นการ ยึดตัวของไฮโดรเจนกับออกซิเจนทั้งภายใน โมเลกุลและระหว่าง โมเลกุลของน้ำทำให้น้ำมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง เส้นใยและสีเกือบทุกชนิดมีกลุ่ม OH อยู่จำนวนมาก โดยเฉพาะในเซลลูโลสและใยโปรตีนมีเป็นจำนวนมากทำให้สามารถดูดสีได้มาก

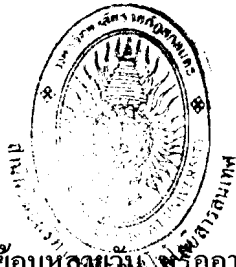
**แรงแวนเดอร์วาลส์** แรงนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นแรงที่ทำให้อะตอมและ โมเลกุลเข้ามายึดติดกันตัวเอง โมเลกุลของเส้นใยและสีย้อมมีเอกลักษณ์พิเศษทำให้เกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดติดกัน ได้กล่าวคือ มีโมเลกุลยาวและแบน เช่น โมเลกุลของเซลลูโลส สีแควดหรือสีไคเรกท์หรือระหว่างใยของเซลลูโลสอะซิติทกับสีย้อมเพอร์ส หรือเมื่อโมเลกุลทั้งสองมีอัตราส่วนของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนทั้ง อะลิฟาติก หรือ อะโรมาติก มีจำนวนใกล้เคียงกัน น้ำมีส่วนช่วยให้สีและเส้นใยยึดติดกันด้วย กลุ่มไฮโดรคาร์บอนพยายามที่จะแยกตัวออกจากน้ำแล้วรวมกลุ่มกันเอง ซึ่งเรียกว่าเป็นการรวมตัวแบบพันธะไฮโดร โฟบิก (hydrophobic bonding )

**แรงไอออนิก** การยึดรวมตัวระหว่างเส้นใยและสีแบบนี้เกิดขึ้นได้โดยอาศัยความต่างศักย์ไฟฟ้า เส้นใยเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุไฟฟ้าลบ ส่วนใหญ่สีที่ละลายน้ำเป็นแอนไอออน การดูดซึมเกิดขึ้นไม่ได้ ต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยก่อนที่สีจะเข้ามาใกล้พอที่แรงแวนเดอร์วาลส์จะทำหน้าที่ได้ การเติมเกลือลงในน้ำย้อมใยเซลลูโลสและกรดลงในน้ำย้อมใยโปรตีนหรือไนลอน เพื่อเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในเส้นใย

**พันธะโคเวเลนต์** สีย้อมสามารถยึดติดเส้นใยโดยใช้พันธะโคเวเลนต์ได้ดีกว่าพันธะชนิดอื่นที่กล่าวมา ทำให้แยกตัวออกจากกันได้ยาก ซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างอะตอมของสีหนึ่งหรือสองอะตอมซึ่งมีอยู่ใน โมเลกุลของสีย้อมกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส โดยเฉพาะสีรีแอคทีฟ

**2.1 ปัจจัยที่สำคัญในการย้อมสี** องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีมีมากมาย ทั้งองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญ พอสรุปได้ดังนี้

**2.1.1 อัตราเร็วแห่งการย้อมสี** อัตราการซึมของโมเลกุลของสีเข้าไปในเส้นใยอย่างเชื่องช้าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเส้นใยหรือด้ายในผ้าชนิดต่างๆ จะทำให้ การย้อมสีเป็นไปอย่างเชื่องช้า และมักจะใช้เวลาย้อมนานมากกว่า จึงจะย้อมสีได้ถึงขั้นสมบูรณ์ ( คือสีติดทั่วเสมอหมดจนถึงแกนกลางของเส้นใย ) งานอุตสาหกรรมเรื่องการประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นปัจจัยสำคัญ จึงจำเป็นต้องทำให้เวลาย้อมสีสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ อาจเป็นเวลาเพียง 2-3 นาที หรือ 2-3 วินาที ยิ่งดีถ้าทำได้ แต่โดยทั่วไปมักใช้เวลาย้อมประมาณหนึ่งชั่วโมงหรือมากกว่าเพียงเล็กน้อย แต่การย้อมเส้นใยสังเคราะห์ชนิดใหม่ๆ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลแน่นมาก ยากแก่การแทรกซึม



165016

๘๖  
๒๑๖.๐  
๗๒๗๗

19

ของสี อาจจะต้องใช้เวลาในการย้อมหลายวัน หรืออาจเป็นสัปดาห์ก็ได้ นอกจากจะใช้สารอื่นช่วยเร่งการซึมของสี จึงกล่าวได้ว่าขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีผลต่อความเร็วหรือช้าในการย้อมสีมาก

ความเร็วในการซึมตัวของโมเลกุลของสีเข้าไปในเส้นใยนั้น วัดได้จากค่าสัมประสิทธิ์แห่งการแพร่ (diffusion coefficient) หมายถึง ปริมาณสีที่ซึมผ่านพื้นที่อันหนึ่งซึ่งกำหนดให้ในเวลาที่กำหนดภายใต้ความแตกต่างของความเข้มข้นที่แน่นอน นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงค่าที่แน่นอนของความเข้มข้นของ โมเลกุลของสีกับระยะทางที่จะต้องแพร่ผ่านไป การย้อมสีที่เร็วหรือช้าเกินไปนั้นเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาทั้งนั้น เพราะว่าถ้าการย้อมเร็วเกินไป โอกาสจะได้สีที่ติดสม่ำเสมอแน่นอนยากมาก คือ ผ้าจะมีรอยค่างและไม่สม่ำเสมอ แต่ถ้าช้าเกินไปติดสีดี แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ทั้งยังทำให้เส้นใยหรือผ้ามีคุณภาพเสื่อมไป เพราะต้องแช่อยู่ในน้ำย้อมและความร้อนนานเกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องหาทางควบคุมอัตราเร็วแห่งการย้อมสี ซึ่งอาจทำได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ย้อมหรือโดยการใส่สารช่วยย้อม (chemical auxiliary) ใส่ลงไปในย้อม

**2.1.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการย้อมสี** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย้อมสี มีผลโดยตรงต่อการย้อมมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิย้อมให้สูงขึ้นจะมีผลเกิดขึ้น โดยสรุปได้ 3 แนวทางคือ

2.1.2.1 เพิ่มความเร็วในการย้อม กล่าวคือ สีจะเข้าไปในเส้นใยในช่วงแรกด้วยระยะทางอันสั้น

2.1.2.2 จะทำให้ปริมาณของสีย้อมที่ควรจะไปอยู่ในเส้นใยลดลง นั่นคือเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของน้ำย้อมลดลง

2.1.2.3 ทำให้มีการกระจายตัวของสีดี คือ เพิ่มความเร็วในการกระจายตัวของสีจากส่วนที่ติดสีหนาแน่น ( ในส่วนพื้นผิวหน้าของผ้าหรือเส้นใย ) ไปยังที่มีสีอยู่บางกว่า (แกนกลางของเส้นใย)

**2.2 ระดับการย้อมสี (rate of dyeing)** ระดับการย้อมสี หมายถึง อัตราการดูดซึมของสีเข้าไปภายในเส้นใยในช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้โดยสีจะค่อยๆ ซึมเข้าๆ เข้าไปตามช่องว่างของเส้นใยสู่ภายใน ถ้าเส้นใยมีโมเลกุลที่เป็นระเบียบมา เส้นผ้าหรือผ้าม้วนพันกันแน่นจะดูดสีได้ช้าลง ต้องการเวลาข้อมนานขึ้นจึงจะย้อมให้สีติด ได้สม่ำเสมอและเข้าถึงกึ่งกลางของเส้นใย

ระดับการย้อมที่ถูกต้องคือ สีจะต้องซึมเข้าไปภายในเส้นใยและติดจนกระทั่งเมื่อเส้นใยตามขวางแล้วดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เห็นเป็นสีเดียวและเท่ากันตลอด ความเข้มของสี



ภายในเส้นใยจะต้องเท่ากับความเข้มข้นของสีที่คงเหลืออยู่ในน้ำย้อม เรียกการย้อมถึงระดับนี้ว่า การย้อมสมดุล ถ้าสีที่เกาะติดแต่เพียงรอบนอกของเส้นใยหรือซึมเข้าไปภายในเพียงภายใต้รอบนอกของผิวเส้นใยเท่านั้น ภายในกึ่งกลางยังเป็นสีขาวอยู่เรียกว่าการย้อมแบบวงแหวน การย้อมได้สมดุลหรือไม่สังเกตได้หลายทางด้วยกัน ที่ง่ายที่สุด คือ เมื่อย้อมไปนานๆแล้วน้ำย้อมไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างใด ความเข้มข้นของสีที่เส้นใยเป็นปกติอาจยุติได้ว่า ย้อมได้สมดุลแล้ว

**2.3 อิทธิพลของสารช่วยย้อม** สีละลายน้ำจะสามารถซึมเข้าไปภายในเส้นใยได้ค่อนข้างช้าและตกตะกอนได้ง่าย จำเป็น ต้องใช้สารเคมีเพิ่มลงในน้ำย้อมเพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น ย้อมให้สีติดทนทานสม่ำเสมอ สารเหล่านี้เรียกว่า สารช่วยย้อม ที่สำคัญและใช้มากมีอยู่ 7 ชนิด ได้แก่

**2.3.1 กรด ใช้สำหรับย้อมใยโปรตีนและในลอนด้วยสีแอซิด** ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสี ทำให้ประจุไฟฟ้าลบในเส้นใยน้อยลงและเพิ่มประจุไฟฟ้าบวก แอนไอออนจึงสามารถเข้าไปติดภายในเส้นใยได้ ตัวสีที่ดูดซึมได้น้อยต้องเพิ่มกรดให้มากขึ้น ทำให้ตัวสีซึมกระจายตัวจากส่วนที่ติดสีมากไปยังส่วนที่ติดสีน้อยทำให้ย้อมได้สีสม่ำเสมอ เวลาซักสีจะตกออกได้ง่าย สีประเภทนี้ต้องการกรดแก่เพื่อสามารถซึมเข้าไปภายในเส้นใยได้มากขึ้น

**2.3.2 ค่าง ใช้สำหรับช่วยย้อมใยเซลลูโลส** ทำหน้าที่ให้โมเลกุลของสีทำปฏิกิริยายึดติดกับ โมเลกุลของใยเซลลูโลส ได้ดียิ่งขึ้น

**2.3.3 เกลือ** เมื่อย้อมใยขนสัตว์ด้วยสี acid equalied ใช้โซเดียมซัลเฟตเป็นสารควบคุม เพราะ โซเดียมซัลเฟตมีแอนไอออนมาก ทำปฏิกิริยากับแอนไอออนของตัวสีเพื่อจะดูดซึมเข้าไปภายในของเส้นใย กรดและเกลือทำหน้าที่ตรงกันข้ามในน้ำย้อม ถ้าไม่ใช้โซเดียมซัลเฟตแล้วใช้กรดแต่น้อยหรือใช้กรดอ่อนแทนก็จะได้ผลอย่างเดียวกัน โซเดียมไอออนของเกลือในน้ำย้อมส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่ลดไอออนลบของเส้นใย ทำให้แอนไอออนของสีสามารถเข้าไปใกล้เส้นใยจนกระทั่งแรงแวนเดอร์วาลส์มีประสิทธิภาพ

**2.3.4 สารทำให้สีสม่ำเสมอ** สีจะติดเส้นใยสม่ำเสมอจำเป็นต้องลดคุณสมบัติการดูดติดเส้นใยของสีให้ช้าลงโดยการเติมสารประกอบที่มีคุณสมบัตินี้ลงไป ในน้ำย้อม สารเคมีนี้จะไปเพิ่มพลังงานให้แก่สีย้อมเพื่อรักษาสภาพเดิมของตัวสีไว้ ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำรวมตัวกันเป็นสารประกอบสมบูรณ์ชนิดใหม่ จึงทำให้สีรวมตัวกับเส้นใยได้ช้าลง

**2.3.5 สารพา ใช้มากเมื่อย้อมใยโพลีเอสเตอร์** ทำให้สามารถย้อมสีเข้มได้แม้ใช้กระบวนการย้อมปกติ โดยมากเป็นสารประเภท 2-hydroxy diphenyl สารทำหน้าที่ได้โดยดูดติด

อยู่ที่ผิวเส้นใยก่อน เมื่อสีเข้าไปติดตัวสีจะละลาย เส้นใยจะดูดสีไว้ได้มากขึ้น ระดับการติดสีก็เพิ่มขึ้น สารตัวนี้ยังช่วยให้เส้นใยพองตัวได้มากขึ้น

2.3.6 สารละลายอินทรีย์ การใช้สีที่ละลายน้ำได้น้อยข้อมขนสัตว์และในลอนน้ำข้อมผสมสารละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้จะข้อมได้ผลดีขึ้นเส้นใยจะมีลักษณะดีกว่าการข้อมตามปกติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารละลายอินทรีย์สามารถก่อเป็นเยื่อบาง ๆ ภายในเส้นใยได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สีซึมผ่านเข้าไปติดเส้นใยได้เร็ว

2.3.7 สารรีดิวซ์ สีบางชนิดไม่ละลายน้ำ ต้องใช้สารเคมีมาทำให้โมเลกุลของสีมีขนาดเล็กถึงจนสามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างในเส้นใยได้ สารนี้เรียกว่า สารรีดิวซ์ โดยมากจะเป็นสารประกอบโซเดียมและใช้สารตัวอื่นช่วยให้ละลายน้ำดีขึ้นเมื่อข้อมเรียบร้อยแล้วต้องทำให้ตัวสีนั้นกลับเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำตามเดิม

## สีครามและการย้อมคราม

### 1. สีคราม

สีคราม เป็นสีแสดที่เก่าแก่ที่สุดมีทั้งสีครามธรรมชาติ และสีครามสังเคราะห์ มีชื่อทางเคมีว่า 2-(1,3-Dihydro-3-oxo-2H-indol-2-ylid-ene)-1,2-dihydro-3H-indol-3-one หรือเรียกทั่วไปว่า Indigo blue หรือ Indigoim เป็นผลิตภัณฑ์เข้มน้ำเงินหรือสีน้ำเงิน ระเบิดที่ 170 องศาเซลเซียส มีสมบัติไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และกรดเจือจาง แต่ละลายได้ดีมากในสารละลายอะนินีนและพิริดีนขณะเดือด ละลายได้ดีพอควรในกรดแอสติกเกลเซลดัมเดือด (อ้างสรรพไสละสูด. 2527 : 203) ถ้าละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้วจะปรากฏสีม่วงแดง แต่ถ้าละลายในตัวทำละลายมีขั้วจะปรากฏสีน้ำเงิน (อนุรัตน์ สายทอง. 2544 : 5)

### 2. เหมี่ของสีครามในกระบวนการย้อมคราม

สีครามจะมีสารต้นคอในใบคราม คือ สารอินดิแคน (indican หรือ indoxyl -  $\beta$ -D - glucoside) ซึ่งเป็นสารไม่มีสีและไม่ละลายน้ำ เมื่อนำใบครามแช่ในน้ำ เอนไซม์ชนิดหนึ่งในใบคราม คือ บีตา-กลูโคซิเดส ( $\beta$ -glucosidase) ทำให้กลูโคสหลุดออกจากอินดิแคน เหลืออินดอกซิด (indoxyl) สาร 2 ชนิดนี้ไม่มีสีและละลายน้ำได้ทั้งคู่จึงละลายในน้ำคราม อินดอกซิด

ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยออกซิเจนในอากาศยังทำให้สารละลายเป็นด่างอินดอกซิล ยิ่งถูกออกซิไดส์ได้ง่าย กลายเป็นสารอินดิโก บลู (Indigo blue) ซึ่งไม่ละลายน้ำ จะตกตะกอน อยู่กันภาชนะ เนื่องจากอินดิโก บลู ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงต้องถูกรีดิวซ์โดยการละลายในน้ำ ด่าง และกลายเป็นอินดิโก ไวท์ (Indigo white) ที่ละลายน้ำได้ เมื่อสังเกตเห็นสีของน้ำย้อม เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวปนเหลือง จึงทำการย้อมผ้าที่ชุบน้ำบิดจนหมาด อินดิโก ไวท์ ที่ละลายในน้ำย้อม จะแทรกซึมเข้าเนื้อผ้าจับเซลล์ลูโลสของใยผ้าด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อยกผ้า ย้อมขึ้นสัมผัสกับอากาศ อินดิโก ไวท์จะถูกออกซิไดส์กลายเป็น อินดิโก บลู ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นเมื่อนำไปซักสีของครามจึงไม่หลุดออก (อนุรัตน์ สายทอง. 2543 : 33) ดังแสดงใน ภาพประกอบ 1 หน้า 1

### 3. การเตรียมน้ำย้อมคราม

เนื่องจากสีคราม (Indigo blue) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ จึงใช้เป็นสีย้อมไม่ได้ต้อง เตรียมให้อยู่ในสภาพที่ละลายน้ำ (Indigo white) ซึ่งมีวิธีการเตรียมหลายวิธี ได้แก่

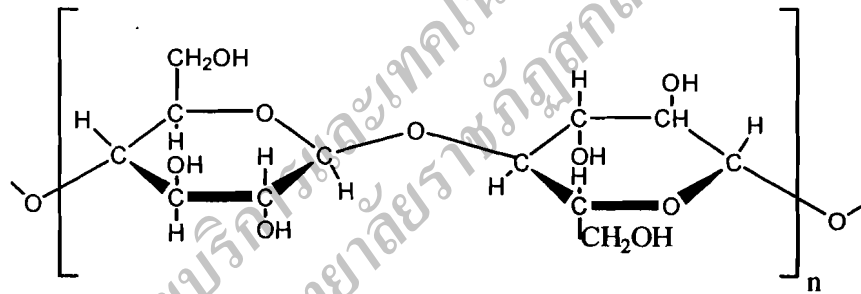
#### 3.1 วิธีหมัก ซึ่งเป็นวิธีของภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยนำเนื้อครามเปียก 1

กิโลกรัมผสมกับน้ำขี้เถ้า 3 ลิตร ใน โอ่งดิน โลกน้ำย้อม 3-4 ครั้ง ทุกเช้า-เย็น สังเกตสีที่ กลิ่น และฟอง จากนั้นวัน 3 ใช้มะขามเปียก 50 กรัม ขยำกับน้ำขี้เถ้าพอให้แตกและผสมลงไปใ้ในโอ่ง น้ำย้อม โลกครามทุกวันและสังเกตต่อไป ซึ่งน้ำย้อมจะใสขึ้น เปลี่ยนเป็นสีเขียวปนน้ำเงิน กลิ่น หอมอ่อน ฟองสีน้ำเงิน ทำการ โลกครามทุกวันจนกว่าน้ำย้อมจะเป็นสีเหลืองอมเขียวหรือยอด ทองขุ่นขึ้น ฟองสีน้ำเงินเข้มวาว ไม่แตกยุบ แสดงว่าเกิดสีคราม (Indigo white) ในน้ำย้อม จะใช้ เวลาประมาณ 7 วัน

3.2 วิธีทางเคมี โดยใช้ตัวรีดิวซ์เปลี่ยน อินดิโก บลู ให้เป็น อินดิโก ไวท์ ที่ละลาย น้ำและสามารถย้อมได้ซึ่งตัวรีดิวซ์ที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไทโอไนท์ ล้วนเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและค่อนข้างอันตราย นอกจากนี้แล้วยังใช้ผงสังกะสี ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C เป็นตัวรีดิวซ์ได้

## เส้นใยฝ้าย (Cotton)

ฝ้ายมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium herbaceum* Linn. (วิทย์ เทียงบูรณธรรม. 2539 : 10) ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลส ในโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกิดจากยี่ดจับกันของเซลโลไบโอสเป็นสายยาว โดยเกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ  $-C-O-C-$  ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบค่อนข้างมาก และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นระยะๆซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง ดังสูตร โครงสร้างของเซลลูโลสที่แสดงภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 โครงสร้าง โมเลกุลของเซลลูโลส

(วิทย์ เทียงบูรณธรรม. 2539 : 10)

เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีความยาวทั่วไปโดยเฉลี่ย 0.3-5.5 ซม. เส้นใยจะไม่เป็นเส้นตรง รูปร่างด้านภาคตัดขวางมีลักษณะคล้ายรูปไต หรือเมล็ดถั่ว ตรงกลางมีช่อง เรียกว่า รูเมน รอบๆ รูเมนเป็นผนังเซลล์ซึ่งเกิดจาก ไฟบริล เซลลูโลส เรียงซ้อนๆเป็นแถบเวียนไปเป็นเกลียว โคจรรอบเส้นใย ตรงบริเวณนั้นจะเกิดเป็นช่องเล็กๆบนผนังเซลล์ เมื่อเส้นใยแก่ด้วยบริเวณช่องเล็กๆนั้นจะยุบตัวลงทำให้ฝ้ายบิดตัวเป็นเกลียว ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปปั่นเป็นเส้นฝ้ายคือปั่นได้ง่าย เพราะเกลียวของเส้นใยจะทำให้ยึดเกาะกันได้ดี

### 1. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย

ตาราง 3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย

ความยาว	0.3-5.5 ซม.
สี	ขาว ครีมน้ำตาลหรือเทา
การสะท้อนแสง	ไม่คืนก มีความมันต่ำ นอกจากฝ้ายที่ผ่านการชุบ ด่างฝ้ายจะพองกลม ทำให้มีความมันเพิ่มขึ้น
ความเหนียว	ขณะแห้งมีความเหนียว 3.0-5.0 กรัม/เคนเยอร์ เมื่อมี ความเปียกความเหนียว เพิ่มขึ้น 3.6-6.0 กรัม/เคนเยอร์
การยืดตัว	ยืดได้สูงสุดจนถึงจุดที่ขาด 3-7 %
การหดกลับ	ถ้าเส้นใยยืดออกไป 2% เมื่อปล่อยแรงจะหดกลับได้ 70%
การคืนตัว	ต่ำ ฝ้ายจึงยับง่ายพอใช้จนถึงดี
ความทนต่อการขัดถู	ไม่คืนก ฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยด่าง เมื่อ
ความคงรูป	ซักฟอกจะหดตัว
การดูดความชื้น	ดูดความชื้นได้ต่างๆ กันตามสภาวะ ดังนี้ ฝ้ายดิบที่สภาวะมาตรฐาน 8.5% ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95-100% 15-25% ฝ้ายชุบด่างที่สภาวะมาตรฐาน 8.5-10.3% ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95-100% 15-27 %
ความถ่วงจำเพาะ	1.54

