

**การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีธรรมชาติของผ้าไหมและการกำจัดสีจากน้ำเสีย
โดยวิธีตกตะกอนทางเคมี**

**Investigation into the Improvement of Natural Dye Treatment of Silk Fabric and
Removal of Color from Waste Water by Chemical Coagulation**

คำนำ

เส้นไหมนั้นเปรียบเสมือนเป็นราชินีของเส้นใย ผ้าผืนที่ผลิตจากเส้นใยไหม มีความสวยงามมาก และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง ซึ่งเป็นเส้นทางหนึ่งที่เป็นสินค้าทำรายได้เข้าประเทศ ในขณะนี้ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้าไหมไทยที่มีพื้นฐานมาจากกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์นั้นมีน้อยที่จะช่วยส่งเสริมงานในด้านการปรับปรุงคุณภาพของผ้าไหมไทยให้เป็นที่ รู้จักและแพร่หลายมากยิ่งขึ้น จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพ ของการผลิตผลิตภัณฑ์ผ้าไหมไทยให้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะการย้อมโดยใช้สีธรรมชาติ ซึ่งในปัจจุบัน ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการย้อมสีชนิดนี้เนื่องจากสีตกง่ายมีความคงทนน้อย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะ ศึกษาเกี่ยวกับสารช่วยติดสีและความคงทนของสีของผ้าไหมไทยให้ดีขึ้นเพื่อพัฒนาผ้าไหมไทยให้ คุณภาพดียิ่งขึ้นเพื่อแข่งขันกับตลาดต่างประเทศ

ในกิจกรรมการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาตินั้นยังก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำขึ้นอีกด้วย โดยเฉพาะน้ำย้อมสี ซึ่งในปัจจุบันชาวบ้านยังคงระบายน้ำเสียลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ และ แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด ทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพเน่าเสียก่อเหตุรำคาญแก่ ประชาชนทั่วไป และยังอาจทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น อนุภาคของ สีย้อมจะไปขัดขวางการแผ่กระจายของแสงในน้ำเป็นผลให้พืชสีเขียวในน้ำมีการสังเคราะห์แสง ลดลงได้ ทำให้สมดุลของระบบนิเวศเปลี่ยนไป ตลอดจนก่อให้เกิดความเสียหายจากการใช้ ประโยชน์จากแหล่งน้ำ ปัจจุบันการกำจัดสีย้อมมีหลายวิธี และมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เพื่อเป็น ทางเลือกหนึ่งทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟตในการตกตะกอน เพื่อจะได้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียจาก กระบวนการย้อมสีธรรมชาติได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการติดสีของผ้าไหม ด้วยสีธรรมชาติ และกรดซิตริก เป็นตัวช่วยในการติดสี
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้กรดซิตริก ในการช่วยติดสี ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าไหม
3. เพื่อศึกษาการกำจัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติ โดยวิธีการตกตะกอนเปรียบเทียบระหว่างสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต

การตรวจเอกสาร

1. ประวัติและการพัฒนาของไทย

ไหมถูกค้นพบครั้งแรกในประเทศจีน จากการค้นพบจดหมายเหตุของประเทศจีนมีบันทึกไว้ว่า เมื่อประมาณ 4,500 ปีที่แล้ว เป็นการพบโดยบังเอิญ และพัฒนามาเป็นการเลี้ยงไหม จากนั้นได้เผยแพร่ออกสู่ส่วนต่างๆ ของโลกที่สำคัญ โดยเส้นทางสายไหม (Silk road) เข้าสู่ยุโรปและเอเชีย สำหรับประเทศไทยนั้นมีการค้นพบเส้นไหมมาตั้งแต่ก่อนยุคประวัติศาสตร์ จากการค้นพบเส้นใยไหมและหลักฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงไหม และทอผ้าบนแผ่นดินจีนซึ่งห่างจากประเทศไทยหลายพันกิโลเมตร เมื่อประมาณ 4,700 ปี ยังไม่มีหลักฐานบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์อันเกิดจากการเลี้ยงไหมของทั้งสองประเทศนี้ แต่สิ่งที่พบมานับพันปีคือ การนุ่งห่มด้วยผ้าไหมจนกระทั่งพบผ้าไหม ซึ่งพบที่บ้านนาดี อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี และพบหลักฐานซึ่งยืนยันได้ว่ามนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์บ้านเชียงมีการใช้ผ้าไหม ซึ่งเป็นสิ่งที่บอกได้ว่าประเทศไทยมีการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม และการทอผ้าไหมมาราว 3,000 ปี สันนิษฐานได้ว่า อาจมีการสืบทอดอารยธรรมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมแถบนี้ มิได้มีการอพยพหรือเคลื่อนย้ายวัฒนธรรมมาจากประเทศจีน แต่ก็ยังไม่มียุทธศาสตร์ยืนยันว่าไหมไทยมีแหล่งกำเนิดที่ใดหรือได้รับการถ่ายทอดมาจากไหน

สำหรับประเทศไทย อาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม สาวไหม และการทอผ้า ได้มีการทำกันอย่างต่อเนื่องสืบทอดเป็นมรดกของคนไทยจนกระทั่งปัจจุบัน ซึ่งในการเลี้ยงไหมระยะแรกๆ ยังเป็นแบบดั้งเดิม เพื่อประโยชน์ใช้สอยในครัวเรือนเท่านั้น จนกระทั่งในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 5 ในปี พ.ศ. 2443 พระองค์ทรงมีพระราชดำริที่จะให้การเลี้ยงไหมพัฒนาขึ้น และโปรดเกล้าให้กระทรวงเกษตรราธิการ ทำการส่งเสริมการเลี้ยงไหม พร้อมทั้งจ้างผู้เชี่ยวชาญการเลี้ยงไหมจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมี ดร.คาเมทาโร่ โทยาม่า (Dr. Kametaro Toyama) ซึ่งเป็นรองศาสตราจารย์จากมหาวิทยาลัยโตเกียว เป็นหัวหน้าคณะ เข้ามาทำการสำรวจการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมทั่วประเทศ และการเลี้ยงไหมของประเทศไทยก็ได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งปัจจุบัน