## 2. สมบัติทางเคมี

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

สารฟอกขาว	ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิด ทั้งชนิดที่เป็นสารฟอกขาวประเภทคลอรีนเช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
กรด-ด่าง	มีความคงทนต่อด่างได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดแก่
ตัวทำละลายอินทรีย์	ฝ้ายทนต่อตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด เช่น อะซีโตน เมตาโซลิน
แสงแดดและความร้อน	ทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี แสงแดดไม่ทำอันตรายต่อผ้าที่ตากแดดจนแห้ง แต่ถ้าให้ถูกแสงสว่างเป็นระยะเวลาานและตลอดเวลาจะทำให้เซลลูโลสถูกออกซิไดซ์ ซึ่งทำให้ฝ้ายลดความเหนียวได้และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การรีดควรใช้อุณหภูมิ 218°C หรือ 425 °F
สีย้อม	สีย้อมที่ใช้ย้อมฝ้ายได้คือ สีโคเรค รีแอคทีฟ แวดแนฟทอล และที่ย้อมติดเส้นใยได้ทนมากที่สุดคือ สีแวค

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เครื่องเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโกปี (X-ray Fluorescence Spectroscopy : XRF) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM) เครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์พชัน สเปกโตรสโกปี (Atomic absorption Spectroscopy : AAS) และเครื่องยูวี วิสิเบิล สเปกโตรสโกปี (UV-visible Spectroscopy)

### 1. หลักการทำงาน

#### 1.1 เครื่อง XRFs (X-ray Fluorescence Spectroscopy) เมื่อปี ค.ศ. 1895

W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นในช่วง 0.1-100 อังสตรอม หรือ 0.01-10 nm แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 nm

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRFs (X-ray Fluorescence Spectroscopy) มี 2 ระบบคือระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น และระบบที่วัดเป็นพลังงาน

หลักการทั่วไปและการเกิดสเปกตรัมรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เกิดขึ้นจากการระดมยิงวัตถุ เช่น โลหะ หรือสารประกอบ เป็นต้น ด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง เช่น ลำอิเล็กตรอน หรือ โปรตอน หรือ โฟตอน อิเล็กตรอนของอะตอมที่ประกอบอยู่ในวัตถุนั้นเมื่อระดมยิง ทำให้เซลล์ในหลุดออกมา เมื่อเกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนจากเซลล์นอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ จะทำเกิดรังสีเอกซ์ขึ้น

ระบบต่างๆที่ใช้ผลิตรังสีเอกซ์ (X-ray Productions)

ใช้หลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปทำให้ไส้ของขั้วแคโทดร้อนขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ไส้หลอดนี้อย่างหนาแน่น เมื่อทำให้ขั้วแคโทดและขั้วแอโนดมีค่าศักย์ต่างกันมากๆ โดยใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงๆขนาด 100 kV จะทำให้ลำอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนขั้วแอโนด รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะผ่านหน้าต่างที่ทำด้วยเบอริลเลียมออกมา หลอดรังสีเอกซ์มีหลายชนิดซึ่งขึ้นกับชนิดของโลหะที่ใช้ทำขั้วแอโนด เช่น ทำด้วยโลหะ Mo, W, Cr, Cu, Ag หรือ Rh ก็ได้

รังสีเอกซ์สเปกตรัมที่เกิดขึ้นนั้นประกอบด้วยสเปกตรัม 2 ชนิด ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุที่ใช้ทำแอโนด คือ สเปกตรัมที่เป็นแถบแบบต่อเนื่อง เรียกว่า

white radiation ซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ถูกลดพลังงานลงหรือลดความเร็วลงด้วยการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนเอง หรือชนกับอิเล็กตรอนในวัตถุ ทำให้มีการเปล่งรังสีออกมาเป็นสเปกตรัมแสงกับสเปกตรัมที่เป็นเส้น ทับอยู่บนแถบสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด

#### การนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิเคราะห์

- 1) ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของสารต่างๆ ในสารทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ
- 2) ใช้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก หรือ โมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

1.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) เป็นเครื่องมือที่อาศัยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนจากไส้หลอด (filament) และอิเล็กตรอนถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (high voltage) จากนั้นอิเล็กตรอนถูกโฟกัสให้เป็นลำอิเล็กตรอนที่มีความเข้มสูง โดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้านั้น ลำอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวตัวอย่าง ผิวตัวอย่างจะสะท้อนอิเล็กตรอนและกระทบหัววัด (electron detector) ใคจะแกรมอย่างง่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน สัญญาณที่ได้จะไปประมวลผลและสร้างภาพ ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพสามมิติ

#### การนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิเคราะห์

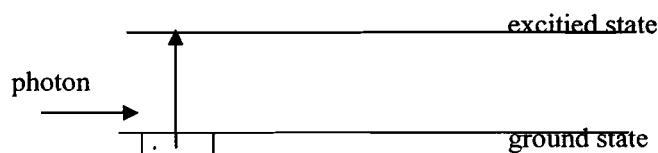
- 1) วิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่าง
- 2) ศึกษาลักษณะ โครงสร้างการกระจายตัวของธาตุนบนพื้นผิวตัวอย่าง

1.3 เครื่อง AAS (Atomic absorption Spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้กระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่ง โดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ โดยธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็นสเปกโตรสโกปิก ไลน์ (spectroscopic line) ของอะตอมมิสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น



หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้ ในการเกิดอะตอมมิกแอบซอร์พชัน ซึ่งอิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอน เป็นอะตอมมิกแอบซอร์พชัน ดังภาพประกอบ 7



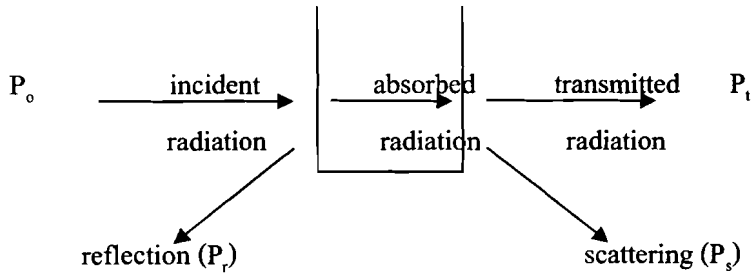
ภาพประกอบ 7 แสดงการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

การนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิเคราะห์

- 1) ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการเกษตร เช่น การวิเคราะห์ดิน พืช และปุย
- 2) ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการแพทย์และชีวเคมี เช่น การหาปริมาณของธาตุ Ca, Mg, Cu, Pb, Na, K, Fe, Zn, As และอื่นๆ ในเลือด ปัสสาวะ และเนื้อเยื่อ
- 3) ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการโลหะวิทยา เช่น การวิเคราะห์โลหะผสมต่างๆ ปริมาณของสารเจือปนต่างๆ ในโลหะบริสุทธิ์
- 4) ใช้ในงานวิเคราะห์น้ำจากแหล่งต่างๆ เช่น น้ำบาดาล น้ำเสีย น้ำทิ้ง น้ำแร่ หรือน้ำจากแหล่งธรรมชาติ
- 5) ใช้ในงานวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม
- 6) ใช้ในงานวิเคราะห์ทางอาหารและยา
- 7) ใช้ในงานวิเคราะห์ธาตุในสารอื่นๆ

1.4 เครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-visible Spectroscopy) เป็น การวัดการดูดกลืนแสงหรือรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น ประมาณ 190-800 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน สารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี

หลักการทำงาน เมื่อดำแสงเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน ผ่านเข้าไปในวัตถุใส จะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนทะลุผ่าน ออกไปได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องของลำแสงผ่านเข้าไปในวัตถุใด

ถ้าให้แสงที่ทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึม หรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไป เรียกว่าสเปกตรัมดูดกลืนแสง (absorption spectrum) พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state)

**การนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิเคราะห์**

- 1) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อน
- 2) ใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ

### 1.5 เครื่อง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer )

เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ธาตุต่างๆซึ่งทำได้ทั้งในรูปของแข็ง ของเหลว แยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ICP Unit และ MS Unit โดยในส่วนของ ICP Unit จะแยกธาตุต่างๆ ออกจากโมเลกุลที่เป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว ด้วยการกระตุ้นโดยรังสีพลาสมา (Plasma) ที่อุณหภูมิสูงมาก เพื่อให้ธาตุต่างๆแสดงพลังงานออกมาตาม โครงสร้างของอะตอม แล้วผ่านก๊าซอาร์กอนเข้าไปตั้งเอาธาตุเหล่านั้น ไปส่งต่อให้ส่วนที่ 2 คือ MS Unit ในส่วนนี้พลังงานของธาตุที่ถูกกระตุ้นออกมาก็จะถูกบันทึกโดยเครื่องตรวจวัด (Sensor) เพื่อตรวจจับพลังงานจากไอโซโทป (Isotope) ของธาตุต่างๆทำให้สามารถวิเคราะห์หาส่วนประกอบของสารที่เป็นธาตุรองและธาตุที่หายากได้

**การนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิเคราะห์**

- 1) ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการเกษตร เช่น การวิเคราะห์โลหะต่างๆในดิน พืช และปุย
- 2) ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการแพทย์และชีวเคมี เช่น การหาปริมาณของธาตุในเลือด ปัสสาวะ และเนื้อเยื่อ
- 3) ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการโลหะวิทยา เช่น การวิเคราะห์โลหะผสมต่างๆ ปริมาณของสารเจือปนต่างๆในโลหะบริสุทธิ์

## ระบบการวัดสี

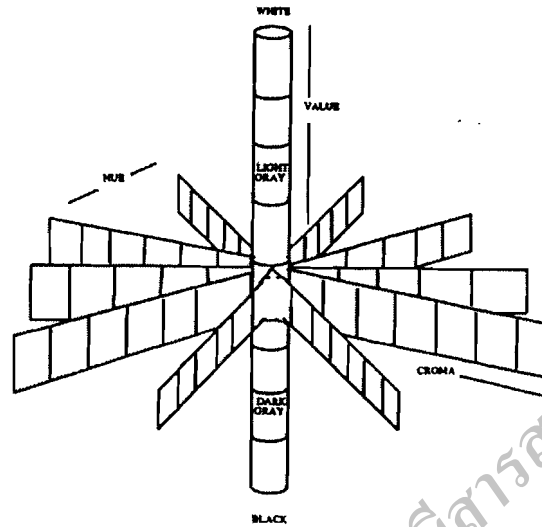
สีที่ตาเรามองเห็นมีมากมาย และอาจเข้าใจความหมายของสีไม่ตรงกัน จึงจำเป็นต้องมีการจัดระบบของสีให้เป็นระเบียบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสื่อสารแล้วเข้าใจความหมายของสีได้ตรงกัน มีการกำหนดค่าสีเป็นปริมาณที่วัดได้ เพื่อนำไปประเมินเป็นตัวเลขที่แน่นอน ระบบการวัดสีที่นิยมใช้มี 2 ระบบ คือ Munsell และ CIE

1. ระบบ Munsell เป็นระบบพื้นฐานในการจัดลำดับสีอย่างง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติการมองเห็น 3 ประการ

1.1 Hue คือสีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง สีเขียว เป็นต้น โดยจะเรียงเป็นเส้นรอบวงกลมอยู่โดยรอบแกน Value มีทั้งหมด 10 สี คือ แดง (R) แดงเหลือง (YR) เหลือง (Y) เหลืองเขียว (GY) เขียว (G) เขียวน้ำเงิน (BG) น้ำเงิน (B) น้ำเงินม่วง (PB) ม่วง (P) ม่วงแดง (PR) แต่ละสีจะแบ่งย่อยได้ 10 ย่อย

1.2 Value (lightness) หมายถึงความสว่างของสีโดยกำหนดค่าความสว่างตามแนวตั้ง โดยสีขาวจะอยู่ที่ปลายสุดของแกนบน สีดำจะอยู่ด้านล่าง

1.3 Chroma (saturation) หมายถึงความเข้ม ความบริสุทธิ์ของสี โดยกำหนดค่าตามแนวนอน เริ่มต้นจากสีเทาใน Value หนึ่งๆ แล้วเพิ่มเนื้อที่มากขึ้นเรียงออกมาตามลำดับที่ปลายด้านนอกสุดจะเป็นสีที่มีความเข้มสูงสุด Chroma จะมีค่าตั้งแต่ 0 ไปถึง 12 หรือ 14 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า แต่ละสีจะสดที่สุดได้เท่าใด ณ ค่า Value หนึ่งๆ ภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 ความสัมพันธ์ของการวัดระดับสีระหว่าง Hue Chroma  
และ Value ตามระบบ Munsell  
(ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2542 : 16)

ระบบ Munsell ระบบสีของวัตถุโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษรในลักษณะ Hue  
Value Chroma เช่น หมายเลข 7.5 R 9/2

- Hue 7.5 R เป็นสีแดงไปทางเหลือง
- Value 9 เป็นสีอ่อน (light color)
- Chroma 2 เป็นสีไม่อมัว

ดังนั้น สีที่มีตัวเลขและตัวอักษรดังกล่าวจึงเป็นสีชมพูซีด (pale pink)

แม้ว่าระบบ Munsell จะสามารถสื่อความเหมาะสมของสีได้อย่างดี แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องเนื่องจากการบอกลักษณะสีหรือจัดลำดับสียังคงใช้ความนึกคิดหรือประสบการณ์ของแต่ละคน ดังนั้นอาจทำให้การบอกลักษณะของสีแตกต่างกันได้

2. ระบบ CIE (CIELAB) เป็นระบบการวัดสีที่ค้ำนึ่งถึงองค์ประกอบ 3 ประการ คือ

2.1 Light source คือแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน เช่น A B C หรือ D 65

2.2 Color object คือ วัตถุมีสี เมื่อแสงตกกระทบจะสะท้อนหรือกระจายแสงมาสู่

ตาหรือเครื่องรับแสง

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

นอกจากนี้ในระบบ CIELAB ได้เชื่อมค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  เข้ากับ Hue และ Chroma โดยกำหนดค่าสีอีก 2 ค่า คือ hue angle ( $h^*$ ) และ chroma ( $C^*$ )

Hue angle เป็นตัวเลขที่ระบุว่า สีอยู่ในตำแหน่งใดใน Color space มีหน่วยเป็นองศา

ถ้า $h^*$ เท่ากับ 0 องศา (360 องศา)	แสดงว่าเป็นสีแดง
$h^*$ เท่ากับ 90 องศา	แสดงว่าเป็นสีเหลือง
$h^*$ เท่ากับ 180 องศา	แสดงว่าเป็นสีเขียว
$h^*$ เท่ากับ 270 องศา	แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน

ส่วน Chroma คือ ค่าความสดใของสีที่มีความสว่างหนึ่ง ๆ

$$\text{โดย } C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Chroma จะได้จากความยาวเส้นตรงจากจุดกำเนิดที่  $a^* = b^* = 0$  ไปยังตำแหน่งของตัวอย่าง  $C^*$  จะใช้บอกค่าความสดใของสีที่ค่าความสว่างหนึ่ง ๆ

โดยทั่วไปในการระบุสีของวัตถุมีสีในระบบ CIELAB นั้น มักระบุด้วยค่า  $L^*$   $C^*$  และ  $h^*$  มากกว่า  $a^*$   $b^*$  เนื่องจากจะทำให้เข้าใจและทราบลักษณะของสีได้ใกล้เคียงกับที่ตามนุษย์มองเห็น

## การวัดความแตกต่างของสี

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานมีระบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือระบบ CIE และระบบ CMC ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงระบบที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 1. ระบบ CIE L\* A\* B\* Color Difference Equation

ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ (2542 : 22) ได้สรุปไว้ว่า การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง-เขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ดังนี้ คือ

$$\Delta L^* = L^* \text{ ของตัวอย่าง} - L^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}$$

ถ้า  $\Delta L^*$  มีค่าเป็น + แสดงว่าสีผ้าตัวอย่างมีความสว่างมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า  $\Delta L^*$  มีค่าเป็น - แสดงว่าตัวอย่างจะมีคกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (darker)

$$\Delta a^* = a^* \text{ ของตัวอย่าง} - a^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}$$

ถ้า  $\Delta a^*$  มีค่าเป็น + แสดงว่าตัวอย่างแดงกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (redder)

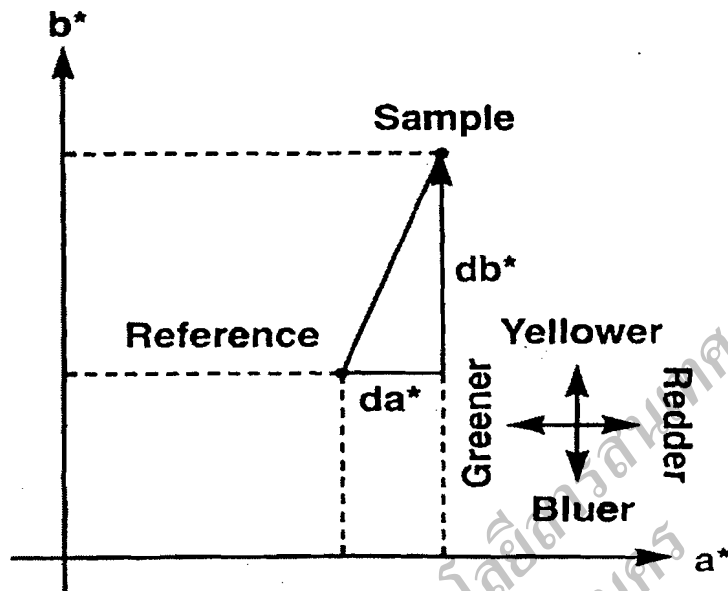
ถ้า  $\Delta a^*$  มีค่าเป็น - แสดงว่าตัวอย่างเขียวกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (greener)

$$\Delta b^* = b^* \text{ ของตัวอย่าง} - b^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}$$

ถ้า  $\Delta b^*$  มีค่าเป็น + แสดงว่าตัวอย่างเหลืองกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (yellowier)

ถ้า  $\Delta b^*$  มีค่าเป็น - แสดงว่าตัวอย่างน้ำเงินกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (bluer)

ดั่งภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงค่า  $\Delta a^*$  และ  $\Delta b^*$  ในระบบ CIELAB

(ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2542 : 22)

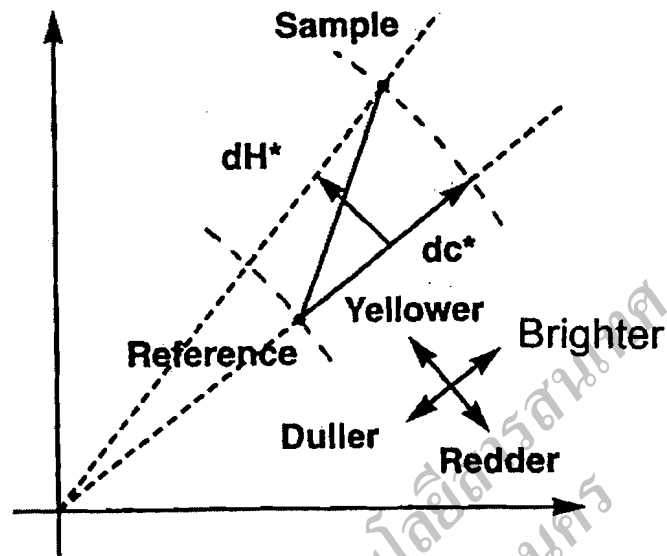
นอกจากจะบอกความแตกต่างด้วยค่า  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$  และ  $\Delta b^*$  แล้วยังกำหนดค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างผ้าตัวอย่างกับผ้ามาตรฐาน คือ ค่า  $\Delta E^*$  (total color difference)

$$\text{โดย } \Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

นอกจากนี้การวัดยังบอกความแตกต่างของสีให้สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับที่ตามองเห็นในแง่ของสีที่ปรากฏและความสดใสของสีที่ได้จากค่า  $\Delta H^*$  และ  $\Delta C^*$  ดังภาพประกอบ 12

$$\text{โดย } \Delta E^* = (\Delta L^{*2} - \Delta C^{*2} - \Delta H^{*2})^{1/2}$$





ภาพประกอบ 12 แสดงค่า  $\Delta h^*$  และ  $\Delta C^*$  ในระบบ CIELAB  
(ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2542 : 25)

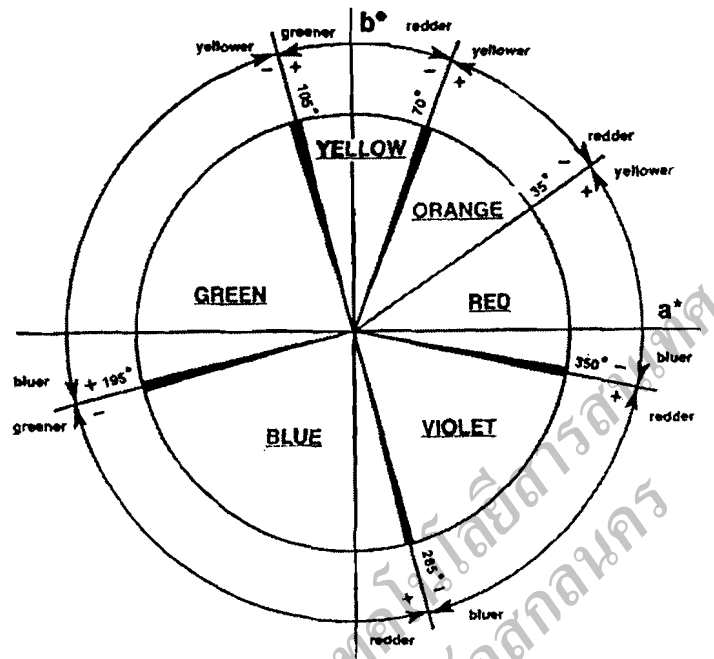
$\Delta C^* = C^*$  ของตัวอย่าง -  $C^*$  ของตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า  $\Delta C^*$  มีค่าเป็น + แสดงว่าตัวอย่างมีความสดใสมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(brighter)

ถ้า  $\Delta C^*$  มีค่าเป็น - แสดงว่าตัวอย่างมีความตุ่นมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(duller) สำหรับ  $\Delta h^* = h^\circ$  ของตัวอย่าง -  $h^\circ$  ของตัวอย่างมาตรฐาน จะแสดงความหมาย yellower, redder, bluer หรือ greener เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าค่า  $\Delta h^*$  นั้นมีค่าเป็น + หรือ - และสีมีค่า hue angle อยู่ในตำแหน่งที่เท่าไร ยกตัวอย่างเช่น

ถ้า  $h^\circ$  อยู่ในช่วงสีแดง และ  $\Delta h^*$  มีค่าเป็น + แสดงว่าสีตัวอย่างมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (yellower) ถ้า  $\Delta h^*$  มีค่าเป็น - แสดงว่าสีตัวอย่างมีความเป็นน้ำเงินมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (bluer)

ถ้า  $h^\circ$  อยู่ในช่วงสีเขียว และ  $\Delta h^*$  มีค่าเป็น + แสดงว่าสีตัวอย่างมีความเป็นสีน้ำเงินมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (bluer) ถ้า  $\Delta h^*$  มีค่าเป็น - แสดงว่าสีตัวอย่างมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (yellower) ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แสดงความหมายของ  $\Delta h^*$  ในระบบ CIELAB  
(ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2542 : 25)

### การทดสอบความคงทนของสี

ค่าความคงทนของสีธรรมชาติเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการย้อมสีธรรมชาติ ดังนั้น ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องทดสอบให้รู้แน่ชัดว่าวัตถุดิบธรรมชาติชนิดไหน มีค่าความคงทนอยู่ในขั้นมาตรฐาน เหมาะที่จะนำมาใช้ ค่าความคงทนที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ความคงทนต่อการขัดถู ความคงทนต่อการซักล้าง และความคงทนต่อแสงแดด

#### 1. ค่าความคงทนต่อการซักล้าง

ในระดับมาตรฐานสากลค่าความคงทนต่อการซักล้าง (WF) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-5 โดย WF 1 จะมีค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำ และ WF 5 จะมีค่าความคงทนสูงสุด โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความคงทนต่อการซักล้างอยู่ในเกณฑ์ดี จะต้องมีความคงทนต่อการซักล้างไม่ต่ำกว่า 4 สำหรับผลิตภัณฑ์สีธรรมชาติ ผู้ย้อมมักจะแก้ปัญหาความคงทนต่อการ ซักล้างโดยพยายามล้างเส้นฝ้ายที่ย้อมจนสีตกออกหมด ก่อนที่จะนำไปทอเป็นผืนผ้า

## 2. ค่าความคงทนต่อแสง

ในระดับสากล ค่าความคงทนต่อแสง (LF) จะอยู่ระหว่าง 1-8 โดย LF 1 จะมีค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำ และ LF 8 จะมี ค่าความคงทนต่อแสงสูงสุด สำหรับค่าความคงทนต่อแสงของผลิตภัณฑ์ผ้าสีธรรมชาติที่ได้รับการยอมรับ โดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับ 4-5 ขึ้นไป โดยปกติผลิตภัณฑ์ผ้าทอข้อมสีธรรมชาติจะมีปัญหาเรื่องสีซีดจางอยู่สูง ผู้ข้อมจำเป็นต้องใช้ตัวติดสี (Mordant) เพื่อช่วยให้สีมีความคงทน และต้องทดสอบให้ทราบค่าความคงทนของสีชนิดนั้นเสียก่อน จึงจะสามารถผลิตและจำหน่ายได้ สำหรับในประเทศไทยหน่วยงานของรัฐบาลที่ให้บริการการทดสอบค่าความคงทนของสีคือ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

## 3. การประเมินผล

3.1 การประเมินผลการทดสอบขั้นต้น เมื่อสีของชิ้นทดสอบเริ่มเปลี่ยนแปลง ให้บันทึก ระดับของผ้าสีมาตรฐานที่เปลี่ยนสีเท่ากับชิ้นทดสอบไว้ หรือเมื่อผ้ามาตรฐาน 3 เริ่มเปลี่ยนสีเท่ากับการเปลี่ยนสีของชิ้นทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของผ้ามาตรฐาน 1, 2 และ 3 ต่อจากนั้นให้ผึ่งชิ้นทดสอบต่อไป

3.2 การประเมินผลการทดสอบขั้นสุดท้าย เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้ามาตรฐาน ความคงทนต่อแสงของชิ้นทดสอบคือระดับของผ้ามาตรฐานที่มีการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากัน ถ้าชิ้นทดสอบแสดงการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ระหว่างผ้าสีมาตรฐานสองระดับ ให้รายงานผลเป็นค่าระหว่างสีมาตรฐานทั้งสอง เช่นความคงทนของสีเป็น 3 ถึง 4 หมายถึง ชิ้นทดสอบนี้มีความคงทนไม่ถึงระดับ 4 แต่มีความคงทนมากกว่าระดับ 3

3.3 ถ้าชิ้นทดสอบจางกว่าผ้าสีมาตรฐาน 1 ให้รายงานเป็นระดับ 1

3.4 ถ้าชิ้นทดสอบมีความคงทนของสีเป็นระดับ 4 หรือมากกว่า ให้สังเกตจากการประเมินผลในขั้นต้น ถ้าในการประเมินผลในขั้นต้น ปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเท่ากับ 3 หรือต่ำกว่าให้บันทึกไว้ในวงเล็บ ตัวอย่างเช่น ชิ้นทดสอบมีความคงทนเป็น 6 (3) แสดงว่าชิ้นทดสอบเปลี่ยนสีไปน้อยมากเมื่อผ้าสีมาตรฐาน 3 เริ่มเปลี่ยนสี แต่เมื่อผึ่งแสงแดดต่อไปสีจะค่อยจางไปเท่ากับมาตรฐาน 6

4. การรายงานผล ให้รายงานค่าของอัตราความคงทนของสีต่อแสง ถ้าค่านี้เท่ากับ 4 หรือสูงกว่า และในการประเมินผลขั้นต้นได้ค่าเท่ากับ 3 หรือต่ำกว่า ให้ใส่ค่าจากการประเมินผลข้างต้นไว้ในวงเล็บด้วย

## 5. การใช้เกรย์สเกล

### 5.1 เกรย์สเกลสำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสี

5.1.1 ขอบข่าย มาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14-2518 เล่ม 14 กำหนด การใช้ เกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งทอ ในการทดสอบหาอัตราความคงทนของสี

#### 5.1.2 หลักการทดสอบ

5.1.2.1 เกรย์สเกล ประกอบด้วยแถบสีเทา 5 คู่ แต่ละคู่ใช้แทนค่า ความแตกต่างของสีที่วัดด้วยสายตาเป็นลำดับกัน ไป ความแตกต่างนี้เทียบ ได้กับอัตราความ คงทนของสี ดังตารางประกอบ 5

ตารางประกอบ 5 แสดงความแตกต่างของสีเทียบกับอัตราความคงทนของสี

ความแตกต่างของสี หน่วย N.B.S.	อัตราความคงทนของสี
0 + 0.2	5
1.5 ± 0.2	4
3.0 ± 0.2	3
6.0 ± 0.5	2
12.0 ± 1.0	1

5.1.2.2 อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทน โดยใช้แถบสีที่เหมือนกัน 2 แถบ วางข้างกัน มีเทาเป็นกลางซึ่งมีค่าสะท้อนแสงร้อยละ  $12 \pm 1.0$  ความแตกต่างของสีเป็น 0

5.1.2.3 อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทน โดยแถบสีอ้างอิงที่ เหมือนกับที่ใช้ใน ข้อ 2 เข้าคู่กับแถบสีเทาเป็นกลางที่อ่อนกว่า ความแตกต่างของทุกคู่ที่มองด้วย สายตาเรียงเป็นขั้นเรขาคณิตของความแตกต่างของสี ดังตารางข้างต้น

5.1.2.4 การใช้เกรย์สเกล วางชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอ (original textile) กับชิ้นทดสอบที่ทดสอบแล้วเคียงข้างกันบนพื้นราบเดียวกัน และในทิศทางเดียวกันด้วย จากนั้น นำเกรย์สเกล มาวางข้างๆ บนพื้นราบเดียวกันนั้น สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควรเป็นสีเทา ซึ่งมีความสว่างน้อยกว่าแถบสีที่เข้มที่สุดนั้นเล็กน้อย ถ้าจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรบกวนที่เกิดจาก แสงสีด้านหลังของสิ่งทอ ให้ใช้ชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอ 2 ชิ้น หรือมากกว่าวางรองไว้ใต้ทั้งชิ้น ทดสอบและชิ้นส่วนเดิม จากนั้นส่องพื้นผิวนี้ด้วย แสงจากทิศเหนือ หรือแหล่งกำเนิดแสงที่มี ความเข้มของการส่องสว่าง 540 ลักซ์ (50 ลูเมนต่อตารางฟุต) หรือมากกว่านี้ แสงที่ส่องบน

พื้นผิวนี้ ควรทำมุม 45 องศาโดยประมาณ โดยทิศทางของการทดลองต้องตั้งฉากกับพื้นผิว เปรียบเทียบความแตกต่างที่เห็นระหว่างชั้นทดสอบและชั้นส่วนเดิมด้วยเกรย์สเกล อัตราความคงทนของสีของชั้นทดสอบคือ ตัวเลขของเกรย์สเกลซึ่งสอดคล้องกับความแตกต่างระหว่างชั้นทดสอบกับชั้นส่วนเดิม ถ้าชั้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเกรย์สเกล 2 แถบ ให้ประเมินว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 2 ระดับนั้น เช่น 3-4 หรือ 4-3 (2 อัตรานี้เหมือนกัน) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชั้นทดสอบและชั้นส่วนเดิมนั้น

#### 5.1.2.5 การอธิบายการเปลี่ยนแปลงสีในการทดสอบความคงทนของสี

1) การใช้เกรย์สเกล ตามข้อที่ (4) ไม่ได้บอกถึงลักษณะในการเปลี่ยนแปลงวรรณะของสี (hue) ความเข้ม (depth) ความสว่าง (brightness) แต่บอกเฉพาะความแตกต่างกันทั้งหมดระหว่างชั้นส่วนเดิมกับชั้นทดสอบเป็นพื้นฐานในการประเมินเท่านั้น

2) ถ้าต้องการรายงานการเปลี่ยนแปลงสีของสีทอในการทดสอบอาจเพิ่มเติมข้อกำหนดคุณภาพที่เหมาะสมเข้าไปในระดับอัตราความคงทนนั้น ได้ดังตาราง 6

ตาราง 6 อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงสี

อัตราความคงทนของสี	ความหมาย	
	ความแตกต่างที่สอดคล้องกับเกรย์สเกล	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสี
3	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลง
3 redder	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลงเล็กน้อยแต่สีออกแดง (redder)
3 weaker yellower	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลง และเปลี่ยนวรรณะของสี
3 weaker yellower duller	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลงเปลี่ยนวรรณะของสีและความสว่าง
4-5 redder	อยู่ระหว่างเกรด 4 และ 5	ความเข้มของสีจางลงเล็กน้อย แต่สีออกแดงเล็กน้อย

3) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นใน 2 หรือ 3 ลักษณะ ไม่จำเป็นต้องแสดงขนาดของการเปลี่ยนแปลงไว้ ไม่ว่าจะเป็คำพูด (เช่น มากหรือน้อย) หรือ

ตัวเลข (เช่น 1 หมายถึงน้อย 3 หมายถึงมาก) หรือเปรียบเทียบโดยเขียนการเปลี่ยนแปลงมาก  
เอาไว้ข้างหน้า (bluer, duller ซึ่งจะแตกต่างกับ duller, bluer)

4) ถ้าช่องในใบรายงานข้อกำหนดมีเนื้อที่จำกัด อาจใช้ตัวย่อ

แทนได้ดังตาราง 7

ตาราง 7 ตารางข้อกำหนดคุณภาพ

ตัวย่อ	ตัวเต็ม	ตัวย่อ	ตัวเต็ม
Bl	Bluer	W	Weaker
G	Greener	Str	Stronger
R	Redder	D	Duller
Y	Yellower	Br	Brighter

## 5.2 เกณฑ์สเกลสำหรับประเมินค่าการเปื้อนสี

5.2.1 ขอบข่าย มาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14-2518 เล่ม 14 กำหนด การใช้  
เกณฑ์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปื้อนสีของสิ่งทอไม่ย้อมสี ในการทดสอบหาอัตราความ  
คงทนของสี

### 5.2.2 หลักการทดสอบ

5.2.2.1 เกณฑ์สเกล ประกอบด้วยแถบสีขาว 1 คู่ และแถบสีเทาและขาว 4  
คู่ แต่ละคู่ใช้แทนค่าความแตกต่างของสีที่วัดด้วยสายตาเป็นลำดับกันไป ความแตกต่างนี้เทียบ  
ได้กับอัตราความคงทนของสี ดัง ตาราง 8

ตาราง 8 อัตราความคงทนของสี

ความแตกต่างของสี หน่วย N.B.S.	อัตราความคงทนของสี
0 + 0.2	5
4.0 ± 0.3	4
8.0 ± 0.5	3
16.0 ± 1.0	2
32.0 ± 2.0	1

5.2.2.2 อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทน โดยใช้แถบสีขาวยุติเหมือนกัน 2 แถบ วางเคียงกัน มีค่าการสะท้อนแสงไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ความแตกต่างของสีเป็น 0

5.2.2.3 อัตราความคงทนของสีระดับ 4 จนถึง 1 แทน โดยแถบสีขาวยุติอ้างอิงที่เหมือนกับที่ใช้ในข้อ 2 เข้าคู่กับแถบสีเทาเป็นกลาง ความแตกต่างของทุกคู่ที่มองด้วยสายตาเรียงเป็นชั้นทางเรขาคณิตของความแตกต่างของสี ดังแสดงในตารางข้างต้น

5.2.2.4 การใช้เกรย์สเกล วางชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสีและไม่เปื้อนสี กับชิ้นทดสอบที่ทดสอบแล้วเคียงข้างกันบนพื้นราบเดียวกัน และในทิศทางเดียวกันด้วย จากนั้นนำเกรย์สเกลมาวางข้าง ๆ บนพื้นราบเดียวกันนั้น สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควรเป็นสีเทา ซึ่งมีความสว่างน้อยกว่าแถบสีที่เข้มที่สุดของเกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปื้อนสีนั้นเล็กน้อย ถ้าจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรบกวนที่เกิดจากแสงสีด้านหลังของสิ่งทอ ให้ใช้ชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสีและไม่เปื้อนสี 2 ชิ้น หรือมากกว่าวางรองไว้ข้างใต้ทั้งชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสีและไม่เปื้อนสี จากนั้นส่องพื้นผิวนี้ด้วยแสงจากทิศเหนือหรือแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของการส่องสว่าง 540 ลักซ์ (50 ลูเมนต่อตารางฟุต) หรือมากกว่านี้ แสงที่ส่องบนพื้นผิวนี้ควรทำมุม 45 องศาโดยประมาณ โดยทิศทางของการมองต้องตั้งฉากกับพื้นผิว เปรียบเทียบความแตกต่างที่เห็นระหว่างชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอไม่ย้อมสีด้วยความแตกต่างที่แทนด้วยเกรย์สเกล อัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบ คือตัวเลขของเกรย์สเกล ซึ่งจะสอดคล้องกับความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิม ถ้าชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเกรย์สเกล 2 แถบ ให้ประเมินว่าค่าอยู่ระหว่าง 2 ระดับนั้น เช่น 3-4 หรือ 4-3 (2 อัตรานี้เหมือนกัน) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิม

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. งานวิจัยในประเทศ

มาลินี เนียมพลับ (2526 : บทคัดย่อ) ศึกษาการใช้สารมอร์แดนท์สีในการย้อมสีครั้ง กับผ้าไหม โดยใช้สารมอร์แดนท์ 3 ชนิด คือ สารส้ม กรดทาทารริก และน้ำมะขาม พบว่าการย้อม โดยใช้สารส้ม 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผ้าเป็นสารมอร์แดนท์ในขณะย้อม ทำให้ผ้าไหมที่ย้อม ได้มีความคงทนต่อการซักและการขัดถูสูงสุด การย้อมโดยใช้กรดทาทารริกและน้ำมะขาม เป็นสารมอร์แดนท์จะมีความคงทนต่อแสงแดดได้ดีที่สุด และทนต่อการขัดถูได้ดี แต่มีความ คงทนต่อการซักต่ำ

นันทนัช พิเศษจูวิทย์ (2533 : บทคัดย่อ, อ้างถึงใน สุภาพ ฐัการ. 2544 : 32) ศึกษาผล ของสารมอร์แดนท์ที่มีต่อการย้อมไหมด้วยตะขบฝรั่ง โดยใช้สารมอร์แดนท์ 4 ชนิด คือ สารส้ม จุนสี ไอรอน และโครม ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า สีของไหมที่ย้อมโดยไม่ใช้สารมอร์แดนท์มี ความคงทนของสีต่อแสงสูงสุดรองลงมา ได้แก่ การย้อมโดยใช้จุนสี สารส้ม โครมและไอรอน ตามลำดับและผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่า การย้อมโดยใช้โครม 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารมอร์แดนท์ในขณะย้อม ทำให้สีของผ้าไหมที่ย้อมได้มีความคงทนต่อการ ซักสูงสุด

นฤมล สรรพพันธุ์ (2533 : 40-41, อ้างถึงใน สุภาพ ฐัการ. 2544 : 33) ศึกษาการใช้สาร มอร์แดนท์ในการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน โดยใช้สารมอร์แดนท์ 4 ชนิด ได้แก่ เหล็ก จุนสี กรด น้ำส้ม และสารส้ม ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 2,4,6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเหล็กและจุนสี ให้สีเหลืองอมน้ำตาลและสีเหลืองอมเขียว ตามลำดับ กรดน้ำส้มและสารส้มให้สีเหลืองทอง ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่า เมื่อใช้จุนสี กรดน้ำส้มและสารส้มเป็น สารมอร์แดนท์จะได้ค่าความคงทนของสีต่อการซักสูงสุด การย้อมโดยใช้เหล็กเป็นสารมอร์แดนท์ จะให้ค่าความคงทนของสีปานกลาง การย้อมโดยใช้จุนสีเป็นสารมอร์แดนท์ในทุกระดับ ปริมาณจะให้ค่าความคงทนของสีต่อแสงต่ำ

สุทธิลา สวนาพร (2535 : บทคัดย่อ, อ้างถึงใน สุภาพ ฐัการ. 2544 : 33) ศึกษาผลของสารมอร์แดนท์จากธรรมชาติในการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน โดยใช้สารมอร์แดนท์ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมะขาม และน้ำส้มป่อย ในขณะย้อมและกรดน้ำส้มหลังย้อม ในปริมาณที่แตกต่าง กัน คือ 5,10,15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สีย้อมที่ได้จากการย้อมทุกการทดลองมีเพียงสีเดียว คือ



สีเหลืองทอง ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่า เมื่อใช้น้ำส้มป่อยทุกระดับความเข้มข้นที่ผ่านกรรน้ำส้มจะให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักสูงสุด

พูนศรี ลิ้มชูพรวิกุล (2536 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาสารให้สีจากใบของต้นหูกวาง และการประยุกต์ใช้งานด้านการย้อมสีสิ่งทอ กับผ้าขนสัตว์ เรยอน ไหม ในลอน ฝ้ายอาซิเตด พบว่า ส่วนประกอบทางเคมีในใบของต้นหูกวางมีสารสีเหลืองจำพวกไฮโดรไลเซบิลแทนนิน ที่ทราบโครงสร้างมี 3 ชนิด ได้แก่ คอริลาจिन เทอฟลาวิน เอ และพุนิคาลาจिन อีก 1 ชนิด ยังไม่ทราบโครงสร้างแน่ชัด จากผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักและกระบวนการย้อม ปรากฏว่า สามารถย้อมเส้นใยโปรตีนและโพลีเอไมด์ ได้ผลการย้อมดี และมีความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ดี สารแทนนินทั้ง 4 ชนิดเมื่อย้อมติดเส้นใย พบว่าให้สีเหลืองอมเขียวคล้ายกันทั้งหมด

ไพศาล คงกาญจนา (2539 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเทคนิคการย้อมสีเส้นไหม ด้วยสีจากครั่ง โดยใช้สารมอร์แดนท์ 12 ชนิด ได้แก่ น้ำจากใบหมือด น้ำส้มมะขาม น้ำจากใบหมือดผสมกับน้ำส้มมะขาม กรดทาร์ทริก กรดอาซิดิก กรดซัลฟูริก กรดฟอร์มิก โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต คอปเปอร์ซัลเฟต และไอรอนออกไซด์ ผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้สารมอร์แดนท์ต่างชนิดมีผลต่อสีของเส้นไหม และเมื่อทดลองใช้สารมอร์แดนท์ที่ความเข้มข้นต่างกันจะมีผลกระทบต่อความเข้มของสีของเส้นไหม สำหรับขั้นตอนการใช้สารมอร์แดนท์ ก่อน และหลังการย้อมสีครั้ง มีผลต่อความเข้มของสีได้เฉพาะกับสารมอร์แดนท์บางชนิดเท่านั้น เส้นไหมที่ผ่านการย้อมส่วนใหญ่มีคุณภาพในด้านความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง-ดี เมื่อพิจารณาเลือกสารมอร์แดนท์ที่ดีที่สุดในการย้อมเส้นไหมด้วยสีจากครั่ง พบว่ามีสารมอร์แดนท์ 5 ชนิด คือน้ำจากใบหมือดผสมน้ำส้มมะขาม กรดทาร์ทริก กรดอาซิดิก กรดซัลฟูริก กรดฟอร์มิก ที่ให้ผลต่อคุณภาพของสีของเส้นไหมหลังการย้อมดีที่สุด แต่การใช้ น้ำจากใบหมือดผสมน้ำส้มมะขามเป็นสารมอร์แดนท์สีจะให้สีของเส้นไหมหลังการย้อมใกล้เคียง กับสีธรรมชาติของครั่งมากที่สุด ในขณะที่สารมอร์แดนท์ที่เหลือให้สีเพี้ยนไปจากสีธรรมชาติของครั่ง

ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง (2540 : บทคัดย่อ) ศึกษาการย้อมผ้าไหมด้วยสีจากเปลือกมังคุด โดยนำเปลือกมังคุดสดมาสกัดเป็นน้ำสี แล้วเก็บรักษาโดยวิธีแช่เย็นและแช่แข็งเป็นเวลานาน 2 เดือน 4 เดือน และ 6 เดือน หลังจากนั้นจึงนำสีที่เก็บรักษาไว้ไปย้อมผ้าไหม โดยใช้สารส้ม 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารมอร์แดนท์ พบว่าผ้าไหมที่ย้อมด้วยน้ำสีที่เก็บรักษาโดยวิธีแช่แข็ง