2. โครงสร้างไหม

ไหมเลี้ยงเป็นแมลงจำพวกหนึ่งอยู่ในอันดับ Lepidoptera ตระกูล Bombycidae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* และเป็นแมลงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไข่, ตัวหนอน, ดักแด้ และผีเสื้อ การสังเคราะห์โปรตีนในเส้นไหม ทำในเซลล์ของต่อมไหมที่อยู่ในตัวไหม สารไหมเหลว (Liquid silk) จะถูกขับออกทางต่อมไหมส่วนท้าย (Posterior silk gland) และหลังจากนั้นส่งไปยังต่อมไหมส่วนกลาง (Middle silk gland) ระหว่างที่อยู่ในต่อมไหมส่วนกลาง สารไหมเหลวกลายเป็นเจลาติน (Gelatin) ส่วนเซรีซิน (Sericin) ถูกขับออกมาจากส่วนอื่นของต่อมไหมส่วนกลาง เพื่อที่จะเคลือบเจลาติน หลังจากนั้นเจลาตินของไฟโบรอิน (Fibroin) จะมีความเหนียวขึ้น โดยอาศัยการสลายตัวของฮอร์โมน ไหม อาการเคลื่อนไหวนี้เกิดที่ต่อมไหมส่วนหน้าหลังจากที่ไฮไฟโบรอิน 2 เส้นรวมกันเป็นเส้นไหม โดยเคลือบด้วยกาวเซรีซิน เมื่อผ่านรูเล็กๆ (Orifice of spinneret) ก็กลายเป็นเส้นใยที่นำมาใช้เป็นสิ่งทอ

2.1 องค์ประกอบของเส้นไหม (Kamali and Masoodi, 2000)

องค์ประกอบของเส้นไหมประกอบด้วยโปรตีน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ไฟโบรอิน 73.5 % และ เซรีซิน 22.28% นอกนั้นที่เหลือจะเป็นแวกซ์ 3.02% เกล็ดและแร่ธาตุอื่นๆอีก 1.11% และสิ่งเจือปนที่เหลืออีกเล็กน้อย ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของเส้นไหมแสดงใน ตารางที่ 1 ดังนี้

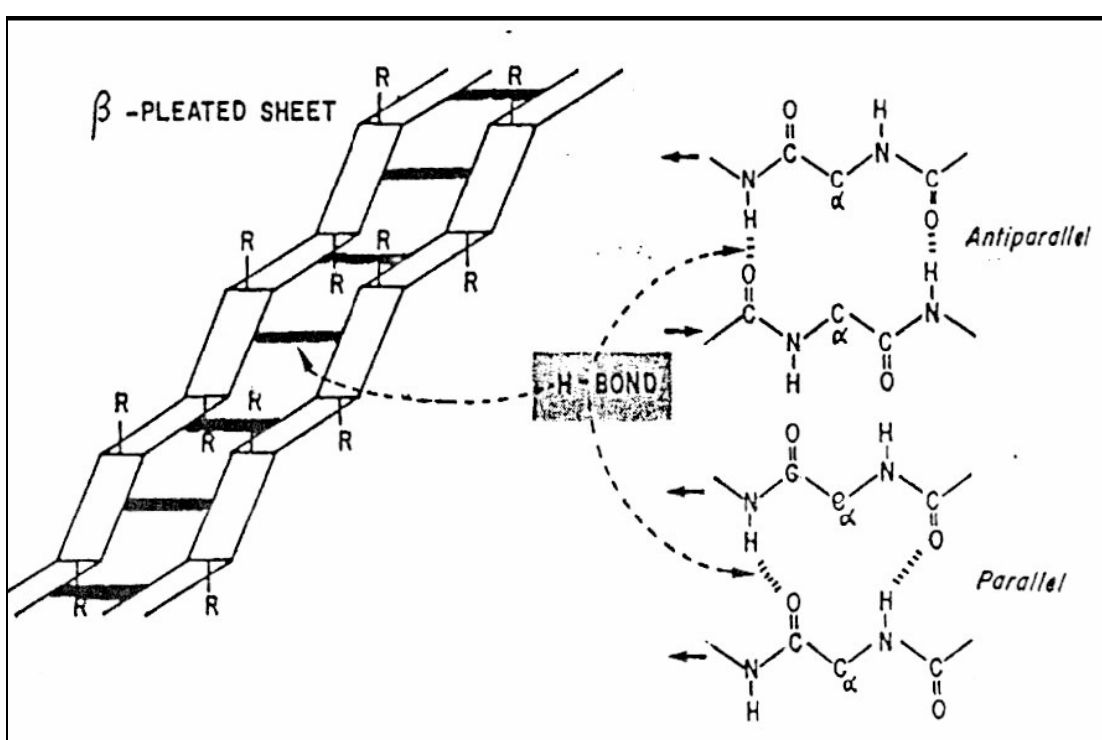
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นไหม

ธาตุ	Fibroin (%)	Sericin (%)
Carbon	48.80	42.60
Hydrogen	6.23	5.90
Nitrogen	19.00	16.50
Oxygen	25.00	35.00

ที่มา: Kamali and Masoodi (2000)

2.2 โครงสร้างทางเคมีของเส้นไหม (มนตรี, 2542)

เส้นไหมเฉพาะส่วนของไฟโบรอิน เป็นโครงสร้างโปรตีน ซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ มีโครงสร้างเป็นแบบพลิทเบตต้า (β -pleated sheet) แบบ Antiparallel ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่างเส้นพอลิเปปไทด์ และพอลิเปปไทด์แต่ละเส้นมีการเหยียดตัวเต็มที่ ทำให้มีลักษณะเป็นจีบหรือคลื่น ส่งผลให้เส้นไหมมีความแข็งแรง และสามารถยืดตัวออกไปได้ประมาณ 20% ส่วนเซรีซินเป็นโปรตีนก้อนกลม (Globular protein) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้



ภาพที่ 1 โครงสร้างแบบแผ่นพลิทเบตต้า (β -pleated sheet)

ที่มา: มนตรี (2542)

เส้นไหมทั้งไฟโบรอิน และเซรีซิน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 16-18 ชนิด (ตารางที่ 2) สำหรับไฟโบรอิน ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลัก 4 ตัว คือ ไกลซีน (Glycine) อะลานีน (Alanine) ซีรีน (Serine) และไทโรซีน (Tyrosine) ซึ่งจะต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ดังนี้ Gly-Ala-Gly-Gly (Ser-Gly-(Ala-Gly)₂)₈-Ser-Gly-Ala-Gly-Tyr