มีลักษณะสีแตกต่างจากผ้าควบคุมน้อยกว่าผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีที่เก็บรักษาโดยวิธีแช่เย็น ผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีแช่แข็งมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีแช่เย็น และผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีแช่เย็นมีความคงทนของแสงสูงกว่าผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีแช่แข็ง

วิจิตร รัตนพานิ (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโลหะไอออนบางตัว เช่น  $Ni^{2+}$  และ  $Al^{3+}$  กับสีครั้งที่ได้มาทางการค้าและที่สกัดได้รวมทั้งกับกรดแลคติก A และ B โดยศึกษาวิธี-วิธีเบิลสเปคตรา ของสีครั้งว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเกิดอันตรกิริยา พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโลหะไอออนจะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของ  $\lambda_{max}$  ของเบนดสีครั้ง ไปสู่ช่วงคลื่นที่มีพลังงานต่ำลงเช่นเดียวกับการเพิ่มพีเอชของสารละลายสีครั้งจาก 2 เป็น 10 จะเกิดการเคลื่อนที่ของเบนดไปสู่อุณหภูมิสูง การศึกษานี้ยังพบว่า แอ็บซอร์บเบนดของเบนดสีครั้งและกรดแลคติก A และ B จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโลหะไอออนที่ใช้เพิ่มขึ้น ในส่วนการศึกษาการย้อมสีใหม่ พบว่าการใช้อะลัมเป็นสารมอร์แดนท์ในการย้อมใหม่ จะทำให้ได้ไหมที่มีเจดสีต่างๆกันเกิดขึ้น

สุภาพ ฐูการ (2544 : บทคัดย่อ) ศึกษาการย้อมไหมด้วยใบกล้วย โดยใช้สารมอร์แดนท์หลังการย้อม 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม กรดน้ำส้ม เหล็ก และจีไธ้ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ คือ 2,4,6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่าผ้าที่ใช้จีไธ้เป็นสารมอร์แดนท์มีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าผ้าที่ใช้สารส้ม เหล็ก และกรดน้ำส้ม เป็นสารมอร์แดนท์ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์มีผลไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง พบว่า ผ้าที่ใช้เหล็กเป็นสารมอร์แดนท์มีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าผ้าที่ใช้สารส้ม จีไธ้ และกรดน้ำส้ม เป็นสารมอร์แดนท์ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์มีผลไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู พบว่า ผ้าที่ใช้กรดน้ำส้มเป็นสารช่วยติดมีความคงทนของสีต่อการขัดถูสูงกว่าผ้าที่ใช้สารส้ม จีไธ้ และเหล็กเป็นสารมอร์แดนท์ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นของสารมอร์แดนท์มีผลไม่แตกต่างกัน

อนุรัตน์ สายทอง (2544 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาวิธีการทำผงครามธรรมชาติ และวิธีการเตรียมสีครามจากครามผงธรรมชาติ ทำการวิจัยโดยแช่ใบครามสดใบในน้ำ และเติมปูนขาวในน้ำครามแยกเอาเนื้อครามไปผึ่งให้หมาดแล้วอบต่อไปในตู้อบ จนกระทั่งน้ำนักครามแห้งคองที่นำครามแห้งมาบดเป็นผงและเก็บไว้ในภาชนะปิด ทำการเตรียมสีครามสีครามจากครามผงสี 2 วิธี โดยวิธีแรก อุ่นครามผงผสมฝุ่นผงสังกะสีในน้ำปูนใส ทดสอบสีครามในสารละลายโดยดูสเปคตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-611 นาโนเมตร เปรียบเทียบเอกสารอ้างอิง วิธี

ที่ 2 ผสมครามผงปริมาณต่างๆในน้ำขี้เถ้า ทดสอบสีครามโดยการย้อมเส้นฝ้ายทุกวัน เป็นเวลา 30 วัน เปรียบเทียบความเข้มของสีฝ้ายที่ย้อมในแต่ละวัน นอกจากนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพของสารต่างชนิดที่ใช้ปรับพีเอช ที่มีผลต่อระยะเวลาการเกิดสีและการติดสีของเส้นใยฝ้ายและไหม ผลการวิจัยพบว่าเนื้อคราม 500 กรัม ผึ่งแดด 2 วัน และอบต่ออีก 1 วัน ที่อุณหภูมิ 60°C ได้ครามผง 134.84 กรัม สีครามที่ได้จากครามผงผสมฝุ่นผงสังกะสีแล้วอุ่นในน้ำปูนใสที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C มี  $\lambda_{\max}$  405 นาโนเมตร และสีครามที่ได้จากครามผงอย่างน้อย 12 กรัม ผสมน้ำขี้เถ้า 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำส้มสายชู 5% ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ 10.5 ใช้เวลา 7 วัน จึงเกิดสีย้อมติดเส้น เมื่อเพิ่มปริมาณครามผงมากขึ้น แล้วปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากัน จะเกิดสีย้อมในวันที่ 7 เช่นกันและสีเข้มกว่าน้ำต้มมะขามเปรี้ยวเป็นสารที่ดีที่สุด ที่ใช้ปรับพีเอชทำให้เกิดสีครามเร็วและย้อมติดดี ทั้งฝ้ายและไหมรองลงไปคือกรดทาร์ทาริก

อนุรัตน์ สายทอง (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตสีครามซึ่งได้ศึกษากระบวนการผลิตสีครามและศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเตรียมสีครามจากการวิเคราะห์ผล พบว่ากระบวนการผลิตสีครามจากต้นครามประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่การเตรียมน้ำครามแช่ใบครามสดในน้ำ การเตรียมเนื้อครามโดยดกตะกอนด้วยการเติมออกซิเจนและปูนขาวในน้ำคราม การเตรียมสีครามโดยละลายเนื้อครามในน้ำขี้เถ้าและปูนขาว สัดส่วน 180 กรัม ต่อ น้ำขี้เถ้า 500 มิลลิลิตร และปูนขาว 100 กรัม pH 10.5 การย้อมครามโดยนำฝ้ายที่หมาดน้ำ ขย่ำย้อมกับน้ำสีครามให้ฝ้ายถูกย้อมแล้วผสมกับอากาศจึงขย่ำซ้ำอีกกระทำสลับกันไป

ปาเจรา พัฒนถาบุตร และคณะ (2546 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการลดปริมาณสารมอร์แดนที่ชนิดโลหะหนักในการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติโดยเทคโนโลยีการสร้างสารอนินทรีย์ชั้นบาง จุดมุ่งหมายเพื่อลดปริมาณโลหะหนักที่ใช้ในการช่วยย้อมสี โดยการสร้างสารอนินทรีย์ชั้นบาง (ITLT) มาปรับแต่งผิวเส้นใยของไหม ประกอบด้วยการสร้างสารมอร์แดนที่มีโครงสร้าง 2 ชั้นของสารอนินทรีย์ที่เชื่อมโยงกัน

จากผลการวิเคราะห์ด้วย UV-VIS ผ้าไหมที่ผ่านการปรับแต่งโดยสารมอร์แดนที่มีโครงสร้าง 2 ชั้น มีค่าร้อยละของการดูดซับสีและค่าร้อยละของการผืนสีเพิ่มขึ้นมาก โดยสามารถลดปริมาณการใช้โลหะออกไซด์ โดยวิธีการย้อมแบบดั้งเดิมมากกว่า 10% และจากการวัดสีของผ้าไหมด้วยเครื่องวัดสี (Colour Spectrophotometer) พบว่าเมื่อใช้โลหะมอร์แดนที่ต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างของเฉดสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติชนิดเดียวกัน

## 2. งานวิจัยต่างประเทศ

Young-A.Son, Jin-Pyo Hong, Tae-Kyung Kim (2004 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการย้อมเส้นใยพอลิเอสเตอร์โดยสีครามและทดสอบคุณสมบัติความคงทนต่อการซักฟอก การย้อมเส้นใยพอลิเมอร์ด้วยสีวัตของสีคราม สีวัตโดยทั่วไปเหมาะสมสำหรับการย้อมสีวัตจากเส้นใยเซลลูโลส สามารถนำมาพิจารณาในการย้อมสีวัตจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ได้ โดยเฉพาะเมื่อต้องการให้มีความคงทนต่อการทดสอบการซัก งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะและพฤติกรรมที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ นอกจากนี้ยังทำการฟอกซ้ำหลายๆครั้งในกระบวนการย้อมสีคราม เปรียบเทียบกับผลการย้อมดิสเพิร์ส โดยตรวจสอบคุณสมบัติความคงทนต่อการซักฟอก การวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่าเมื่อเวลาในการย้อมเพิ่มขึ้น องค์ประกอบของสีครามจะมีโครงสร้างเปลี่ยน ไปการติดสีในการย้อมลดลง และจากการเปรียบเทียบระบบการย้อมสีครามดิสเพิร์สและระบบ leuco พบว่าระบบดิสเพิร์สของสีครามมีผลเล็กน้อยต่อการแทรกซึมของสีย้อม

นิชิดา และ โคบายาชิ (Nishida and Kobayashi. 1992 : 61-62, อ้างถึงใน สุภาพ รุ่งการ. 2544 : 36) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสมบัติความคงทนของสีธรรมชาติจากพืช ภายหลังจากการย้อมทับด้วยสารช่วยติดต่างชนิดกัน โดยย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีจากต้นยูคอน (Ukon) และต้นคาริยาสุ (Kariyasu) แล้วย้อมทับด้วยสารช่วยติด 2 ชนิด คือ อลูมินัมและเหล็ก ผลปรากฏว่าผ้าไหม และผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยต้นคาริยาสุ แล้วย้อมทับด้วยเกลือของเหล็ก จะมีความคงทนของสีต่อแสงดีกว่าผ้าไหม และผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยต้นยูคอนที่ย้อมทับด้วยเกลือของเหล็ก ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมทับด้วยเกลือของเหล็กสูงกว่า ผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมทับด้วยเกลือของอลูมินัม ส่วนความคงทนของสีต่อการซักของผ้าที่ย้อมด้วยเกลือของอลูมินัมกับเกลือของเหล็กแตกต่างกัน แต่ผ้าที่ย้อมทับด้วยเกลือของเหล็กเข้มกว่าผ้าที่ย้อมด้วยเกลือของอลูมินัม จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารช่วยติดที่ใช้มีผลต่อความคงทนของสีต่อแสง ต่อการซักและสีของผ้าที่ได้มีความแตกต่างกันตามชนิดของสารช่วยติด

ทาฮาโรนิ และเอลฟีเธริยาดิส (Tsatsaroni and Elefthriadis. 1994 : 313-315, อ้างถึงใน สุภาพ รุ่งการ. 2544 : 36) ได้ทำการวิจัยย้อมขนสัตว์ด้วยสีจากหญ้าฝรั่ง (Crocus sativus L.) โดยใช้เกลือของโลหะเป็นสารมอร์แดนท์ คือเหล็กซัลเฟต (Iron sulphate) อลูมิเนียม ซัลเฟต (Aluminium sulphate hexahydrate) โซเดียม โพแทสเซียมทาร์เตต (Sodium potassium ttrate tetrahydrate) และซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride) พบว่า เหล็กซัลเฟต มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ใช้สารมอร์แดนท์ รองลงมาคือ โซเดียม โพแทสเซียมทาร์เตต (Sodium potassium ttrate tetrahydrate) และซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride) ตามลำดับ เมื่อนำผ้า

ชนสัตว์ที่ได้ไปทดสอบความคงทนต่อการซัก พบว่า สีย้อมเป็อนติดสีผ้าทดสอบ ความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับพอใช้ ส่วนความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับต่ำ

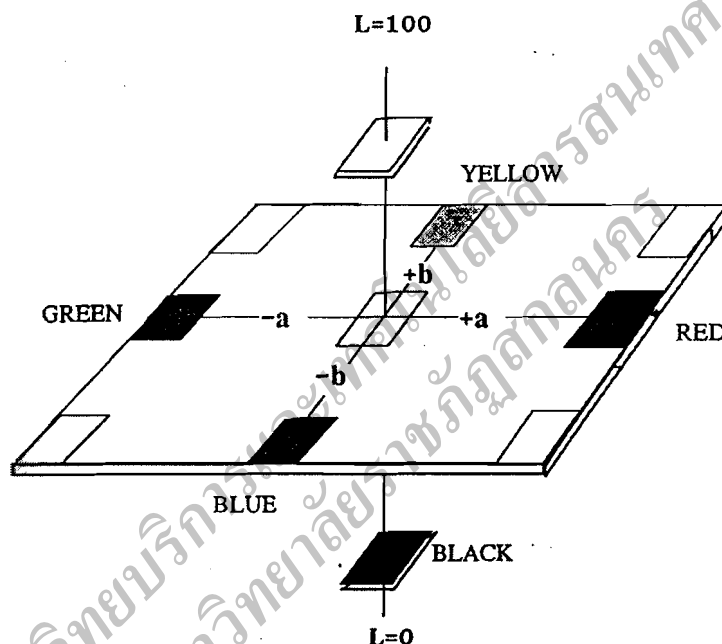
N. Meksi, M. Kechida , F. Mhenni (2007 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันและคุณภาพของสีย้อม โดยใช้สีย้อมอินดิโกซึ่งโดยทั่วไปแล้วสีย้อมอินดิโกจะใช้โซเดียมไฮไดรอกไซด์เป็นตัวรีดิวซ์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคใหม่ของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของอินดิโก โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอัลคาไลน์ ซึ่งปฏิกิริยารีดักชันจะเกิดในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 40-70 องศาเซลเซียส แล้วทำการไทเทรตน้ำย้อมในอ่างย้อม โดยปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 55 องศาเซลเซียส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้น 1%

เมื่อนำผ้าฝ้ายมาย้อมสีพบว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่อุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้นเทคนิค “6 dip 6 mip” ที่นำมาใช้เหมาะสมกับการย้อม ผลที่ได้จากการย้อมให้ค่าสีที่ 660 นาโนเมตร และผลที่เหมาะสมที่สุดคือ 40 องศาเซลเซียส และใช้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้น 1%

สำนักวิทยบริการและหอสมุด  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

### 2.3 Observer คือผู้สังเกตการณ์

CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (CIELAB) เป็นระบบการวัดสีที่พัฒนาจากระบบ Tristimulus Value ( $x$   $y$  และ  $z$ ) และ CIE Chromaticity Coordinates ( $x$   $y$  และ  $z$ ) โดยปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงจนสามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันสมการที่ใช้ในการระบุสีเป็นที่ยอมรับกว้างขวางคือ CIELAB 1979 ซึ่งมีลักษณะของ Color space ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 CIELAB 1976 แสดง  $L$ ,  $a$ ,  $b$  Color space

( ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2542 : 17)

โดย  $L^*$  ใช้กำหนดค่าความสว่าง (lightness) ของสี

ถ้า  $L^*$  มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ

ถ้า  $L^*$  มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาว

$a^*$  ใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (red – green)

ถ้า  $a^*$  เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง

ถ้า  $a^*$  เป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีเขียว

$b^*$  ใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (yellow-blue)

ถ้า  $b^*$  เป็นบวก หมายถึงความเป็นสีเหลือง

ถ้า  $b^*$  เป็นลบ หมายถึงความเป็นสีน้ำเงิน

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

##### 1. เครื่องมือ

1.1 เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectroscopy) ยี่ห้อ Shimadzu

รุ่น SRS 3400

1.2 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6400

กำลังขยาย 10-300,000 เท่า แรงดันไฟฟ้า 0.2 – 40 กิโลวัตต์

1.3 เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) ยี่ห้อ Perkin Elmer

รุ่น 100

1.4 เครื่อง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer ) ยี่ห้อ

AGILENT รุ่น CE 7500

1.5 เครื่อง UV-Visible Spectroscopy ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1601

##### 2. อุปกรณ์

2.1 ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร (volumetric flask :250 cm<sup>3</sup>)

2.2 ปิเปตขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร (Pipet : 10 cm<sup>3</sup>)

2.3 บีกเกอร์ ขนาด 50 ,250 และ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (beaker:50,250,1000cm<sup>3</sup>)

2.4 แท่งคน (Stirring rod )

2.5 เครื่องชั่งละเอียด (Balance) 4 ตำแหน่ง

2.6 ฝ้ายเบอร์ 8 (Cotton fiber No. 8)

2.7 จานให้ความร้อน (Hot plate)

- 2.8 เครื่องกวนไฟฟ้า (Magnetic stirrer)
- 2.9 เกรย์สเกล (Grey Scale for stain Assessing)
- 2.10 ผ้าบลูวูล (Blue wool)
- 2.11 ผ้าประคบระหว่างการซักฟอก
- 2.12 ชุดทดสอบความคงทนต่อการซัก
- 2.13 ชุดวางชั้นทดสอบความคงทนต่อแสงแดด
- 2.14 ตู้อบ (Hot Air ; Oven) ยี่ห้อ Memmert

### 3. สารเคมี

3.1 สารมาตรฐานของโลหะไอออน อะลูมิเนียมซัลเฟต(Aluminium sulfate: $Al_2(SO_4)_3$ ) , เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride: $FeCl_3$ ),แมกนีเซียมซัลเฟต(Magnesium sulfate: $MgSO_4$ )และ โซเดียมซัลเฟต(Sodium sulfate:  $Na_2SO_4$ )(AR grade) บริษัทแกมมาโก ประเทศไทย จำกัด

- 3.2 น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionize water)
- 3.3 ผงสังกะสี (Zinc powder)
- 3.4 ปูนขาว หรือแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide)
- 3.5 ครามผงมาตรฐาน (Standard Indigo blue powders)
- 3.6 สารละลายเอทานอล 95 % (95% Ethanol solution )

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของโลหะไอออนในดินโคลน และดินลูกรัง ต่อการติดสีครามของเส้นฝ้าย เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการวิจัยดังนี้

#### 1. การเก็บตัวอย่างดินโคลน และดินลูกรัง

1.1 นำดิน โคลนที่ชาวบ้านเตรียมเพื่อข้อมผ้า โดยเอาดิน โคลนมาผสมน้ำในอัตราส่วนดิน โคลน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 3 ลิตร แล้วกรองเอาส่วนที่เป็นสารละลาย

1.2 ดินลูกรังนำมาผสมกับน้ำอัตราส่วนดินลูกรัง 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 3 ลิตร เช่นเดียวกับดิน โคลน แล้วกรองเอาส่วนที่เป็นสารละลาย



## 2. วิเคราะห์หาชนิดของโลหะไอออนในดินโคลน และดินลูกรัง โดยใช้เครื่อง

### XRF (X-ray Fluorescence Spectroscopy)

นำสารละลายตัวอย่างดินโคลน และดินลูกรัง ที่เตรียมได้จากข้อ 1. มาทำการวิเคราะห์หาชนิดของโลหะไอออน โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectroscopy)

## 3. การเตรียมน้ำย้อมด้วยวิธีทางเคมี

3.1 อุณหภูมิ 1,000 มิลลิลิตร ในภาชนะเคลือบหรือสแตนเลสขนาดจุประมาณ 1 ลิตร

3.2 ชั่งครามผงมาตรฐาน 1.2 กรัม ในภาชนะเคลือบหรือสแตนเลสเช่นกันผสมเอทานอลเล็กน้อย คนให้กลมกลืนกัน แบ่งน้ำอุ่นจากข้อ 1 เล็กน้อยผสมลงในผงคราม ค่อยๆ คนอย่างช้าๆ ให้เข้ากัน

3.3 ชั่งปูนขาว 20 กรัม กับฝุ่นผงสังกะสี 12 กรัม ในภาชนะเคลือบหรือ สแตนเลส แบ่งของเหลวจากข้อ 2 ทีละน้อยผสมลงไป ค่อยๆ คนอย่างช้าๆ ให้ผสมกันดีทั้งหมด

3.4 ผสมของเหลวข้อ 3 ทั้งหมดลงในน้ำอุ่นข้อ 1 ในภาชนะตั้งไฟอ่อนๆ อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ใช้ไม้พายหรือแท่งแก้วคน คนของเหลวแรงๆ ให้เกิดฟอง ใช้เวลาคนประมาณ 5 นาที หรือสังเกตเห็นของเหลวเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวปนเหลืองฟองใสไม่มีสี เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินขุ่น ยกภาชนะลงจากเตา พักของเหลวไว้ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง

3.5 นำสารละลายส่วนบนของน้ำย้อมครามที่เตรียมได้ไปวัดค่าความยาวคลื่นสูงสุด เพื่อนำไปคำนวณค่าร้อยละการดูดซับสี และร้อยละการผืนสี

3.6 นำน้ำย้อมไปย้อมเส้นใยฝ้ายตามขั้นตอนการทำมอร์แดนที่ต่อไป

## 4. การเตรียมน้ำย้อมเส้นใยฝ้ายก่อนย้อม

4.1 การต้มแยกไขมัน ชั่งฝ้ายมา 300 กรัม เติมน้ำ 3,000 มิลลิลิตร เติมผงซักฟอก 5 กรัม ให้ความร้อนจนกระทั่งเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ล้างฝ้ายให้สะอาดโดยใช้ น้ำกลั่น 3,000 มิลลิลิตร ตากให้แห้ง

4.2 การชั่งน้ำหนักฝ้าย นำฝ้ายที่ผ่านการแยกไขมันแล้วมาตัดให้ได้ความยาว 15 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักฝ้ายให้ได้ มัดละ 0.5 กรัม นำไปอบอีกจนกว่าจะได้น้ำหนักฝ้ายที่คงที่ นำออกมาเก็บไว้ในเคซิเคเตอร์เพื่อทำการย้อมต่อไป

## 5. วิธีการย้อมสีครามแบบมอร์แคนท์

5.1 การทำมอร์แคนท์ก่อนย้อม การเตรียมสารละลายของ  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $MgSO_4$  และ  $Na_2SO_4$  ให้อยู่ในรูปของออกไซด์  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  และ  $Na_2O$  ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

5.1.1 คำนวณปริมาณ  $Al_2(SO_4)_3$  ที่ทำให้เกิด  $Al_2O_3$  5 % โดยน้ำหนักของเส้นใยฝ้าย ละลายในน้ำ 5 ml (ดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ก)

5.1.2 นำฝ้ายที่เตรียมไว้ลงแช่ในสารละลายที่เตรียมได้ และเค็มเอทานอล 95 % พอท่วมเส้นใย แล้วแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำไปอังด้วยไอน้ำในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (ปาเจรา พัฒนถาบุตร. 2543 : 49)

5.1.3 นำเส้นใยฝ้ายไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักฝ้ายจนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักฝ้าย

5.1.4 นำฝ้ายลงแช่น้ำย้อมครามที่เตรียมไว้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนกว่าน้ำจะใส จากนั้นนำฝ้ายไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักฝ้ายอีกครั้ง

5.1.5 นำน้ำย้อมหลังย้อมและน้ำล้างฝ้ายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) เพื่อนำไปหาการดูดซับสีและการหนีสี (ดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ก)

5.1.6 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนจาก  $Al_2(SO_4)_3$  เป็น  $FeCl_3$ ,  $MgSO_4$  และ  $Na_2SO_4$  ตามลำดับ

5.2 การทำมอร์แคนท์หลังย้อม การเตรียมสารละลายของ  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $MgSO_4$  และ  $Na_2SO_4$  ให้อยู่ในรูปของออกไซด์  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  และ  $Na_2O$  ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

5.2.1 โดยคำนวณปริมาณ  $Al_2(SO_4)_3$  ที่ทำให้เกิด  $Al_2O_3$  5 % โดยน้ำหนักของเส้นใยฝ้าย ละลายในน้ำ 5 ml (ดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ก)

5.2.2 นำฝ้ายลงแช่น้ำย้อมครามที่เตรียมไว้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนกว่าน้ำจะใส จากนั้นนำฝ้ายไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักฝ้ายจนคงที่

5.2.3 นำฝ้ายที่ย้อมครามแล้วลงแช่ในสารละลายที่เตรียมได้ และเติมเอทานอล 95 % พอท่วมเส้นฝ้าย แล้วแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำไปอังด้วยไอน้ำ ในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

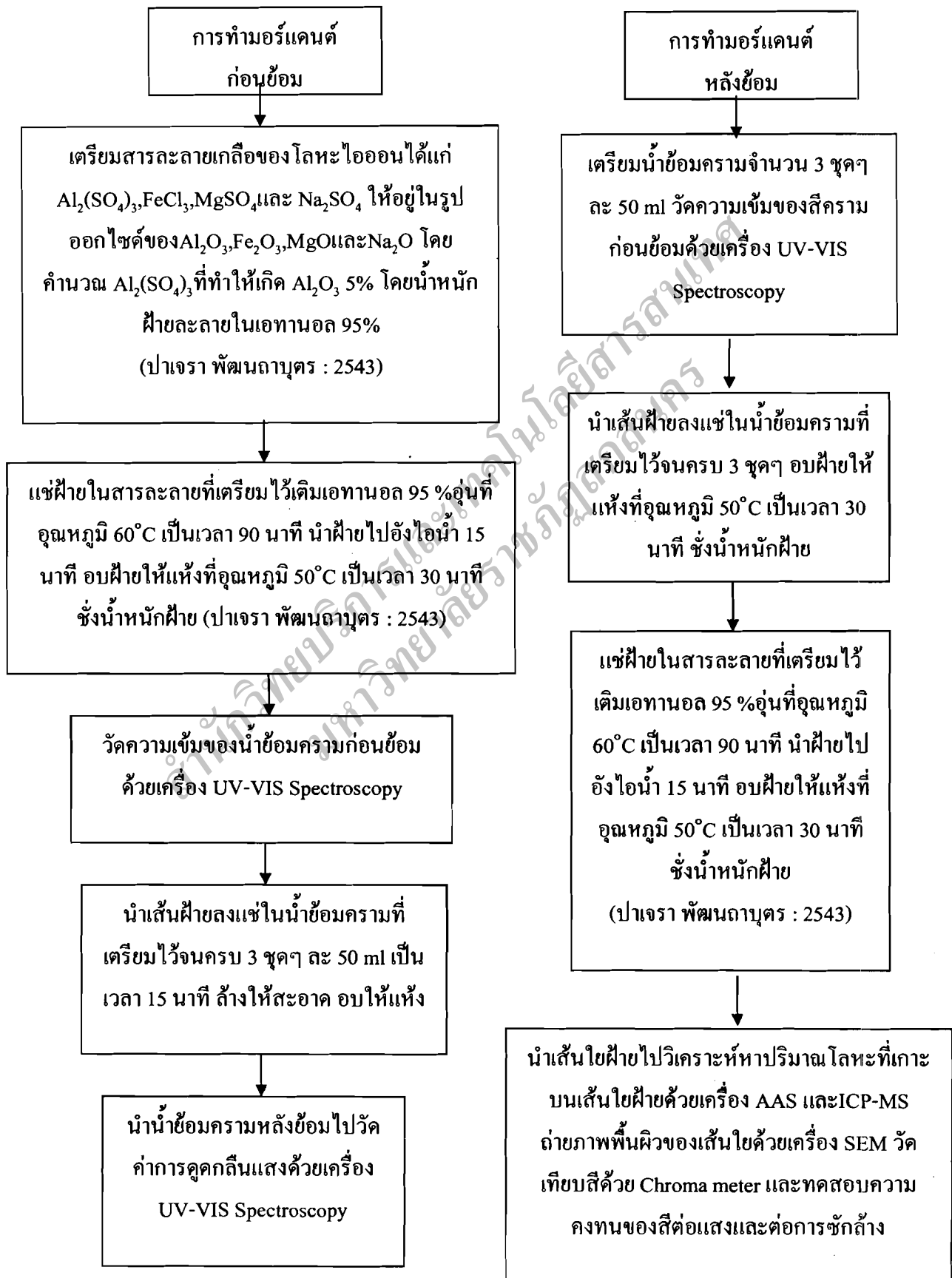
5.2.4 นำเส้นใยฝ้ายไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักฝ้ายจนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักฝ้าย

5.2.5 นำน้ำย้อมหลังย้อมและน้ำล้างฝ้ายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) เพื่อนำไปหาค่าการดูดซับสี และการผืนสี (ดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ก)

5.2.6 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนจาก  $Al_2(SO_4)_3$  เป็น  $FeCl_3$ ,  $MgSO_4$  และ  $Na_2SO_4$  ตามลำดับ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

## แผนผังการทดลองขั้นตอนการทำมอร์แดนต์



**6. การทดสอบการยึดติดของโลหะไอออนกับสีครามและเส้นใยฝ้าย เปรียบเทียบ กับเส้นใยที่ไม่ได้ใส่สารมอร์แดนท์ ด้วยเครื่องSEM (Scanning electron microscope)**

นำเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีครามโดยใช้โลหะไอออนเป็นสารช่วยติดไปถ่ายภาพ ลักษณะการยึดติดสีกับเส้นใย ดังนี้

- 6.1 เส้นใยฝ้ายที่ไม่ได้ใส่สารมอร์แดนท์แต่ย้อมสีคราม
- 6.2 เส้นใยฝ้ายที่ผ่านการทำมอร์แดนท์แล้วจากข้อ 5. มาถ่ายภาพ
- 6.3 นำภาพถ่ายที่ได้มาเปรียบเทียบลักษณะการติดสี

**7. การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะไอออนที่เหลือนบนเส้นใยฝ้ายหลังการทำมอร์แดนท์ ด้วยเครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) และเครื่อง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer)**

นำเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการทำมอร์แดนท์ด้วยไอออนโลหะทั้ง 4 ชนิด ได้แก่  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $Na^+$  ทั้ง 2 แบบ ดังนี้

- 7.1 คั้นย่อยเส้นใยฝ้ายด้วยกรดซัลฟิวริก 98 % ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จนกว่าจะ ได้สารละลายใส
- 7.2 นำสารละลายที่ได้ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร ให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 7.3 นำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะบนเส้นใยฝ้ายด้วยเครื่อง AAS และเครื่อง ICP-MS

**8. การประเมินการติดสี**

**8.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง**

**8.1.1 อุปกรณ์**

- 8.1.1.1 ผ้าขาวที่มีชิ้นใยหลายชนิด ขนาด 40 X 100 มิลลิลิตร
- 8.1.1.2 เกรย์สเกลสำหรับอ่านค่าการเปลี่ยนสี และการเปลี่ยนสี ตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14-2518
- 8.1.1.3 สบู่ มีความเข้มข้นไม่มากกว่าร้อยละ 5 และไม่มีสารเรืองแสงปน

### 8.1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

8.1.2.1 ตัวอย่างที่เป็นผ้าให้ตัดชิ้นทดสอบขนาด 40 X 100 มิลลิเมตร ใช้ผ้าขาว 2 ชั้นปิดด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นทดสอบ แล้วเย็บริมทั้งสองด้าน

8.1.2.2 ตัวอย่างที่เป็นเส้นใยให้เตรียมชิ้นทดสอบครึ่งหนึ่งของน้ำหนักรวมของผ้าขาวทั้งสองชั้น วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว ใช้ผ้าขาว 2 ชั้นปิดด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นทดสอบ แล้วเย็บริมทั้งสองด้าน

### 8.1.3 การทดสอบ

8.1.3.1 วางชิ้นทดสอบลงในอ่างน้ำร้อน เติมน้ำกลั่นให้ท่วมชิ้นงาน จากนั้นเติมสบู่ในอัตราส่วน 5 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

8.1.3.2 ปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำร้อนเป็น  $50 \pm 2$  องศาเซลเซียส ปั่นกวนชิ้นทดสอบด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 นาที

8.1.3.3 นำชิ้นทดสอบออกจากอ่างน้ำร้อน ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นสองครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลาเป็นเวลา 10 นาที บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ เลาะด้ายที่เย็บออกสามด้าน โดยเว้นด้านสั้นไว้ด้านหนึ่ง

8.1.3.4 ผึ่งชิ้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าชิ้นส่วนทั้งสามออกจากกัน

8.1.3.5 หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ และค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวโดยใช้เกรย์สเกล(Gray scale)

## 8.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

### 8.2.1 อุปกรณ์

8.2.1.1 ผ้าสีมาตรฐาน เป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงิน มีอัตราความคงทนของสีต่อแสงมีค่าระดับ 1 (มีความคงทนต่ำสุด) ถึงระดับ 8 (มีความคงทนสูงสุด)

8.2.1.2 แผงสำหรับวางชิ้นทดสอบผึ่งแดด มีแผ่นแก้วปิดด้านบน วางห่างจากชิ้นทดสอบ 50 มิลลิเมตร

8.2.1.3 กระจกทึบแสง เป็นแผ่นกระจกแข็งหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์

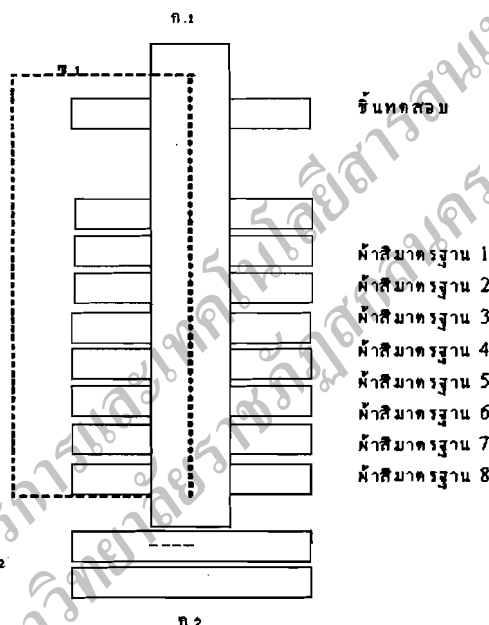
8.2.1.4 เกรย์สเกล ตามมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14-2518

## 8.2.2 การเตรียมชั้นทดสอบ

8.2.2.1 ชั้นทดสอบที่เป็นผ้าฝ้าย ตัดให้มีขนาด 10 X 60 มิลลิเมตร ชั้นทดสอบ ที่เป็นเส้นด้าย ให้พันรอบแผ่นกระดาษแข็ง ขนาด 10 X 60 มิลลิเมตร

8.2.2.2 ตัดผ้ามาตรฐานให้มีขนาด 10 X 60 มิลลิเมตร

8.2.2.3 เรียงชั้นทดสอบ และผ้ามาตรฐาน ดังภาพประกอบ 14 ที่ตำแหน่ง ก.1 ปิดแผ่นทึบแสงไว้หนึ่งในสามตรงจุดกลาง (ตำแหน่ง ก.1 ก.2)



ภาพประกอบ 14 แสดงการเรียงชั้นทดสอบและผ้ามาตรฐานในการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

8.2.2.4 นำชั้นทดสอบ และผ้าสีมาตรฐานที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3 ไปผึ่งไว้ในแสงแดดตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน โดยให้ชั้นทดสอบเอียงหันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุมกับแนวระดับ ไม่ให้มีเงาที่เกิดจากสิ่งรอบ ๆ ตกบนชั้นทดสอบ

8.2.2.5 ให้เปิดแผ่นทึบแสงเพื่อตรวจดูการเปลี่ยนสีของผ้าสีมาตรฐานเป็นระยะๆ เมื่อสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีของชั้นทดสอบ ให้บันทึกระดับของผ้าสีมาตรฐานที่เปลี่ยนสีเท่ากับชั้นทดสอบไว้

8.2.2.6 ผึ่งชั้นทดสอบ และผ้าสีมาตรฐานต่อไปจนสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างส่วนที่ปิดไว้ กับส่วนที่ถูกแสงของชั้นทดสอบเท่ากับเกรด 4 ของเกรย์สเกล

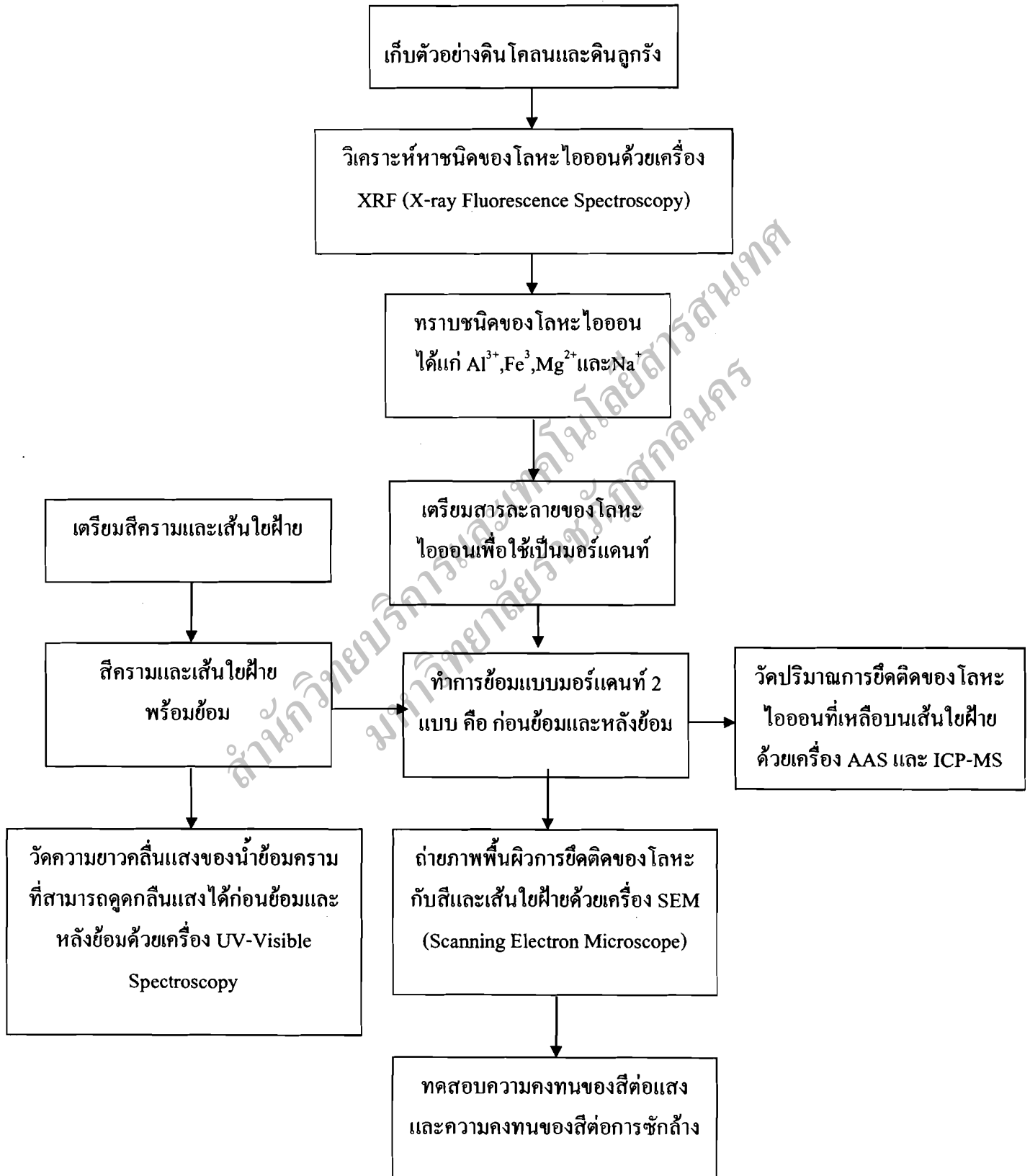
แล้วเอาแผ่นที่รับแสงอีกแผ่นหนึ่งปิดทับ ชั้นทดสอบ และผ้ามาตรฐานส่วนที่เหลืออีกหนึ่งในสาม (ตำแหน่ง ข.1ข.2)

8.2.2.7 ผึ่งแดดต่อไปจนกระทั่งความแตกต่างระหว่างส่วนที่ถูกแสงทั้งหมดกับส่วนที่ไม่ถูกแสงของชั้น ทดสอบเท่ากับเกรด 3 ของเกรย์สเกล ถ้าสีมาตรฐาน 7 ว่างเท่ากับเกรด 4 ของเกรย์สเกล ก่อนชั้นทดสอบ การทดสอบถือว่าสิ้นสุดเพราะชั้นทดสอบมีความคงทนของสีต่อแสงเป็น 7 หรือมากกว่า

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์



## แผนผังแสดงวิธีการทดลอง



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### ผลการวิจัย

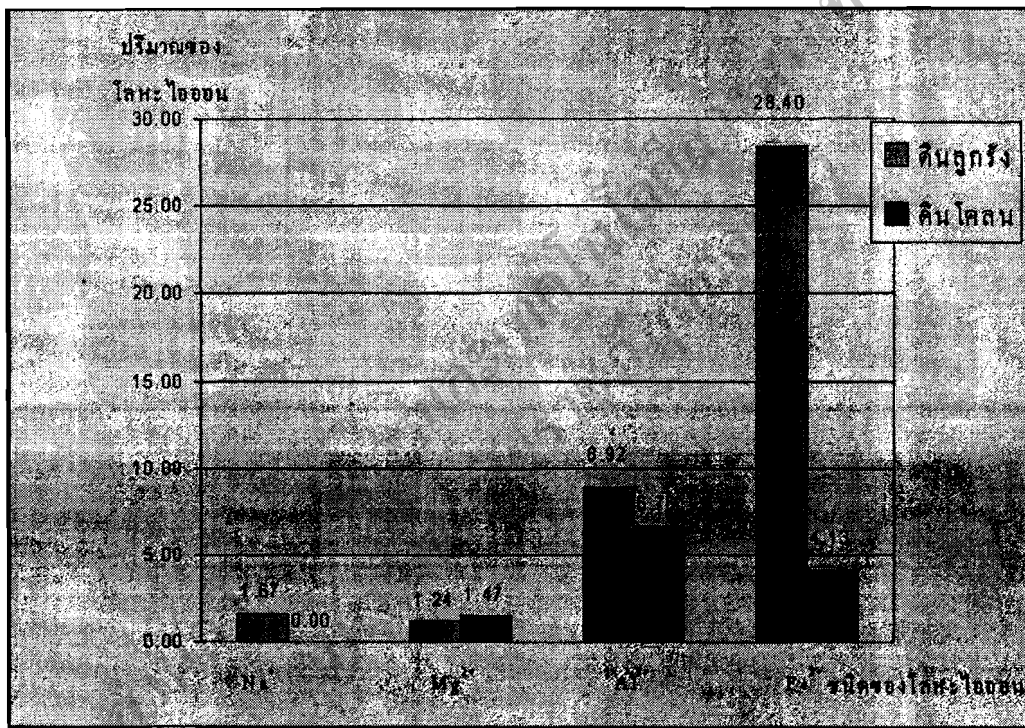
จากการวิจัยสามารถแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของโลหะไอออนในดิน โคลนและดินลูกรัง ด้วยเครื่อง เอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโกปี (X-ray Fluorescence Spectroscopy : XRF) พบชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบ ดังตาราง 9 ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบในดิน โคลนและดินลูกรัง

ผลการวิเคราะห์ดินโคลน		ผลการวิเคราะห์ดินลูกรัง	
ชนิดของธาตุที่พบ	ปริมาณที่พบ (%)	ชนิดของธาตุที่พบ	ปริมาณที่พบ (%)
Al	6.76	Al	8.92
Fe	4.13	Fe	28.4
Mg	1.47	Mg	1.24
Si	30.5	Na	1.67
P	0.387	O	37.8
S	0.194	Si	12.9
Cl	0.437	S	0.397
K	2.14	Cl	3.46
Ca	4.92	K	1.51
Ti	0.941	Ca	2.32
Mn	0.167	Ti	0.576
Cu	0.196	Cr	0.0977
Zr	0.107	Cu	0.201

(ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectroscopy) โครงการศูนย์วิจัยและบริการ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2550)

จากข้อมูลในตาราง 9 พบว่าธาตุชนิดต่างๆมีปริมาณแตกต่างกัน ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ธาตุที่เป็นโลหะบางชนิดที่มีปริมาณมากและนิยมใช้เป็นสารมอร์แดนท์ที่แพร่หลาย ได้แก่  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $Na^+$  ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงชนิดและปริมาณโลหะไอออนที่พบในดินโคลนและดินอุกกรัง