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของกรดอะมิโนของเซรีซินและไฟโบรอิน (กรดอะมิโนเป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม)

กรดอะมิโน		เซรีซินทั้งหมด	ไฟโบรอิน
Non-polar amino acid	Glycine	8.66	41.25
	Alanine	3.51	28.87
	Valine	3.14	2.63
	Leucine	1.02	0.32
	Isoleucine	0.77	0.44
	Proline	0.66	-
	Phenylalanine	0.50	0.58
Acid amino acid	Aspartic acid	17.03	0.76
	Glutamic acid	7.46	0.69
Basic amino acid	Arginine	6.07	0.86
	Histidine	1.88	-
	Lysine	4.95	0.17
Oxy amino acid	Serine	27.32	13.22
	Threonine	7.48	0.81
	Tyrosine	4.43	10.96
Sulfur-complex amino acid	Methionine	-	-
	Cystine	0.20	-
รวม		95.08	101.56

ที่มา: โมโตอิ และคณะ (2530)

3. สมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นไหม

ใยไหมจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ให้กรดอะมิโนจำนวนมาก (เป็นกรดแอลฟาอะมิโน) ทำให้เส้นใยไหมมีคุณสมบัติเป็น Amphoteric compound เนื่องจากมีทั้งหมู่ะมิโน (Amino) และหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) ใยไหมจึงเหมาะที่จะเชื่อมด้วยสัรรรมชาติ สีแอซิด สีเบสสิก

ลีสรีแอ็คทีฟ และลีสโคเรกท์ ไยไหมมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาของด่าง โดยเฉพาะโซดาไฟ 5% ที่จุดเดือด จะละลายไหมได้หมด สบู่และแอมโมเนียไม่มีอิทธิพลต่อไฟโปรอินแต่จะละลายเซรีซิน สารละลายของน้ำปูนจะทำให้เส้นใยพองตัวและละลายเซรีซิน ถ้าแช่อยู่นานเส้นใยจะเปราะ ไยไหมมีความว่องไวต่ออุณหภูมิที่สูงเกิน 120°C ซึ่งมีผลทำให้ไหมมีสีเหลืองขึ้น และทำให้ผิวสัมผัสกระด้าง ในทางกลับกันไหมมีเสถียรภาพดีต่อกรดอ่อน ไหมจะดูดสารละลายกรดอ่อน เช่น กรดคาร์ตริก ช่วยเพิ่มความเงามัน ในกรดเกลือ 28.6% ไยไหมจะเกิดการหดตัวประมาณ 30% โดยความเหนียวจะไม่ลดลง (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ, ม.ป.ป.)

โมเลกุลของไยไหมจะเหยียดตรงเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้ไยไหมมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความเหนียวมาก แต่ความเหนียวจะลดลง 15-25 % เมื่อเส้นใยเปียก ไยไหมจะนุ่มเป็นเงามัน ยืดหยุ่นดี ดูดซึมน้ำได้ดี และมีการกิ่นตัวดี แต่เป็นตัวนำความร้อนที่เลว (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ, ม.ป.ป.) ไยไหมดูดความชื้นได้ 11-16% ทำให้สวมใส่สบาย ทนความร้อนได้สูงถึง 135°C ทนต่อราได้ดี แต่ไม่ทนต่อแสงแดด การซักไม่ควรใช้ผงซักฟอก ควรใช้สบู่อย่างอ่อน หรือ ซักแห้ง ถ้าจำเป็นต้องฟอกขาวควรใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อัจฉรา, 2526; นวลแข, 2536)

4. กระบวนการตกแต่งสำเร็จ

กระบวนการตกแต่งสำเร็จรูปสิ่งทอ หมายถึง การกระทำด้วยวิธีการใดๆ กับเส้นใย เส้นด้าย หรือผ้า ก่อนหรือหลังการผลิตเป็นผืน เพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะที่เห็นและสัมผัสให้ดีขึ้น และเพื่อสมบัติที่ดีในด้านต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมที่จะใช้ประโยชน์ต่อไป

4.1 การลอกกาบ (Degumming) (โมโตอิและคณะ, 2530; Karmakar, 1999)

การลอกกาบ คือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยการนำเส้นไหม เส้นด้ายหรือผ้าไหมดิบมาลอกกาบเซรีซิน ที่เคลือบผิวของเส้นใย และยังเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใย การลอกกาบช่วยให้สามารถฟอกขาวและย้อมสีเส้นใยได้ดี และทำให้ไหมมีความมันเงาเพิ่มขึ้น ซึ่งในการลอกกาบมีหลายวิธี เช่น การลอกกาบด้วยน้ำ การลอกกาบด้วยด่างและกรด การลอกกาบด้วยสบู่ การลอกกาบด้วยเอนไซม์ และการลอกกาบโดยใช้โฟม เป็นต้น

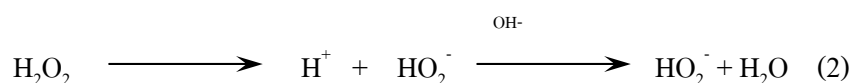
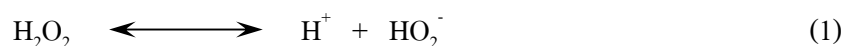
4.2 การฟอกขาว (Bleaching) (โมโตอิและคณะ, 2530)

การฟอกขาว คือ การกำจัดสารมีสีในธรรมชาติที่ติดมากับวัสดุสิ่งทอ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เส้นใยมีความขาวขึ้น ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญโดยเฉพาะกับผ้าที่จะนำไปทำเป็นผ้าขาว และผ้าที่จะนำไปย้อมเป็นสีอ่อน เพื่อให้ได้สีที่สดและสีไม่ผิดไปจากสีที่ใช้ สำหรับผ้าที่จะนำไปย้อมเป็นสีเข้มนั้นไม่จำเป็นต้องฟอกขาว นอกจากกรณีที่ต้องการความขาวมากเป็นพิเศษเท่านั้น