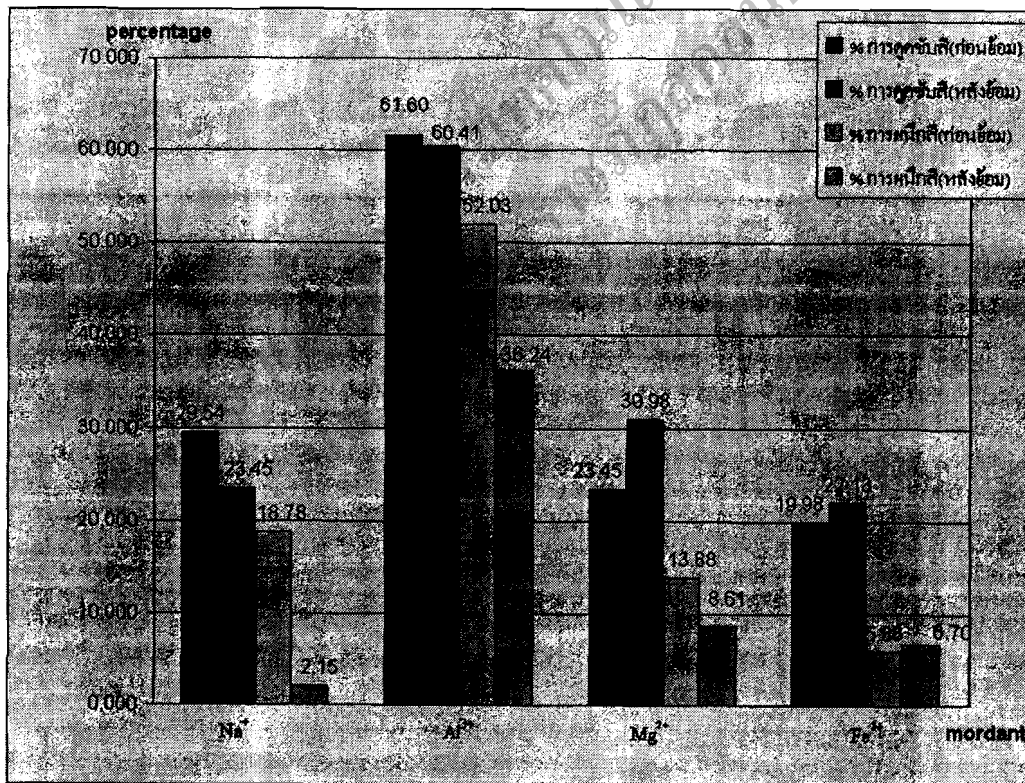
2. การวัดประสิทธิภาพของการย้อมสี โดยการวัดร้อยละการดูดซับสี และร้อยละของการฟีนิกสี ของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมสีครามในการทำมอร์แดนท์ 2 แบบ ได้ผลดังนี้

2.1เส้นใยฝ้ายที่ทำมอร์แดนท์ก่อนย้อม มีค่าร้อยละการดูดซับสี(เลขตัวหน้า) และร้อยละการฟีนิกสี(เลขตัวหลัง) ของสารมอร์แดนท์ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ  $Al^{3+}$ (61.60,52.03) ,  $Mg^{2+}$  (33.45,13.88) ,  $Na^+$ ( 29.54,18.78) และ  $Fe^{3+}$  (19.98,5.86) ตามลำดับ

2.2 เส้นใยฝ้ายที่ทำมอร์แดนท์หลังข้อมมีค่าร้อยละการดูดซับสี(เลขตัวหน้า) และร้อยละการฟีนิกสี(เลขตัวหลัง) ของสารมอร์แดนท์ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ  $Al^{3+}$  (60.41,36.24),  $Mg^{2+}$  (30.98,8.61)  $Fe^{3+}$  (22.13,6.70) และ  $Na^+$  (23.45,2.15) ตามลำดับ

2.3 เส้นใยฝ้ายที่ข้อมสีครามแต่ไม่ใส่สารมอร์แดนท์มีค่าร้อยละการดูดซับสีเท่ากับ 18.78 % และร้อยละการฟีนิกสี เท่ากับ 7.42 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเส้นใยฝ้ายที่ข้อมครามและใส่สารมอร์แดนท์

2.4 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการดูดซับสีและร้อยละการฟีนิกสีในการทำมอร์แดนท์ก่อนข้อมและการทำมอร์แดนท์หลังข้อมของเส้นใยฝ้ายทั้งหมด พบว่าการทำมอร์แดนท์ก่อนข้อมให้ค่าร้อยละการดูดซับสีและร้อยละการฟีนิกสีที่ดีกว่าการทำมอร์แดนท์หลังข้อม และมีค่ามากกว่าเส้นใยฝ้ายที่ข้อมครามไม่ใส่สารมอร์แดนท์ ดังภาพประกอบ 16



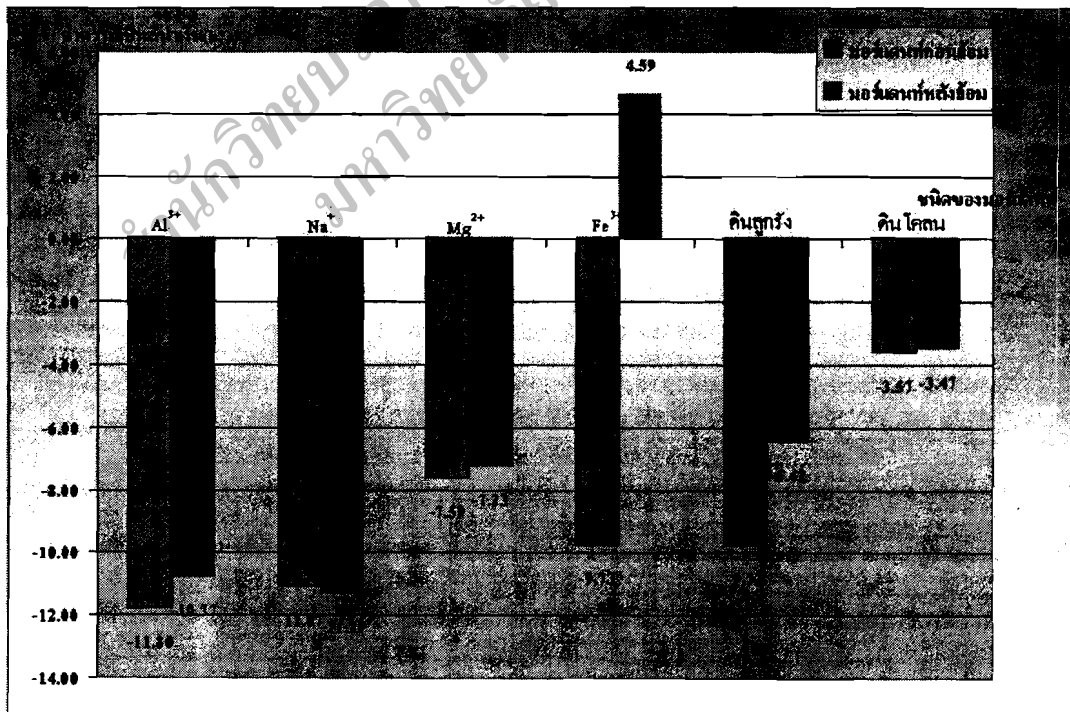
ภาพประกอบ 16 แสดงการเปรียบเทียบการดูดซับสีและการฟีนิกสีของเส้นใยฝ้ายที่ข้อมสีครามและใส่สารมอร์แดนท์แต่ละชนิด

3. การวัดเปรียบเทียบความเข้มสีของเส้นใยฝ้ายด้วยเครื่องวัดเทียบสี chroma meter ที่ย้อมด้วยดิน โคลน ดินลูกรัง เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยโลหะไอออนชนิดต่างๆ เส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามเพียงอย่างเดียว และเส้นใยฝ้ายที่ไม่ได้ย้อม ผลที่ได้พิจารณาจากค่า  $b^*$  ซึ่งจะให้ค่าความเป็นสีน้ำเงินเข้มมาก เมื่อ  $b^*$  มีค่าเป็นลบมาก และค่า  $b^*$  ให้ค่าความเป็นสีน้ำเงินเมื่อตำแหน่งของสีอยู่ที่ 270-280 องศา ดังนี้

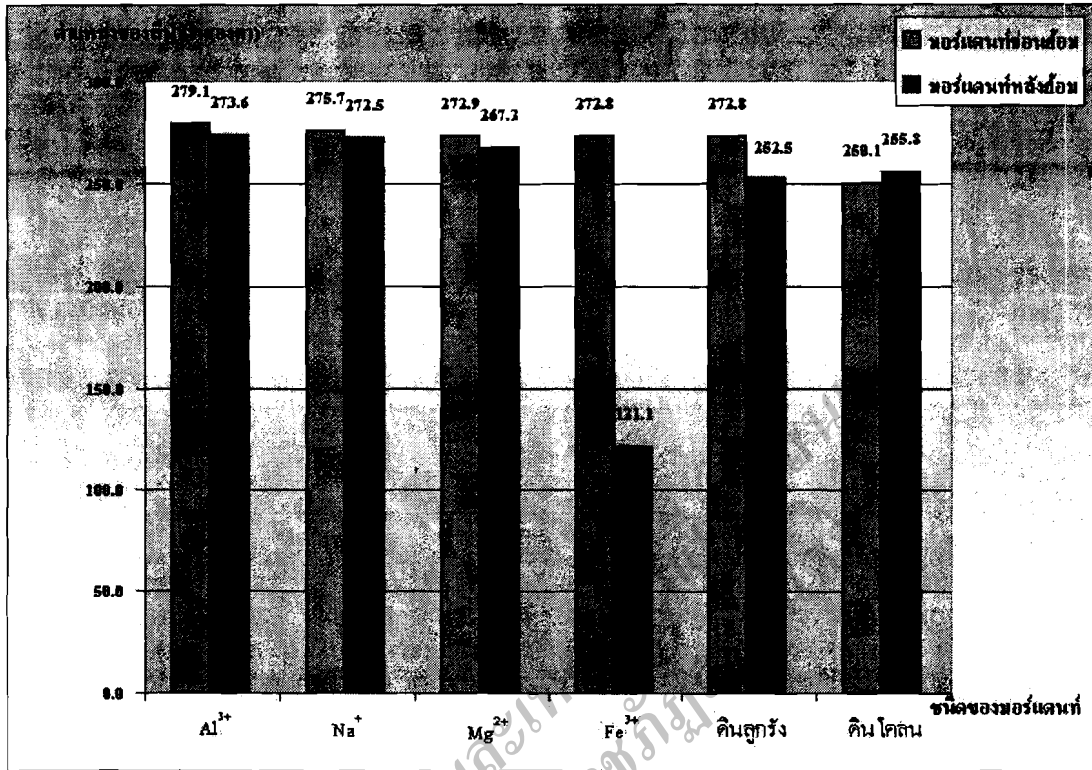
3.1 เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดิน โคลน และดินลูกรัง เป็นสารมอร์แดนท์ ทั้งการทำมอร์แดนท์ก่อนและหลังย้อม พบว่า เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดินลูกรังมีความเป็นสีน้ำเงินที่เข้มกว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดิน โคลน ดังตาราง 10

3.2 เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยโลหะไอออน 4 ชนิด ที่ใช้เป็นสารมอร์แดนท์ ในการทำมอร์แดนท์ก่อนและหลังย้อม พบว่า  $Al^{3+}$  เป็นสารมอร์แดนท์ที่ให้สีน้ำเงินที่เข้มมากที่สุดเช่นกัน รองลงมา คือ  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $Fe^{3+}$  ตามลำดับ ดังตาราง 10

3.3 เปรียบเทียบเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดิน โคลน ดินลูกรัง และโลหะไอออนทั้ง 4 ชนิดกับเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามไม่ใส่สารมอร์แดนท์ พบว่า เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดิน โคลน ดินลูกรัง และโลหะไอออนทั้ง 4 ชนิดมีสีน้ำเงินเข้มกว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามเพียงอย่างเดียว ดังตาราง 9 และภาพประกอบ 17, 18



ภาพประกอบ 17 แสดงค่าความเป็นสีน้ำเงิน ( $b^*$ )ของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยมอร์แดนท์ชนิดต่างๆ



ภาพประกอบ 18 แสดงตำแหน่งของการเป็นสีน้ำเงินของเส้นใยฝ้ายที่ข้อมด้วยมอร์แดนท์ชนิดต่างๆ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏ

ตาราง 10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมสีครามใส่สารมอร์แคนท์และ  
เส้นใยฝ้ายที่ย้อมไม่ใส่สารมอร์แคนท์

ชนิดของสารมอร์แคนท์	ลักษณะของสีที่ ติดบนเส้นใยฝ้าย	ค่าที่วัดได้เมื่อใส่สารมอร์แคนท์	
		มอร์แคนท์ก่อนย้อม	มอร์แคนท์หลังย้อม
Al <sup>3+</sup>	L*	37.28	48.61
	a*	+1.91	+0.69
	b*	-11.8	-10.77
	C*	11.95	10.79
	h*	279.1	273.6
Na <sup>+</sup>	L*	40.28	48.68
	a*	+1.12	+0.5
	b*	-11.07	-11.29
	C*	11.12	11.3
	h*	275.7	272.5
Mg <sup>2+</sup>	L*	30.52	54.05
	a*	+0.39	-0.36
	b*	-7.59	-7.23
	C*	7.6	7.23
	h*	272.9	267.2
Fe <sup>3+</sup>	L*	43.93	51.62
	a*	+0.49	-2.77
	b*	-9.73	+4.59
	C*	9.74	5.36
	h*	272.8	121.1
ดินฐกรัง	L*	46.55	52.2
	a*	+0.49	+0.75
	b*	-9.73	-6.24
	C*	9.74	6.28
	h*	272.8	252.5
ดินโคลน	L*	47.22	54.23
	a*	-1.3	-1.7
	b*	-3.57	-3.47
	C*	3.79	3.59
	h*	250.1	255.8
ฝ้ายย้อมครามที่ไม่ใส่ สารมอร์แคนท์	L*	28.38	
	a*	+0.32	
	b*	-6.42	
	C*	6.43	
	h*	272.5	
ฝ้ายปกติที่ไม่ได้ ย้อมคราม	L*	82.31	
	a*	+0.74	
	b*	+15.15	
	C*	15.16	

## หมายเหตุ

L\* ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง

L\* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง สีดำ

L\* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึง สีขาว

a\* ค่าขออกความเป็นสีแดง-เขียว

a\* เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง

a\* เป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีเขียว

b\* ค่าขออกความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน

b\* เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีเหลือง

b\* เป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน

C\* ค่าขออกความสดของสีที่มีความสว่างหนึ่งๆ

h\* ค่าขออกตำแหน่งของสี

h\* เท่ากับ 0 องศา (360 องศา) แสดงว่า เป็นสีแดง

h\* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่า เป็นสีเหลือง

h\* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่า เป็นสีเขียว

h\* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่า เป็นสีน้ำเงิน

4. ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างและความคงทนของสีต่อแสงแดดของเส้นใยฝ้ายที่ไม่ย้อมคราม เส้นใยฝ้ายที่ย้อมคราม เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดินโคลนและดินลูกรัง และเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยสารมอร์แคนท์ ได้ผลดังนี้

4.1 เส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามไม่ใส่สารมอร์แคนท์มีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 2/3 ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี เช่นเดียวกับเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยดินโคลน และดินลูกรัง ส่วนเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามและใส่โลหะไอออนเป็นสารมอร์แคนท์ มีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 3-4 ซึ่งอยู่ในระดับดี โดย  $Al^{3+}$  มีระดับความคงทนมากที่สุดที่ระดับ 4 รองลงมาคือ  $Mg^{2+}$  ที่ระดับ 3 สำหรับ  $Fe^{3+}$  และ  $Na^+$  ที่ระดับ 1/2 ตามลำดับดังข้อมูลในตาราง 11

4.2 เส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามไม่ใส่สารมอร์แคนท์ มีความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 2/3 เป็นระดับที่ค่อนข้างดี ส่วนดินโคลนมีความคงทนของสีต่อแสงแดด อยู่ในระดับ 2 เป็นระดับที่ต่ำและดินลูกรังมีความคงทนของสีต่อแสงแดด อยู่ในระดับ 3 เป็นระดับที่ดี และเส้นใยฝ้ายที่ย้อมสีครามและใส่สารมอร์แคนท์แต่ละชนิด พบว่ามีความคงทนของสีต่อแสงในระดับ 3-4 ซึ่งอยู่ในระดับดี โดยที่  $Al^{3+}$  มีความคงทนของสีต่อแสงแดดมากที่สุดที่ระดับ 4 รองลงมาคือ  $Fe^{3+}$  ที่ระดับ 3/4  $Na^+$  ที่ระดับ 3 และ  $Mg^{2+}$  ที่ระดับ 2/3 ตามลำดับ ดังข้อมูลในตาราง 11



ตาราง 11 ระดับความคงทนของสีผ้าเมื่อใช้โลหะไอออนเป็นมอร์แคนท์

ชนิดของโลหะไอออนที่เป็นมอร์แคนท์	ระดับความคงทนของสีต่อแสงแดด <sup>1</sup> (LF)		ระดับความคงทนของสีต่อการซักล้าง <sup>2</sup> (WF)			
	มอร์แคนท์ก่อนซัก	มอร์แคนท์หลังซัก	มอร์แคนท์ก่อนซัก		มอร์แคนท์หลังซัก	
			สีเปลี่ยน	สีตกบนผ้าขาวมาตรฐาน	สีเปลี่ยน	สีตกบนผ้าขาวมาตรฐาน
Al <sup>3+</sup>	4	3	4/5	3/4	3	4
Na <sup>+</sup>	3	3	1/2	4/5	1/2	4/5
Mg <sup>2+</sup>	2/3	2	1/2	4	3	4/5
Fe <sup>3+</sup>	1/4	3	1/2	4/5	3	4
ดินลูกรัง	3		2/3	4/5	-	-
ดินโคลน	2		1/2	4	-	-
เส้นใยฝ้ายซักคราม	2/3		2/3	4/5	-	

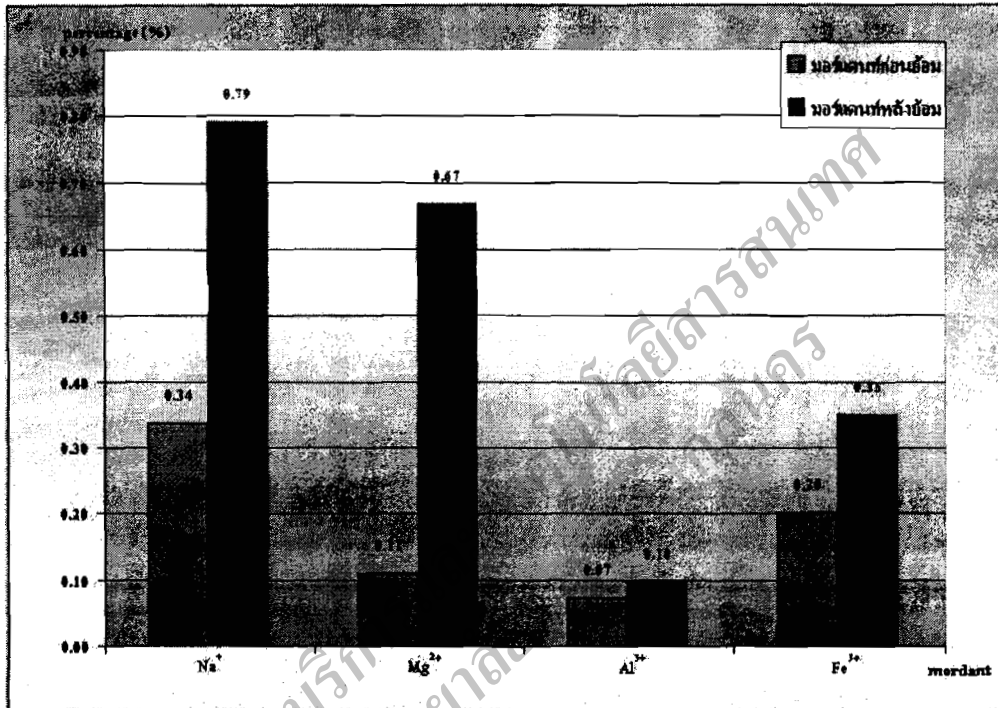
<sup>1</sup> ระดับความคงทนของสีต่อแสงแดด(LF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-8 โดยที่ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อแสงแดดต่ำที่สุด และระดับ 8 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อแสงแดดสูงที่สุด สำหรับสีธรรมชาติระดับความคงทนของสีต่อแสงแดดที่ยอมรับได้คือ ตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป

<sup>2</sup> ระดับความคงทนของสีต่อการซักล้าง (WF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยที่ ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักล้างต่ำที่สุด และระดับ 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนต่อการซักล้างสูงที่สุด

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะไอออนที่เกาะอยู่บนเส้นใยฝ้าย ด้วยเครื่อง AAS และ ICP-MS เมื่อทำมอร์แคนท์ทั้ง 2 แบบ พบว่า

5.1 เส้นใยฝ้ายที่ทำมอร์แคนท์ก่อนซักมีปริมาณของโลหะไอออนเกาะบนเส้นใยฝ้ายเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ Na<sup>+</sup> 0.34 %, Fe<sup>3+</sup> 0.20 %, Mg<sup>2+</sup> 0.11% และ Al<sup>3+</sup> 0.07% โดยน้ำหนักของฝ้าย

5.2 เส้นใยฝ้ายที่ทำมอร์แดนท์หลังต้ม มีปริมาณโลหะไอออนเกาะบนเส้นใยฝ้าย เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ  $\text{Na}^+$  0.79 % ,  $\text{Mg}^{2+}$  0.67 % ,  $\text{Fe}^{3+}$  0.35 % และ  $\text{Al}^{3+}$  0.10 % ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของโลหะไอออนที่เกาะบนเส้นใยฝ้ายก่อนและหลังทำมอร์แดนท์

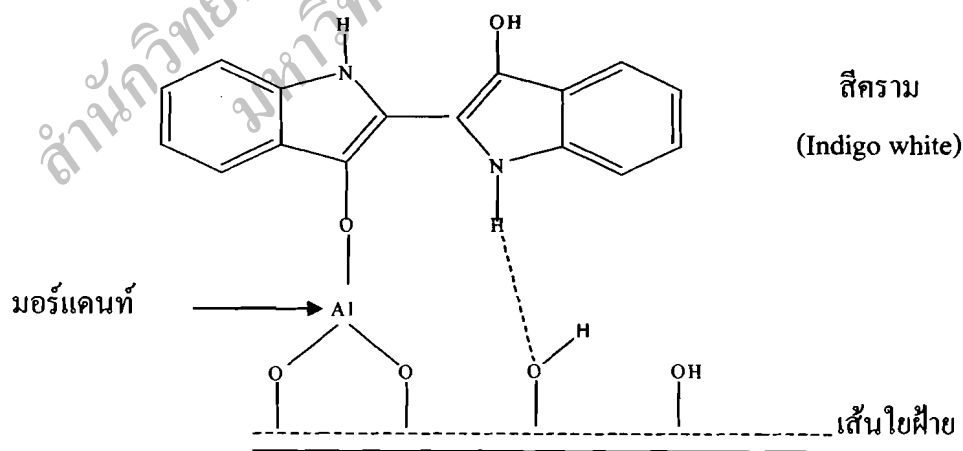
6. ผลการถ่ายภาพพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายที่ข้อมครามโดยใส่โลหะเป็นสารมอร์แดนท์ และเส้นใยฝ้ายที่ไม่ข้อมคราม ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เพื่อตรวจวิเคราะห์หาโลหะไอออนที่เกาะอยู่บนเส้นใยฝ้าย ซึ่งผลการวิเคราะห์ไม่พบโลหะไอออนที่เหลือเกาะอยู่บนเส้นใย เนื่องจากปริมาณโลหะไอออนมีน้อย ทำให้เครื่องไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

## อภิปรายผล

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าในดินโคลนและดินลูกรังมีโลหะไอออนเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ ดินลูกรังมีชนิดและปริมาณโลหะไอออนที่สามารถนำมาใช้เป็นสารมอร์แดนท์หลายชนิดด้วยกัน ได้แก่  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  และ  $\text{Na}^+$  ซึ่งมากกว่าในดินโคลน จึงมีผลทำให้เส้นใยฝ้ายที่ข้อมด้วยดินลูกรังมีสีที่เข้มกว่าดินโคลน และการที่โลหะไอออนมีความสามารถเฉพาะตัวในการเป็นสารมอร์แดนท์ จึงทำให้สีครามที่ติดบนเส้นใยฝ้ายมีความเข้มของสีที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งเป็นเพราะโลหะไอออนแต่ละชนิดสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ต่างกันตามสมมติฐาน ดังนี้

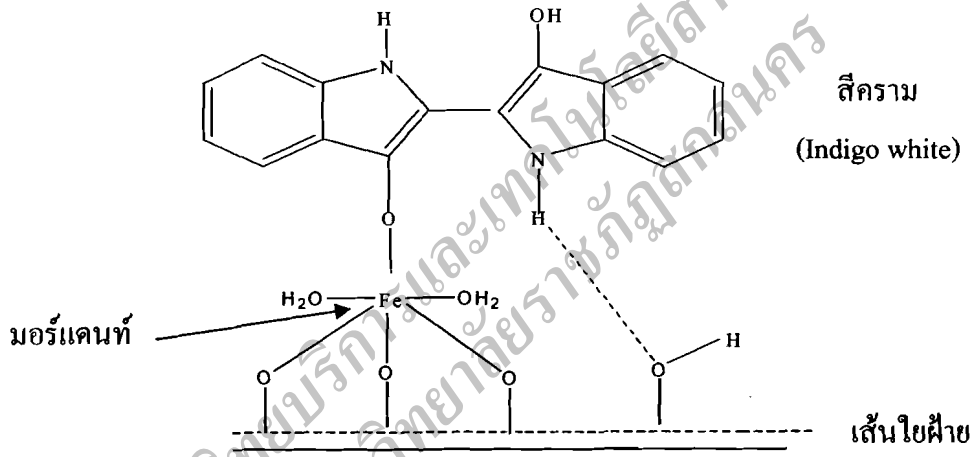
1.  $\text{Al}^{3+}$  ไอออน เป็น โลหะ ไอออนที่ทำให้สีครามสามารถยึดติดบนเส้นใยฝ้ายได้ดีที่สุด เพราะ  $\text{Al}^{3+}$  มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3 ซึ่งสามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรงกับสีครามและเส้นใยฝ้ายได้ดี นอกจากนี้ระหว่างโมเลกุลของสีครามและเส้นใยฝ้ายยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงได้ด้วย จึงทำให้สีครามที่ยึดติดบนเส้นใยฝ้ายมีความคงทนของสีต่อการซักล้าง และมีความคงทนของสีต่อแสงแดดเพิ่มขึ้นด้วย

ดั่งภาพประกอบ 20 (ปาเจรา พัฒนถาบุตร. 2543 : 5)



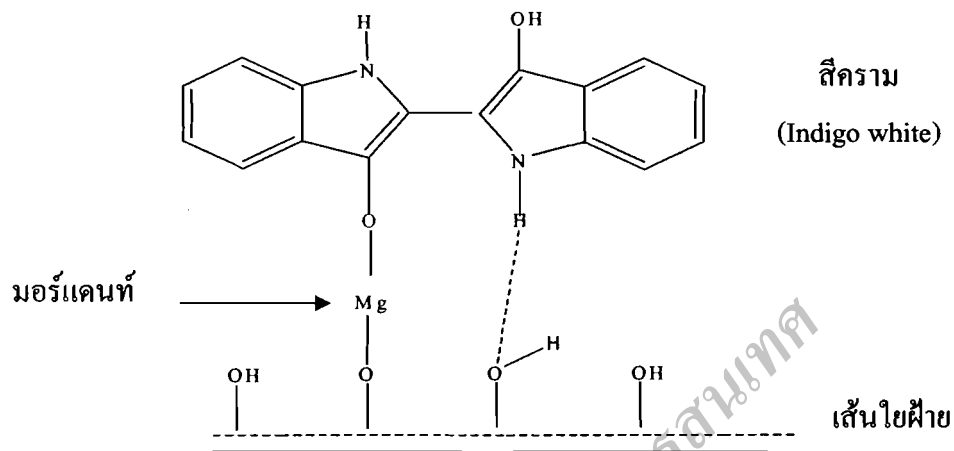
ภาพประกอบ 20 แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้ายโดยมี  $\text{Al}^{3+}$  เป็นมอร์แดนท์

2.  $\text{Fe}^{3+}$  ไอออน มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 6 ซึ่งสามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับสีครามและเส้นใยฝ้ายเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรงได้มากกว่า  $\text{Al}^{3+}$  แต่ให้สีน้ำเงินที่เข้มน้อยกว่าเนื่องจาก  $\text{Fe}^{3+}$  เมื่อทำปฏิกิริยากับเอทานอลแล้วเกิดเป็น  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ซึ่งให้สีเหลืองอมแดง (ค่า  $b^*$  ต่ำลงน้อยที่สุด) ที่สามารถยึดติดกับเส้นใยฝ้ายได้ดีกว่าสีครามจึงทำให้สีที่ได้ไม่ใช่สีน้ำเงินของสีครามเพียงอย่างเดียวแต่เป็นสีน้ำเงินปนเหลือง แต่ยังคงให้ความคงทนของสีครามต่อการซักล้าง และความคงทนของสีครามต่อแสงแดดอยู่ในระดับที่ดี รองจาก  $\text{Al}^{3+}$  ดังภาพประกอบ 21



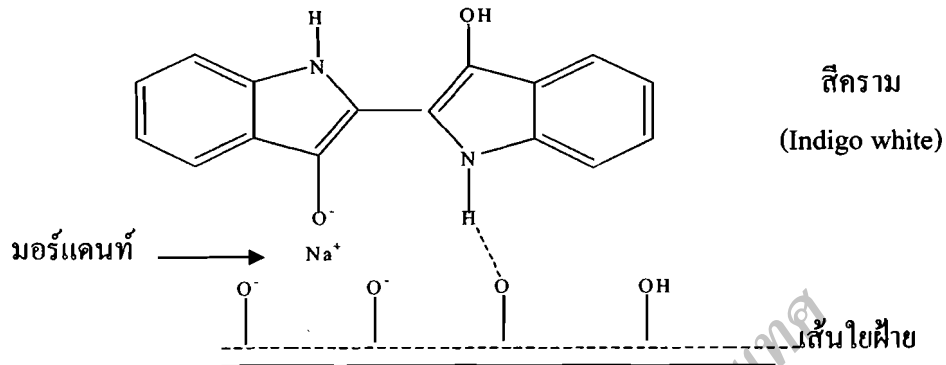
ภาพประกอบ 21 แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้าย โดยมี  $\text{Fe}^{3+}$  เป็นมอร์แดนท์

3.  $\text{Mg}^{2+}$  ไอออนมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 สามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับสีครามและเส้นใยฝ้ายได้เพียง 2 ตำแหน่ง ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่แข็งแรง จึงทำให้การยึดติดของสีครามบนเส้นใยฝ้าย และความคงทนของสีน้อยกว่า  $\text{Al}^{3+}$  และ  $\text{Fe}^{3+}$  ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้าย โดยมี  $Mg^{2+}$  เป็นมอร์แดนท์

4.  $Na^+$  ไอออน เนื่องจากมีประจุเป็น +1 จึงเกิดพันธะ โคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ยาก แต่สามารถเกิดพันธะ ไอออนิกกับสีครามและเส้นใยฝ้ายได้ง่ายกว่า เนื่องจากเส้นใยฝ้ายและสีครามมีประจุลบเมื่อแตกตัว ทำให้การดึงดูดสีครามเข้าสู่เส้นใยฝ้าย ไม่ค่อยดีนัก และสีครามก็สามารถยึดติดบนเส้นใยฝ้ายเพียงรอบนอกเท่านั้น แต่กลับทำให้ได้สีน้ำเงินที่เข้มมากรองจาก  $Al^{3+}$  (พิจารณาที่ค่า  $b^*$  และค่า  $h^*$ ) เพราะ  $Na^+$  ทำหน้าที่ปรับสมดุลของประจุลบทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุเกิดขึ้น จึงทำให้สีครามยึดติดกับเส้นใยได้ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ แต่ไม่คงทนเท่ากับพันธะของสารประกอบเชิงซ้อน ของ  $Al^{3+}$  กับเส้นใยฝ้าย ซึ่งพิสูจน์ได้จากค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อแสงแดดจะต่ำกว่านั่นเอง ดังภาพประกอบ 23 (อัญราพร ไสละสุต. 2527:65-69)



ภาพประกอบ 23 แสดงลักษณะการยึดเกาะระหว่างสีครามกับเส้นใยฝ้ายด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ โดยมี  $\text{Na}^+$  เป็นมอร์แดนท์

5. จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า  $\text{Al}^{3+}$  ไอออน เป็น โลหะ ไอออน ที่เหมาะสม ที่สุด ในการ นำมา ใช้ เป็น มอร์แดนท์ เพราะ สามารถ ดูดซับ สีคราม ได้ ปริมาณ มาก ที่ สุด ถึง ร้อย ละ 60.41 และ มีการ ผกผัน สูง ถึง ร้อย ละ 36.24 ถึงแม้ว่าจะ มี ปริมาณ ของ  $\text{Al}^{3+}$  ที่ เหลือ เกาะ อยู่ บน เส้น ใย ฝ้าย ปริมาณ น้อย เพียง ร้อย ละ 0.07 เมื่อ เทียบ กับ โลหะ ไอออน ชนิด อื่นๆ ซึ่ง วิเคราะห์ ผล โดย ใช้ เครื่อง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer)

6. ในการ วิจัย ครั้ง นี้ ได้ ทำ การ วิเคราะห์ หา ปริมาณ ความ เข้มข้น ที่ เหมาะสม ของ เกลือ โลหะ ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$  และ  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  มา เป็น สาร มอร์แดนท์ และ นำ มา ย้อม เส้น ใย ฝ้าย อยู่ 5 ระดับ ด้วย กัน คือ เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำ นัก ฝ้าย, เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำ นัก ฝ้าย, เข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำ นัก ฝ้าย, เข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำ นัก ฝ้าย และ เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำ นัก ฝ้าย โดย ความ เข้มข้น ที่ เหมาะสม ในการ นำ มา ใช้ เป็น สาร มอร์แดนท์ มาก ที่ สุด คือ ความ เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำ นัก ฝ้าย ของ ทุก มอร์แดนท์ เนื่องจาก ให้ ความ เข้ม ของ สีคราม ที่ ติด บน เส้น ใย ฝ้าย ได้ ดี ที่ สุด

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผล

จากการทดลองนำดิน โคลนและดินลูกรังมาใช้เป็นสารมอร์แดนท์ในการย้อมเส้นใยฝ้าย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ดินลูกรัง มีผลทำให้สีของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามทั้งก่อนและหลังทำมอร์แดนท์ เป็นสีน้ำเงินเข้ม คือมีค่า  $b^*$  ที่ -9.3 และ -6.24 และค่า  $h^*$  272.8 และ 255.8 ตามลำดับ ซึ่งเข้มกว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามโดยไม่ใส่สารมอร์แดนท์ มีค่า  $b^*$  ที่ -6.42 และค่า  $h^*$  272.5 และเมื่อทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อแสงแดด อยู่ในระดับ 3-4 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงดี และมากกว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามโดยไม่ใส่สารมอร์แดนท์เช่นกันที่มีค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อแสงแดด อยู่ในระดับ 2-3 อยู่ในระดับ พอใช้ถึงปานกลาง

2. โลหะไอออนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  และ  $Na^+$  ที่นำมาใช้เป็นสารมอร์แดนท์ สามารถเพิ่มปริมาณการดูดซับสีและการผนึกสีบนเส้นใยฝ้ายได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นใยฝ้ายที่ไม่ใส่สารมอร์แดนท์ และยังคงสมบัติความคงทนของสีต่อการซักล้างและความคงทนของสีต่อแสงแดดที่ระดับ 3-4 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงดี แม้ว่าจะมีโลหะ ไอออนเกาะบนเส้นใยฝ้ายเพียง 0.07-0.8 % ของน้ำหนักฝ้ายเท่านั้น

3. สารมอร์แดนท์จากธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาทำมอร์แดนท์ คือ ดินลูกรัง ส่วนโลหะ ไอออนที่เหมาะสมในการนำมาเป็นสารมอร์แดนท์มากที่สุด คือ  $Al^{3+}$  รองลงมาคือ  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  และ  $Na^+$  ตามลำดับ

4. สำหรับวิธีการทำมอร์แดนท์ที่เหมาะสม คือการทำมอร์แดนท์ก่อนย้อม เนื่องจากให้สีน้ำเงินที่เข้มมากที่สุด (เมื่อพิจารณาที่ค่า  $b^*$  และค่า  $h^*$ )

5. เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารมอร์แดนท์จากธรรมชาติที่ดีที่สุด คือ ดินลูกรัง และ โลหะไอออนที่นำมาใช้เป็นสารมอร์แดนท์พบว่า การนำโลหะไอออนมาเป็นมอร์แดนท์ทำให้เส้นใยฝ้ายมีสีน้ำเงินตามที่ต้องการมากกว่าดินลูกรัง แต่ถ้านำมาใช้ในกระบวนการย้อมสีคราม ตามภูมิปัญญาท้องถิ่น สารมอร์แดนท์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ต้องเป็นสารมอร์แดนท์จากธรรมชาติ

6. ชนิดของสารมอร์แดนท์มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีเนื่องจากการซัก และการเปลี่ยนแปลงของสีต่อแสง ของเส้นใยฝ้ายมีความแตกต่างกัน

### ข้อเสนอแนะ

1. การย้อมเส้นใยฝ้ายด้วยสีคราม พบว่า การใช้สารมอร์แดนท์มีผลทำให้ความเข้มของสีครามที่เกาะบนเส้นใยแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าต้องการสีครามที่มีความเข้มของสีต่างกัน ก็สามารถนำสารมอร์แดนท์ต่างๆ มาใช้ได้

2. จากการวิจัยพบว่าสารมอร์แดนท์ในธรรมชาติที่ทำให้สีครามเข้มตามต้องการ คือ ดินลูกรัง ดังนั้นควรนำดินลูกรังมาใช้เป็นมอร์แดนท์ และควรใช้ดินลูกรังที่มีสีแดงเข้ม เพราะจะให้สีครามที่ติดบนเส้นใยเข้มขึ้นด้วย

3. จากการนำเกลือของเหล็กมาเป็นสารมอร์แดนท์ พบว่าให้สีเหลืองปนน้ำเงิน และยังให้ความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงแดดอยู่ในระดับปานกลาง ในการทำมอร์แดนท์หลังย้อม ดังนั้นเมื่อต้องการฝ้ายย้อมครามที่มีเฉดสีที่แตกต่างจากเดิมก็ควรนำมาใช้เป็นมอร์แดนท์

4. ในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้ลูมิเนียม (III) ซัลเฟต พบว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารมอร์แดนท์มากที่สุด ในครั้งต่อไปควรเปลี่ยนมาใช้สารส้มแทน เพราะหาง่ายและประหยัด แต่ควรปรับ pH ให้เหมาะสม

5. ในการวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาโลหะไอออนในดินโคลนและดินลูกรังเพียง 4 ชนิด ควรทำการวิจัยโลหะไอออนชนิดอื่นๆมาใช้เป็นสารมอร์แดนท์ด้วย

6. ควรทดลองนำไหมมาย้อมด้วยสีคราม แต่จะต้องใช้สารมอร์แดนท์ในการย้อมจึงจะทำให้สีครามติดบนเส้นไหมได้ดี



## บรรณานุกรม

- กฤษยา โอตากะ. เคมีสิ่งแวดลอม. พิมพ์ครั้งที่ 2 : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- เทียนศักดิ์ เมฆพรรณ โอภาส และคณะ. การศึกษาการเป็นสีย้อมของพืชบางชนิดในท้องถิ่น.  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2543.
- ปาเจรา พัฒนถาวรและคณะ. การลดปริมาณสารมอร์แคนท์ชนิดโลหะหนักในการย้อมผ้า  
ใหม่ด้วย สีธรรมชาติโดยเทคโนโลยีการสร้างสารอนินทรีย์ชั้นบาง. กรุงเทพฯ :  
มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2543.
- ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง. การย้อมผ้าใหม่ด้วยเปลือกมังคุด. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. กรุงเทพฯ :  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- พูนศรี ลิ้มชูพรวิกุล. สารให้สีจากใบของต้นหูขวางและการใช้งานด้านการย้อมสีสิ่งทอ.  
วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2536.
- ไพศาล คงกาญจฉาย. เทคนิคการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีครั้ง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 2539. หน้า 44-45
- มาลินี เนียมพลับ. การใช้สารช่วยย้อมสีในการย้อมสีครั้ง. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. กรุงเทพฯ :  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2526.
- แม่น อมรสิทธิ์. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2535
- วิจิตร รัตนพานิ. การพัฒนากระบวนการย้อมสีจากครั้ง โดยการใช้โลหะเป็นสารช่วยย้อมสี.  
นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2546.
- วิทย์ เทียงบูรณธรรม. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ประชุมทองการ  
พิมพ์, 2539.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ.อุตสาหกรรม,กระทรวง. การอบรมการทดสอบความคงทน  
ของสีต่อการซัก ซักแห้ง กดทับด้วยความร้อน เหงื่อ น้ำ การขัดถู และสารฟอกขาว.  
28-29 สิงหาคม 2550. กรุงเทพฯ, 2542.
- สารพัชชางอุรธานี.วิทยาลัย. การมัดย้อมผ้าพื้นเมืองโดยสีธรรมชาติ, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้  
จาก : <http://udelec.i8.com/panvade1.htm> (20 สิงหาคม 2550)
- สุรีย์ พุตระกูล. การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน. เชียงใหม่ :  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.

- สุภาพ ฐ์การ. การย้อมไหมด้วยใบกล้วย. วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง , 2544.
- เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา. โลกและหิน. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น , 2538.
- สำนักบริการวิชาการ. เชียงใหม่. สีย้อมธรรมชาติ. มหาวิทยาลัย, 2538.
- อัจฉราพร ไสละสูต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : เทคนิค 19 การพิมพ์, 2527.
- อนรรตน์ สายทอง. การผลิตสีครามจากต้นคราม. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏสกลนคร, 2543.
- อนรรตน์ สายทอง. การเตรียมสีครามจากครามผงธรรมชาติ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏ- สกลนคร, 2544.
- อนรรตน์ สายทอง. การพัฒนาชุดความรู้ภูมิปัญญาชาวไทญ้อด้านสิ่งทอ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏสกลนคร, 2545.
- Marjo Moeyes. Natural Dyeing in Thailand. 4<sup>th</sup>ed. Bangkok :White Lotus.Ltd. 1993.
- N.Meksi, M.Kechida, F.Mhenni. Cotton dyeing by indigo with the borohydride process of some experimental conditions on indigo reduction and dyeing quality, J.131.Appl.Chem.Sci.,pp.187-193. 2007.
- Young-A.Son, Jin-Pyo Hong, Tae-Kyung Kim. An approach to the dyeing of polyester fiber using indigo and its extended wash fastness properties. J. Dye and pigment. Sci.,pp.263-272. 2004.