สารฟอกขาว (Bleaching agent) มีหลายชนิด ได้แก่ สารฟอกขาวออกซิเดทีฟ (Oxidative bleaching agents) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide system) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เปอร์อะซิดิก เป็นต้น และอีกระบบหนึ่ง คือ ระบบคลอรีน (Chlorine system) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ โซเดียมคลอไรท์ เป็นต้น สารฟอกขาวอีกกลุ่ม คือ สารฟอกขาวแบบรีดักทีฟ (Reductive bleaching agent) เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

วิธีการฟอกขาวที่นิยม คือ การฟอกขาวแบบออกซิเดทีฟด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยมีการใช้เตตระโซเดียมไฟโรฟอสเฟตเป็น Stabilizer เพื่อชะลอการแยกตัวของออกซิเจน สำหรับสภาวะที่เหมาะสม คือ pH ระหว่าง 8.5 - 9 อุณหภูมิ 75 - 80°C เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) มีความคงตัวสูงในสภาพกรดและแตกตัวได้สารที่เรียกว่า Active oxygen คือ เปอร์ไฮดรอกซิลอออน (HO_2^-) ซึ่งสามารถทำลายสารมีสีได้ดังสมการที่ (1) และ (2) ซึ่งต่างจะเป็นตัวเร่งให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเร็วขึ้น นอกจากนี้ อีออนของโลหะบางอย่างอาจเร่งให้สลายตัวเช่นกัน เช่น อีออนของเหล็ก อีออนของทองแดง เป็นต้น การฟอกขาวโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต้องเติมสารชะลอตัว (Peroxide stabilizer) เพื่อควบคุมการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้พอเหมาะในการฟอก เพื่อให้เกิดการสูญเสียที่น้อยที่สุด และต้องเติมสารที่สามารถจับอีออนของโลหะที่มีอยู่ในกระบวนการไม่ให้รบกวนการทำงานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สำหรับที่ pH สูงๆ เปอร์ไฮดรอกซิลอออนจะมีการแตกตัวได้เร็วขึ้น ทำให้เกิดความไม่คงตัวและเกิดก๊าซออกซิเจน ทำให้ไม่เกิดการฟอกขาว และหากอัตราการสลายตัวของเปอร์ไฮดรอกซิลอออนสูง อาจทำลายเส้นใยได้

ข้อดีของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ สามารถใช้กับเส้นใยโปรตีนได้ ไม่ทำให้เส้นใยเหลือง ไม่เป็นพิษ แต่มีข้อเสีย คือ จะเกิดรูเล็กๆ บนผ้าถ้ามีอีออนของโลหะอยู่ในกระบวนการฟอกขาว



4.3 การย้อมสี (Dyeing) (Vigo, 1994)

4.3.1 ประเภทของสีย้อม แบ่งตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

ก. สีย้อมที่มีหมู่ฟังก์ชันแอนไอออนิก (Anionic functional group) ได้แก่ สีแอซิด, สีเมทัลคอมเพล็กซ์, สีมอร์แดนท์, สีไคเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟ

ข. สีย้อมที่มีหมู่ฟังก์ชันแคทไอออนิก (Cationic Functional Group) ได้แก่ สีเบสิก

ค. สีย้อมที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีก่อนที่จะนำมาย้อม ได้แก่ สีแวต, สีซัลเฟอร์ และอะโซอิก

ง. สีย้อมที่ย้อมด้วยวิธีเฉพาะและพวกรงควัตถุ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส, โซเวนท์, สีธรรมชาติ และฟิกเมนต์

4.3.2 ลักษณะการเกาะติดของสีในเส้นใย (สิริรัตน์, 2532)

เส้นใยมีหลายประเภท เช่น เส้นใยเซลลูโลส (ฝ้าย และลินิน) เส้นใยโปรตีน (เส้นใยไหม และเส้นใยขนสัตว์) เส้นใยสังเคราะห์ (เส้นใยพอลิเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิก) เป็นต้น ซึ่งเส้นใยแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างแตกต่างกัน เช่นเดียวกับสีย้อมซึ่งมีหลายประเภทเช่นกัน เช่น สีไคเร็กซ์ สีรีแอคทีฟ สีแอซิด สีเบสิก เป็นต้น จึงต้องเลือกสีย้อมให้เหมาะกับเส้นใยแต่ละประเภท เพื่อให้สีย้อมเกิดการเกาะติดได้ดี โดยต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสีและเส้นใยมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับโมเลกุลสี ซึ่งจะเกิดเมื่อโมเลกุลของสีมีหมู่อะตอมที่เรียงตัวใน

ลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดต่อกัน ซึ่งเกิดได้หลายลักษณะ ดังนี้

ก. การเกาะติดโดยอาศัยแรงดึงดูดทางเคมี ได้แก่ แรงดึงดูดภายในโมเลกุล และแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

1) แรงดึงดูดภายในโมเลกุล

1.1) Ionic bond เกิดขึ้นเนื่องจากกลุ่มเคมีที่มีประจุต่างกัน แรงดึงดูดประเภทนี้ซึ่งเห็นได้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยไนลอนด้วยสีแอซิด และสีเบสิก

1.2) Covalent bond เป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างเส้นใย และสีย้อม ซึ่งเกิดในการย้อมด้วยสีรีแอคทีฟ เป็นพันธะที่มีความแข็งแรง มีพลังงานพันธะสูง ถูกทำลายได้ยาก จึงทำให้สีย้อมมีความคงทนต่อการซักสูงมาก

2) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

2.1) Van der waals force เป็นแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไม่อยู่นิ่งของอิเล็กตรอนในโมเลกุล แม้ในสารที่เป็นกลางที่โมเลกุลอาจมีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนไม่สมดุลกัน ทำให้เกิดเป็นแหล่งที่มีประจุตรงข้ามและเกิดแรงดึงดูดกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียง แรงดึงดูดประเภทนี้เกิดกับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภท และเกิดเมื่อโมเลกุลของสีย้อมและเส้นใยเข้ามาอยู่ในระยะที่ใกล้กันมาก กำลังของแรงดึงดูดจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่สัมผัส โดยขนาดพื้นที่สัมผัสจะขึ้นกับขนาดโมเลกุล ดังนั้นกำลังของแรงดึงดูดจะแปรผันตรงกับขนาดโมเลกุล แต่อย่างไรก็ตามแรงดึงดูดประเภทนี้มีกำลังดึงดูดน้อยที่สุด จึงถูกทำลายได้ง่าย

2.2) Dipole dipole force เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว โดยแต่ละโมเลกุลจะหันขั้วที่ต่างกันเข้าหากัน และมีกำลังดึงดูดสูงกว่า Van der waals force

2.3) Hydrogen bond เป็นแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นกับสารที่มีไฮโดรเจนอะตอมอยู่ติดกับอะตอมที่มี Electronegativity สูง เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และฮาโลเจน เป็นต้น ในลักษณะเช่นนี้ไฮโดรเจนจะมีประจุบวกที่ถาวรและค่อนข้างแรง สามารถเกิดแรงดึงดูดประจุลบ

ของโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง โดยทั่วไปพันธะไฮโดรเจนจะเกิดกับสีย้อมทุกประเภทและมีกำลังแรงกว่า Dipole dipole force สีย้อมที่มีลักษณะการเกาะติดเส้นใยโดยอาศัยแรงดึงดูดนี้ ได้แก่ สีแอซิด, สีเบสิก และสีไคเร็กซ์ แต่จะมีความคงทนต่อการซักไม่สูงมาก เนื่องจากกำลังของแรงดึงดูดทางกายภาพไม่มาก สามารถถูกทำลายได้ง่าย

ข. การเกาะติดด้วยการกักขังสีย้อมภายในเส้นใย มี 2 ลักษณะ ดังนี้

1) การเปิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลรับสีย้อมแล้วปิด โดยในระหว่างการย้อมจะเปิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลในเส้นใยให้มีขนาดใหญ่ มักใช้ความร้อน จากนั้นสีย้อมจะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่าง หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงช่องว่างนั้นก็ปิดลง สีย้อมจะถูกขังอยู่ภายในเส้นใย การเกาะติดวิธีนี้จะเกิดกับเส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิด เช่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์ ไนลอน อะคริลิก เป็นต้น

2) การกักสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำในเส้นใยโดยผ่านการละลาย เช่น การย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีแวต โดยเตรียมสีย้อมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อน เมื่อย้อมเสร็จจึงเปลี่ยนสีย้อมให้กลับมามีอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำภายในเส้นใย

4.3.3 ปัญหาการย้อมด้วยสีธรรมชาติ

เนื่องจากสีธรรมชาติ สามารถละลายและติดเส้นใยได้เอง จึงเป็นเหตุให้การย้อมสีเป็นไปโดยง่าย (ขวัญฤทัย และเดือนใจ, 2530) แต่เมื่อนำมาซักล้าง สีย้อมก็สามารถละลายน้ำออกมาได้ง่าย จึงเกิดการซีดจางได้ง่าย นอกจากนี้สีธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าช่องว่างภายในโครงสร้างของเส้นใยไหม จึงทำให้โมเลกุลของสีธรรมชาติไม่สามารถเข้าไปแทรกภายในช่องว่างของโครงสร้างไหมได้ การแก้ปัญหาก็สามารถทำได้หลายทาง คือ

ก. ใช้สารช่วยติด (Mordant) เพื่อเป็นตัวกลางในการสร้างพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลสีย้อม กับโมเลกุลของเส้นไหม

ข. ควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการย้อมให้เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด ด่าง และเวลาในการย้อม

ก. ใช้เทคนิคที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการสกัดสีจากวัตถุดิบ เพื่อให้ได้น้ำสีที่มีความเข้มข้นมากขึ้น

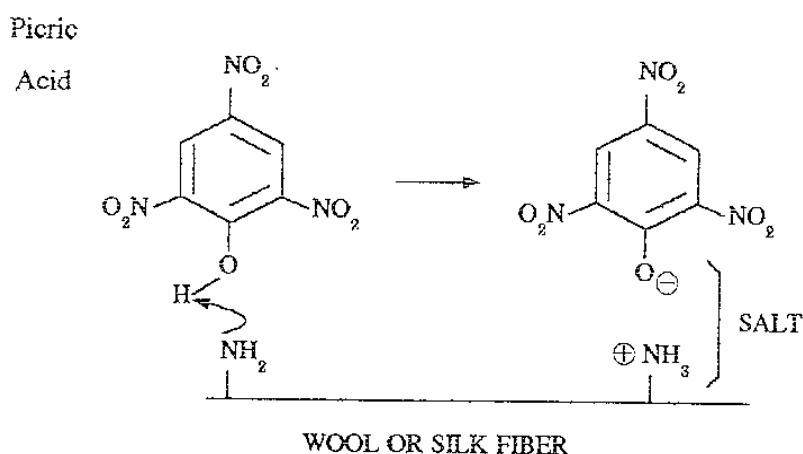
ดังนั้นจึงได้มีการนำสารช่วยติดมาใช้ในกระบวนการย้อม เพื่อเพิ่มความคงทนของสีย้อมให้มากยิ่งขึ้น เพราะสารช่วยติดจะทำหน้าที่ยึดโมเลกุลของสีให้ยึดติดกับโมเลกุลของเส้นใยให้ดีขึ้น หรือซึมผ่านเข้าไปในเส้นใย และเปลี่ยนแปลงสีย้อมจากสารที่สามารถละลายน้ำได้เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ จึงไม่สามารถละลายออกขณะทำการซักล้าง สารช่วยติดส่วนใหญ่เป็นสารที่พบโดยทั่วไป ราคาไม่แพง เก็บไว้ได้นาน และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ซึ่งสารช่วยติดส่วนใหญ่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น สารส้ม (Potassium aluminum sulfate) เกลือแกง (Sodium chloride) จุนสี (Copper sulfate) และกรดน้ำส้ม (Acetic acid) เป็นต้น (Held, 1973) นอกจากนี้ ยังมีพันธุ์ไม้ที่ใช้เป็นสารช่วยติดในการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติหลายชนิดด้วยกัน เช่น ใบเหมือด มะขาม มะดัน ส้มเสี้ยว ส้มป่อย มะยม เป็นต้น