**ภาคผนวก ก**

**แสดงการคำนวณเพื่อเตรียมสารละลายยอร์แดน**

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

### การคำนวณเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายเกลือของโลหะ อะลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), ไอออน(III)คลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ), แมกนีเซียมซัลเฟต ( $\text{MgSO}_4$ ) และ โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) เพื่อให้เกิดออกไซด์ของโลหะ,  $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MgO}$  และ  $\text{Na}_2\text{O}$  5% โดยน้ำหนัก

$$\text{กำหนดให้น้ำหนักโมลของ } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 150$$

$$\text{และน้ำหนักโมลของ } \text{Al}_2\text{O}_3 = 102$$

$$\text{น้ำหนักของเส้นใย} = 0.5000 \text{ g}$$

ต้องเตรียมสารละลายของ  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  เพื่อให้เกิด  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5% โดยน้ำหนัก

$$= (0.05) \times (0.5000)$$

$$= 0.0250 \text{ g}$$

$$\text{ดังนั้น จำนวนโมลของ } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ที่เกิดขึ้น} = \frac{0.0250}{102}$$

$$= 2.45 \times 10^{-4} \text{ โมล}$$

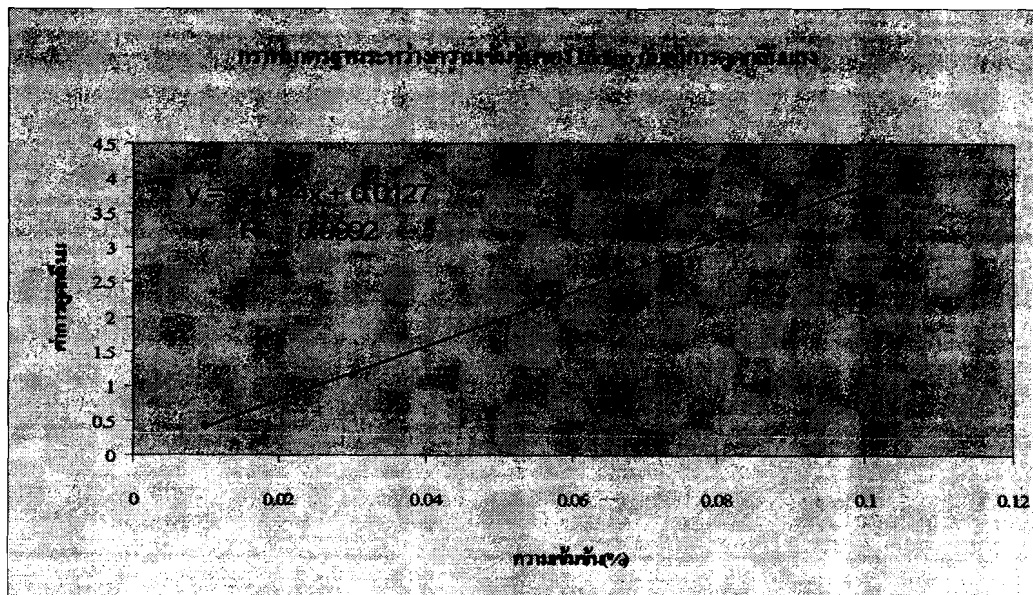
$$\text{จะต้องใช้ } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 2.45 \times 10^{-4} \times 150 \text{ กรัม}$$

$$= 0.03675 \text{ กรัม}$$

จากนั้นละลาย  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  กรัม ต่อน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายเอทานอล 95%จนท่วมตัวอย่าง

สำหรับสารละลายมาตรฐานชนิดอื่น ๆ คำนวณในตามวิธีข้างต้นจนครบทุกชนิด

2. การทำ calibration curve เพื่อประเมินประสิทธิภาพการติดสี ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer



3. การวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเชื่อมรวมทั้งก่อนและหลังทำมอร์แคนท์ ที่ความยาวคลื่น 363 นาโนเมตร โดยใช้ค่าเฉลี่ย

สารละลายของโลหะไอออน	น้ำเชื่อมก่อนเชื่อม	มอร์แคนท์ก่อนเชื่อม		มอร์แคนท์หลังเชื่อม	
		น้ำเชื่อมหลังเชื่อม	น้ำล้างฝ้าย	น้ำเชื่อมหลังเชื่อม	น้ำล้างฝ้าย
Na <sup>+</sup>	3.2767	2.312	0.3657	2.511	0.709
Al <sup>3+</sup>	3.2767	1.265	0.3257	1.306	0.801
Mg <sup>2+</sup>	3.2767	2.512	0.3237	2.267	0.744
Fe <sup>3+</sup>	3.2767	2.623	0.473	2.554	0.630

4. จากค่าการดูดกลืนแสงในข้อ 3 นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสีครามโดยใช้สมการจากการทำ calibration curve ในข้อ 2 คือ  $y = 39.044X + 0.0127$  ได้ข้อมูลดังตารางข้างล่าง

สารละลายของโลหะไอออน	ความเข้มข้นของสีครามก่อนเชื่อม [D <sub>a</sub> ]	มอร์แคนท์ก่อนเชื่อม		มอร์แคนท์หลังเชื่อม	
		ความเข้มข้นของสีครามหลังเชื่อม [D <sub>b</sub> ]	ความเข้มข้นของสีครามหลังล้างฝ้าย [D <sub>r</sub> ]	ความเข้มข้นของสีครามหลังเชื่อม [D <sub>b</sub> ]	ความเข้มข้นของสีครามหลังล้างฝ้าย [D <sub>r</sub> ]
Na <sup>+</sup>	0.0836	0.059	0.009	0.064	0.018
Al <sup>3+</sup>	0.0836	0.032	0.008	0.033	0.020
Mg <sup>2+</sup>	0.0836	0.064	0.008	0.058	0.019
Fe <sup>3+</sup>	0.0836	0.067	0.012	0.065	0.013

5. จากความเข้มข้นของสีครามที่คำนวณได้ในข้อ 4 นำมาหาค่าร้อยละการดูดซับสีและร้อยละการฟีนิกสี โดยใช้สมการ

$$\text{ร้อยละการดูดซับสี} = \frac{[D_a] - [D_b]}{[D_a]} \times 100\%$$

$$\text{ร้อยละการฟีนิกสี} = \frac{[D_a] - [D_b] - [D_r]}{[D_a]} \times 100\%$$

เมื่อ  $[D_a]$  = ความเข้มข้นของสีก่อนการย้อม

$[D_b]$  = ความเข้มข้นของสีหลังการย้อม

$[D_r]$  = ความเข้มข้นของสีหลังการล้าง

ซึ่งค่าร้อยละการดูดซับสีและร้อยละการฟีนิกสีของเส้นใยฝ้ายที่ใส่สารมอร์แดนท์ ดังตารางข้างล่าง

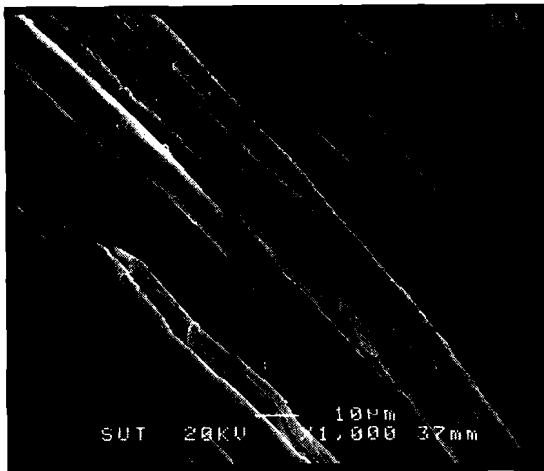
สารละลาย ของโลหะ ไอออน	มอร์แดนท์ก่อนย้อม		มอร์แดนท์หลังย้อม	
	% การดูดซับสี (% exhaustion)	% การฟีนิกสี (% dye fixation)	% การดูดซับสี (% exhaustion)	% การฟีนิกสี (% dye fixation)
$\text{Na}^+$	29.545	18.779	23.445	2.153
$\text{Al}^{3+}$	61.603	52.034	60.407	36.244
$\text{Mg}^{2+}$	23.445	13.876	30.981	8.612
$\text{Fe}^{3+}$	19.976	5.861	22.129	6.699

สำหรับเส้นใยฝ้ายที่ไม่ใส่สารมอร์แดนท์ มีค่าร้อยละการดูดซับสี 18.78 และร้อยละการฟีนิกสี 7.42

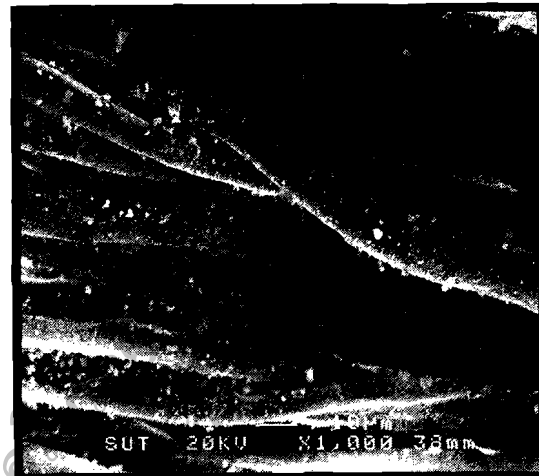
## ภาคผนวก ข

1. ผลการถ่ายภาพพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย ด้วยเครื่อง เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)
2. ภาพการซ่อมเส้นใยฝ้ายด้วยสียครามที่ใส่สารมอร์แดนต์
3. ภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ผลการถ่ายภาพพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายที่ข้อมครามและไม่ข้อมคราม ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ  
ส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าเส้นใยฝ้ายที่ไม่ได้ข้อมสีคราม จะมีลักษณะ  
พื้นผิวเรียบ ดังรูป 1.4 ส่วนเส้นใยฝ้ายที่ข้อมสีคราม จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ มีวัตถุประสงค์  
จำนวนมาก ดังรูป



รูปเส้นใยฝ้ายที่ไม่ได้ข้อมสีคราม

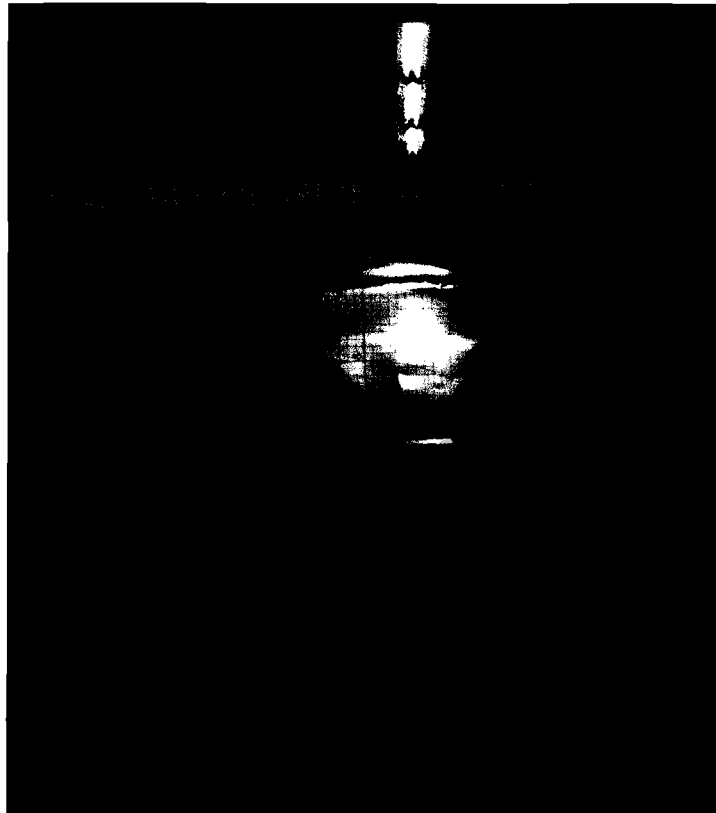


รูปเส้นใยฝ้ายที่ข้อมสีคราม

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏ



การเทียบระดับความเข้มสี ด้วยระบบ Chroma และความคงทนของสีต่อการซักล้าง และต่อแสงแดด



หมายเหตุ

L\* ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง

L\* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง สีดำ

L\* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึง สีขาว

a\* ค่าของความเป็นสีแดง-เขียว

a\* เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง

a\* เป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีเขียว

b\* ค่าของความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน

b\* เป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีเหลือง

b\* เป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน

C\* ค่าของความสัมพันธ์ของสีที่มีความสว่างหนึ่งๆ

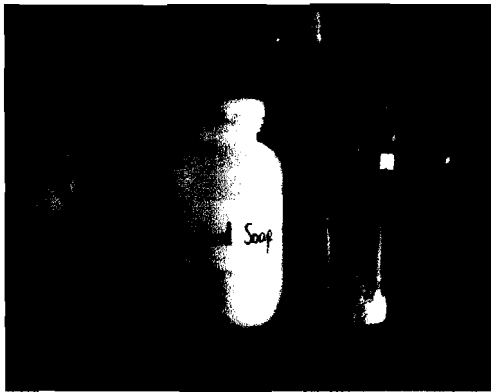
h\* ค่าของตำแหน่งของสี

h\* เท่ากับ 0 องศา (360 องศา) แสดงว่าเป็นสีแดง

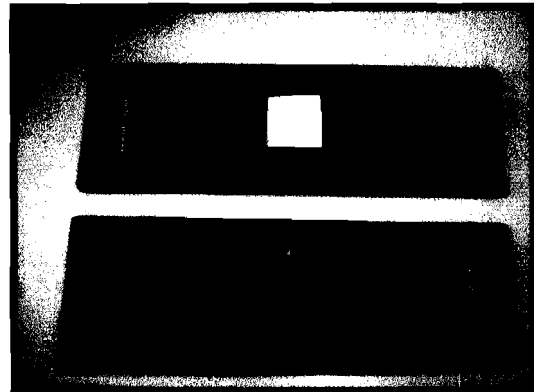
h\* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง

h\* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว

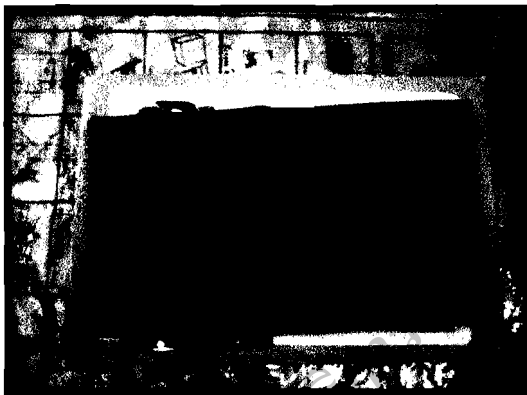
h\* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน



สบู สำหรับทดสอบความคงทนต่อการซัก



เกรย์สเกลประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสี และการเป็นสี



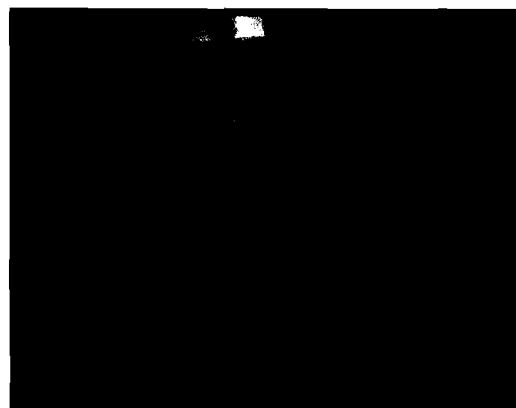
ผ้ามาตรฐานทดสอบความคงทนต่อแสงแดด (ผ้าบลูจอย)



ชิ้นทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด



ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง



การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง

ภาพเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยโลหะไอออนชนิดต่างๆ ด้วยวิธีการทำออร์แกนิกก่อนย้อม



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $Al^{3+}$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $Na^{+}$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $Mg^{2+}$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $Fe^{3+}$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยอินดูลูกรัง



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยอินโดนอน

ภาพเส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วยโลหะไอออนชนิดต่างๆ ด้วยวิธีการทำมอร์แดนท์หลังย้อม



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $\text{Fe}^{3+}$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $\text{Mg}^{2+}$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $\text{Al}^{3+}$

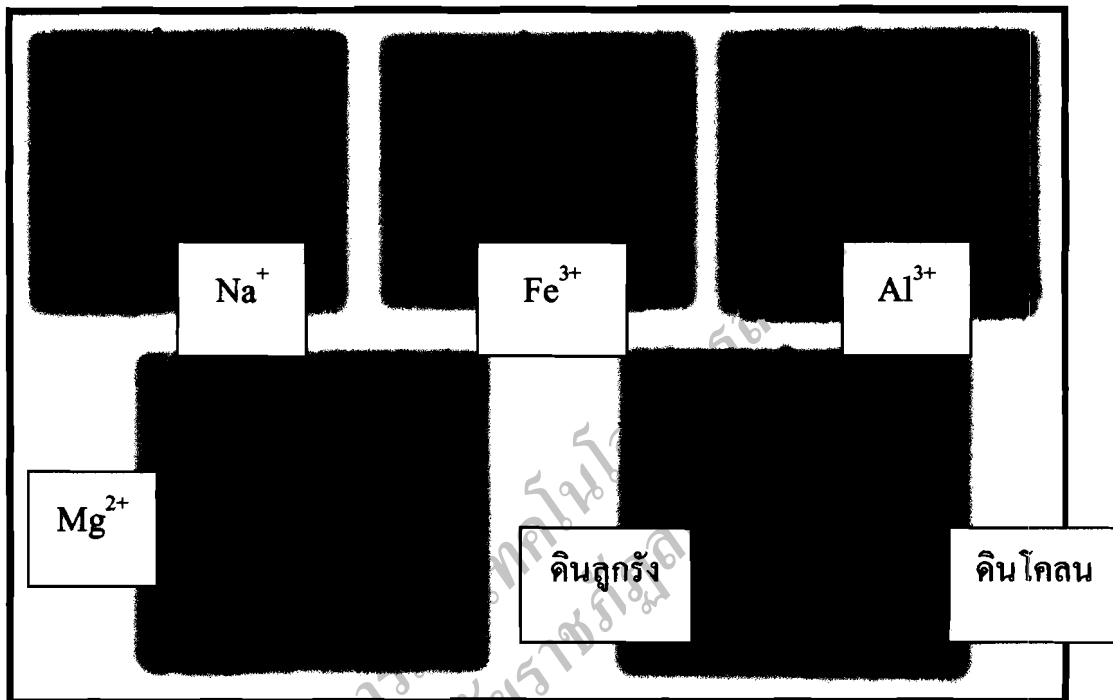


เส้นใยฝ้ายที่ย้อมด้วย  $\text{Na}^+$



เส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามไมใช่สารมอร์แดนท์

**ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ด้วยการต้มอร์แดนท์ก่อนย้อมและหลังย้อม**

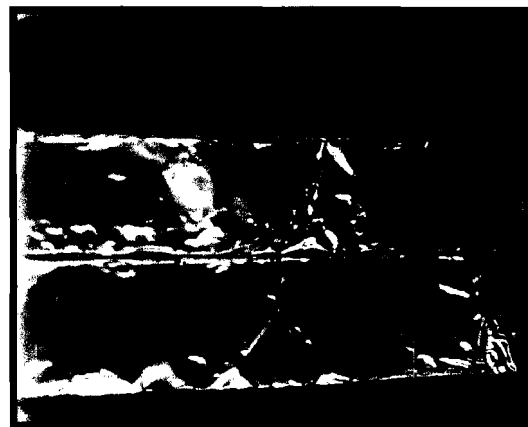


หมายเหตุ ภาพด้านซ้ายมือเป็นการทำมอร์แดนท์ก่อนย้อม ส่วนภาพด้านขวามือเป็นการทำมอร์แดนท์หลังย้อม

**ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด**

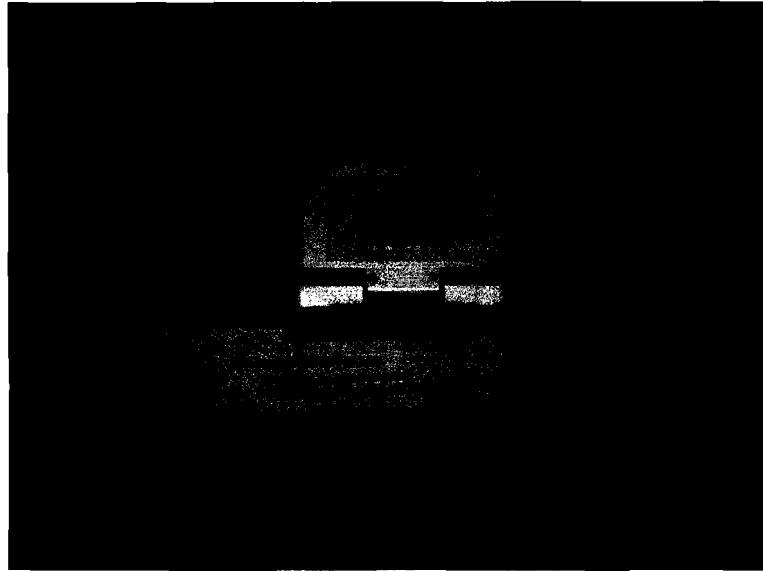


ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด



ผ้ามาตรฐานทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด

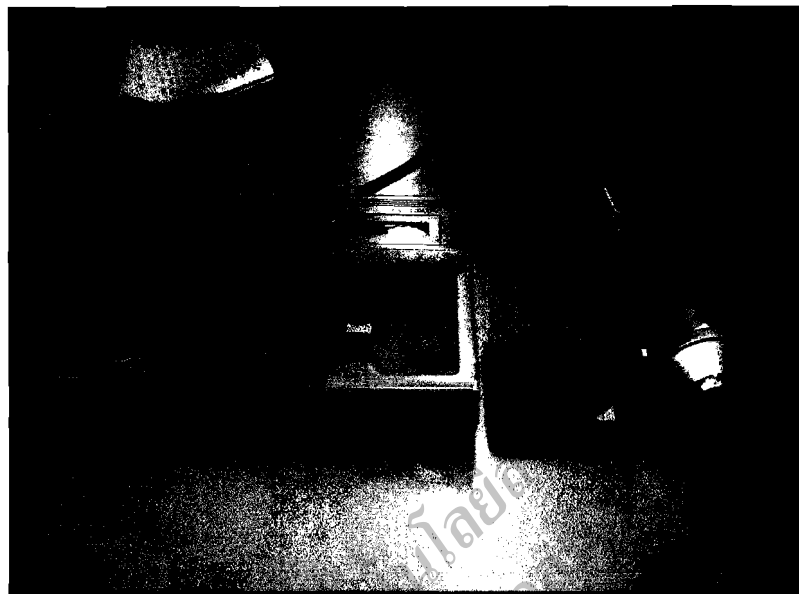
## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย



เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-1601 ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง



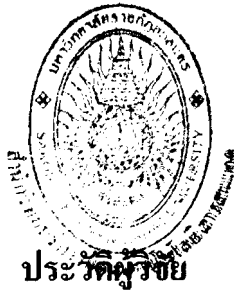
เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6400  
กำลังขยาย 10-300,000 เท่า แรงดันไฟฟ้า 0.2 – 40 กิโลวัตต์



เครื่องวัดเทียบสี Chroma meter ยี่ห้อ MINOLTA



X-ray fluorescence Spectroscopy (XRF)



165016

90

**ประวัติผู้วิจัย**

**ชื่อ-สกุล** นางสาวทุเรียน ปัดสำราญ (ค.บ.เคมี ; สถาบันราชภัฏสกลนคร)  
**วัน เดือน ปีเกิด** 14 พฤษภาคม 2522  
**ภูมิลำเนา** 26/1 หมู่ 7 บ้านนาแสงสาคร ตำบลนาแสง อำเภอศรีวิไล จังหวัดหนองคาย  
**ที่อยู่ปัจจุบัน** 26/1 หมู่ 7 บ้านนาแสงสาคร ตำบลนาแสง อำเภอศรีวิไล จังหวัดหนองคาย  
**สถานที่ทำงาน** โรงเรียนบ้านดงยาง ตำบลม่วง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร  
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสกลนคร เขต 3

**ประวัติทางการศึกษา**

พ.ศ. 2545 ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (ค.บ.) เคมี สถาบันราชภัฏสกลนคร  
จังหวัดสกลนคร  
พ.ศ. 2551 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร

**ประวัติการทำงาน**

พ.ศ. 2546 ตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนสมเด็จพระราชชนนี  
อำเภอนาจะหลวย จังหวัดอุบลราชธานี  
ปัจจุบันพ.ศ. 2551 ครู อันดับ คศ. 1 โรงเรียนบ้านดงยาง ตำบลม่วง อำเภอบ้านม่วง  
จังหวัดสกลนคร