5. การย้อมด้วยสีธรรมชาติ

สีธรรมชาติเป็นสีที่สามารถละลายได้ในน้ำ และมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถติดเส้นใยได้ด้วยตัวเอง (Substantivity) โดยไม่ต้องใช้สารอื่นช่วยในการย้อม เพียงแต่น้ำสีผสมน้ำก็สามารถย้อมได้ ซึ่งมีลักษณะคล้ายสีสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง คือ สีไคเร็กต์ (Direct dye) เป็นสีที่ติดง่ายและหลุดง่ายเช่นกัน ความคงทนต่ำเป็นสีที่ไม่สดใส สีธรรมชาติเริ่มติดสีเมื่อย้อมที่อุณหภูมิห้อง แต่จะติดสีได้ดีที่อุณหภูมิสูงประมาณ 80-100 °C (เทียนศักดิ์, 2534) ระหว่างการย้อมต้องหมั่นคน เพราะสีธรรมชาติตกตะกอนง่าย เป็นสาเหตุให้การย้อมเส้นใยต่าง แต่สีธรรมชาติจะมีคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่ง คือ สามารถกระจายตัวได้ดี ดังนั้น ถ้าเกิดปัญหาต่าง หรือ ย้อมสีได้ไม่สม่ำเสมอ เมื่อครบกำหนดเวลาย้อม สามารถแก้ไขได้โดยวิธีเติมน้ำย้อมเพื่อรักษาระดับน้ำย้อมเดิม ย้อมต่อจนกว่าจะหายต่าง (เทียนศักดิ์, 2535)

การย้อมสีธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วมีกรรมวิธีในการย้อมอยู่ 3 แบบ (เทียนศักดิ์, 2535) คือ

5.1 แบบโดยตรง (Direct dyeing) สีที่ใช้ย้อมจะเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยโดยตรง ถ้าเส้นใยนั้นเป็นพวกเซลลูโลส ซึ่งได้แก่ ฝ้าย ในเส้นใยประเภทนี้จะมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups, -OH) อยู่มาก จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน กับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนเส้นใยพวกพอลิเปปไทด์ ได้แก่ ขนสัตว์ หรือ ไหม ในเส้นใยประเภทนี้จะมีส่วนที่เป็นทั้งหมู่กรด (Acidic groups, -COOH) และหมู่เบส (Basic groups, -NH₂) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ก็จะเกิดปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นหมู่กรด หรือ เบส ในโมเลกุลของสีเกิดเป็นเกลือขึ้น ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแบบไอออนิก ดังตัวอย่างของการย้อมติดเส้นใยแบบนี้ เช่น ระหว่างกรดพิกริก (Picric acid) กับขนสัตว์ หรือ ไหม กรดพิกริกจะให้โปรตอนแก่หมู่อะมิโนซึ่งเป็นหมู่เบสในเส้นใยแล้วเกิดเกลือขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูดแบบไอออนิก (ภาพที่ 2)

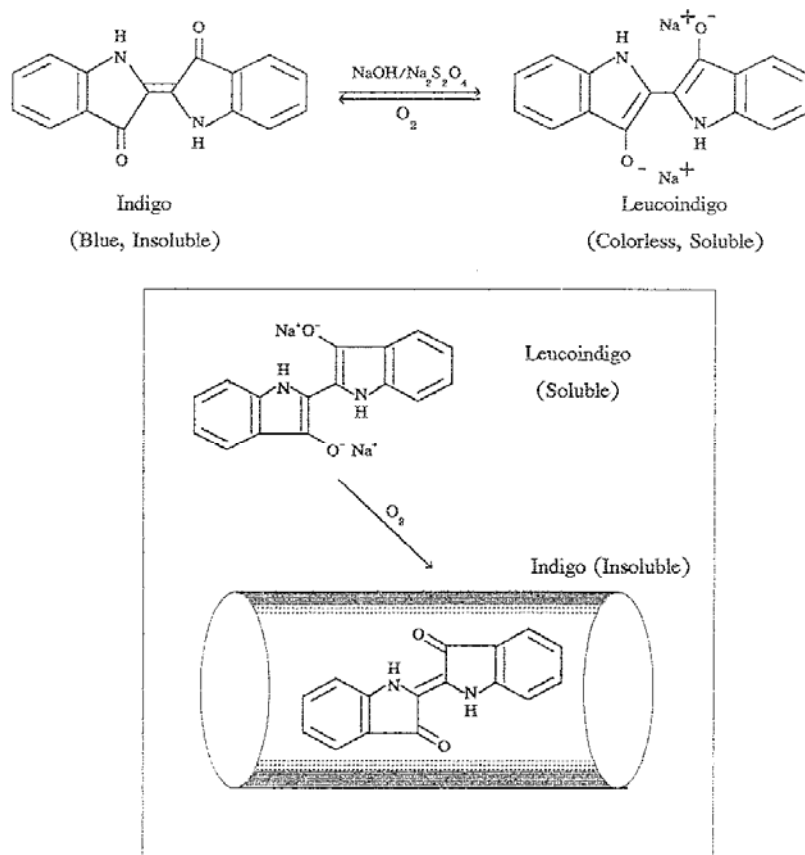


ภาพที่ 2 การย้อมติดเส้นใยของกรดพิกริกกับขนสัตว์ หรือไหม

ที่มา: เทียนศักดิ์ (2535)

5.2 แบบแวต (Vat dyeing) โดยทั่วไปแล้วสารที่ให้สีในประเภทนี้จะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในขั้นตอนแรกของการย้อมแบบนี้จะต้องทำการรีดิวซ์สารที่ให้สีพืชให้เป็นสารที่ละลายน้ำได้ก่อน แล้วจึงนำเส้นใยลงย้อมในสารละลายนั้น จากนั้นจึงนำเส้นใยที่ย้อมแล้วไปผึ่งแดด การผึ่งแดดจะทำให้โมเลกุลของสีเกิดการออกซิไดซ์ กลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ โมเลกุลของสีจึงจับแน่นอยู่บนเส้นใย ตัวอย่าง เช่น การย้อมสีอินดิโก (Indigo) หรือครามจากต้นคราม สีอินดิโกนั้นในตอน

แรกไม่ละลายน้ำจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมไดไทโอไนต์ (Sodium dithionite) จะได้เป็นลิวโคอินดิโก (Leucoindigo) ที่ละลายน้ำไม่มีสี จากนั้นก็นำเส้นใยลงย้อมในสารละลายลิวโคอินดิโก แล้วนำออกมาผึ่งไว้ ลิวโคอินดิโกในเส้นใยจะถูกออกซิไดซ์ในอากาศเป็นอินดิโกจับทั้งภายใน และผิวของเส้นใย (ภาพที่ 3) และเนื่องจากอินดิโกนี้ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้การติดสีนี้มีความคงทน ซึ่งนิยมใช้ย้อมผ้ายีนส์

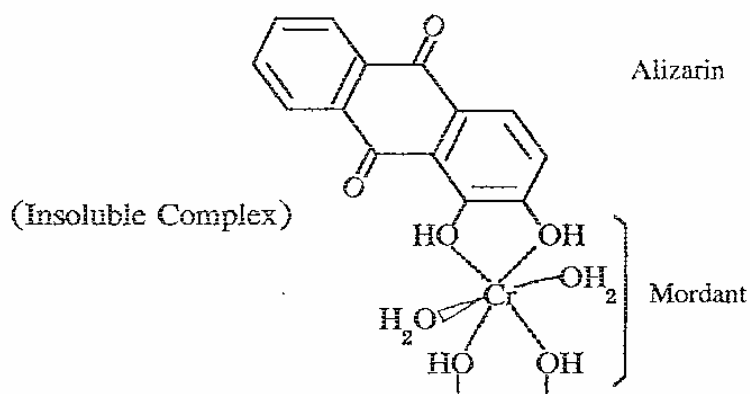


ภาพที่ 3 การติดของสีอินดิโกจากการย้อมแบบแวต

ที่มา: เทียนศักดิ์ (2535)

5.3 แบบใช้มอร์แดนต์ (Mordant Dyeing) การย้อมโดยวิธีนี้เป็นการย้อมแบบที่ใช้สารมอร์แดนต์ เพื่อช่วยในการยึดติดระหว่างสีกับเส้นใยขึ้น ทำให้สีที่ได้จากการย้อมโดยวิธีนี้มีความคงทน ไม่ตกสี หรือซีดง่าย สารมอร์แดนต์ที่ใช้ คือ สารละลายของเกลือโลหะ เช่น Potassium aluminium sulfate ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$), Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), Stannous chloride (SnCl_2), Ferrous sulfate (FeSO_4) และ Copper sulfate (CuSO_4) เป็นต้น

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการย้อมแบบนี้ คือ เมื่อเส้นใยได้ผ่านการย้อมสี และการย้อมด้วย สารละลายมอร์แดนท์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนท์จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่แข็งแรง (Strong complex) กับสีและเส้นใย ดังตัวอย่างการย้อมสีด้วย Alizarin กับเส้นใยพวกเซลลูโลส โดยมี Chrome เป็นสารละลายมอร์แดนท์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การเกิดเป็นสารเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับสีและเส้นใย
ที่มา: เทียนศักดิ์ (2535)

ดังนั้นการย้อมโดยวิธีนี้จะทำให้สีที่ได้มีความคงทนมากขึ้น นอกจากนี้ ถ้าการย้อมใช้มอร์แดนท์ที่ต่างชนิดกัน แม้ว่าสีที่ใช้จะเป็นสีชนิดเดียวกันก็ตาม เส้นใยที่ได้หลังการย้อมจะมีสีที่แตกต่างกัน

ปัจจุบันสีธรรมชาติได้ถูกดัดแปลงและพัฒนามากขึ้น โดยใช้เทคนิคใหม่ๆ อย่างไรก็ตาม วิธีการเดิมก็ยังใช้อยู่ เช่น สีคราม ครั่ง นับเป็นสีที่ทำยากและย้อมยาก แต่สีเปลือกไม้และใบไม้อื่นๆ เป็นสีที่ย้อมง่ายกว่า การใช้เทคนิควิธีการใหม่ๆ จะช่วยให้สีแตกต่างกันออกไป เพราะเปลือกไม้ ใบไม้ชนิดหนึ่งสามารถนำมาย้อม หรือผสมกับเปลือกไม้อื่นๆ ให้ได้สีสังคามากมาย ผู้ย้อมสีธรรมชาติจึงค้นพบสีใหม่ๆ และเทคนิคการย้อมแบบใหม่ๆ เสมอ ตรงนี้เองที่ทำให้สีธรรมชาติแตกต่างจากสีเคมีโดยสิ้นเชิง (เทียนศักดิ์, 2535)

วารุณี (2526) ศึกษาวิธีการย้อมไหมด้วยแก่นกาแล โดยใช้สารช่วยติดสี ในขณะที่ย้อม 3 ชนิด คือ สารส้ม เกลือ และน้ำมะขาม ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่างกัน พบว่าสีที่ย้อมได้มีสีเหลือง และเหลืองอมแดงสีของผ้าไหมที่ได้จากการย้อมโดยใช้สารส้ม 20% ของน้ำหนักผ้า เป็นสารช่วยติดสีในขณะที่ย้อมมีความคงทนต่อการซัก การขัดถู และแสงแดดอยู่ในระดับดีที่สุด การใช้เกลือเป็นสารช่วยติดสีในขณะที่ย้อมจะมีสีสม่ำเสมอดีที่สุดและค่าความเข้มสีดีที่สุด และการใช้น้ำมะขามเป็นสารช่วยติดสีในขณะที่ย้อม จะมีความคงทนของสีต่อการขัดถูดีที่สุด

นันทนัช (2533) ศึกษาผลของสารช่วยติดสีที่มีต่อการย้อมไหมด้วยใบตะขบฝรั่ง จากการย้อมเส้นไหมโดยใช้สารช่วยติดสี 4 ชนิด คือ สารส้ม จุนสี เหล็ก และโครม ไหมที่ย้อมโดยใช้สารช่วยติดสีจะให้สี 2 กลุ่ม ได้แก่ สีเหลือง และสีเทาอมม่วง ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงพบว่า สีของไหมที่ย้อมโดยไม่ใช้สารช่วยติดสี มีความคงทนของสีต่อแสงสูงสุดและผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก ปรากฏว่าการย้อมโดยใช้โครม เป็นสารช่วยติดสีในขณะที่ย้อม ทำให้สีของไหมที่ย้อมได้มีความคงทนต่อการซักสูงสุด

ไพศาล (2539) ได้ศึกษาเทคนิคการย้อมสีเส้นใยด้วยสีจากครั้ง ใช้สารช่วยติดสี คือ น้ำจากใบเหมือด น้ำส้มมะขาม น้ำจากใบเหมือดผสมใบมะขาม กรดทาร์ทาริก กรดอะซิติก กรดซัลฟูริก กรดฟอร์มิก โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต คอปเปอร์ซัลเฟต และไอออนออกไซด์พบว่า เส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมโดยใช้สารช่วยติดสีชนิดต่างๆ ทุกการทดลองมีความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับ ดีถึงดีมาก ส่วนความคงทนของสีต่อแสงซินอนอาร์ค อยู่ในระดับปานกลางถึงดี

เจริญศรี (2541) ศึกษาผลของสารช่วยติดสีที่มีต่อการย้อมไหมด้วยเปลือกมะพร้าวอ่อน ใช้สารช่วยติดสีหลังย้อมคือ สารส้ม และกรดน้ำส้ม ความเข้มข้น 5 ระดับ คือ 2,4, 6, 8 และ 10 % พบว่า สีผ้าทดลองที่ใช้สารช่วยติดสีทั้ง 2 ชนิด แตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนระดับความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน แต่ผ้าที่ย้อมทับด้วยสารส้มสามารถคงคุณลักษณะเดิมได้ดีกว่ากรดน้ำส้ม ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักพบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมค่อนข้างสูงและสีเข้มขึ้น ส่วนความคงทนของสีต่อแสงซินอนอาร์คพบว่า แสงทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมค่อนข้างสูง สีเข้มขึ้นแต่ไม่สดใส

ปาเจรา และคณะ (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติโดยใช้สารมอร์แดนต์ที่มีโครงสร้างสองชั้นของสารอนินทรีย์ที่เชื่อมโยงเพื่อลดปริมาณโลหะที่ใช้ในการย้อม โดยการนำเอาเทคโนโลยีการสร้างสารอนินทรีย์ชั้นบาง (Inorganic thin layer technology; ITLT) มาใช้ปรับแต่งผิวของเส้นใยไหม พบว่าสามารถเพิ่มความสามารถของการดูดซับสีและการฟอกสีได้สูงขึ้น และพบว่าเมื่อใช้สารมอร์แดนต์ที่มีโลหะต่างชนิดกันจะให้เจดสีที่แตกต่างกัน และเมื่อใช้สาร ITLT จะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโลหะบนผิวผ้าไหมได้ดีขึ้น ทำให้ปริมาณโลหะที่เหลือในน้ำทิ้งลดลง

Das (1992) ได้ทดลองย้อมเส้นไหมด้วยสีแดงที่ได้จากแมลง *Coccus cacti* ซึ่งพบมากในแถบอเมริกาใต้ และเม็กซิโก โดยนำแมลงไปต้มในน้ำเดือด ประมาณ 80,000 ตัว ซึ่งสามารถให้สีย้อมประมาณ 500 กรัม สาร Cochineal จะถูกหมักในเกลือข้ามคืน ได้สีเป็นของเหลวแยกออกมา การย้อมเริ่มจากอุณหภูมิห้อง แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเดือดภายในเวลา 1 ชั่วโมง แล้วย้อมต่อไปอีก 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำอุ่น บีบน้ำออกแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ในการย้อมสีโดยใช้สารช่วยติดจำพวก สารส้ม โครม ดีบุก และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่า การใช้สารส้มให้สีแดงเข้ม โครมให้สีชมพู ดีบุกให้สีแดง และเฟอร์รัสซัลเฟตให้สีม่วงเข้ม

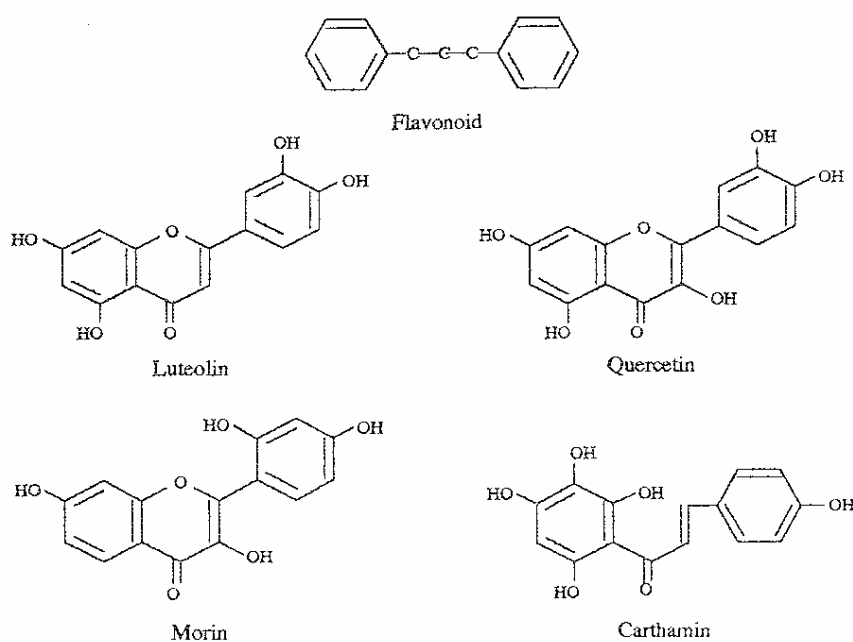
Tsatsaroni and Elefthriadis (1994) ได้ทำการศึกษาวิจัยย้อมผ้าขนสัตว์ด้วยสีจากหญ้าฝรั่ง (*Crocus sativus* L.) โดยใช้เกลือของโลหะเป็นสารมอร์แดนต์ คือ ไอออนซัลเฟต, อลูมิเนียมซัลเฟต, โซเดียมโพแทสเซียมคาร์เตรต และ ซิงค์คลอไรด์ ตามลำดับเมื่อนำสีผ้าขนสัตว์ที่ย้อมได้ไปทดสอบความคงทนต่อการซักพบว่า สีย้อมเป็นอนินทรีย์ผ้าทดสอบ ความคงทนต่อการซักอยู่ในระดับพอใช้ ส่วนความคงทนของสีต่อแสงพบว่า อยู่ในระดับต่ำ

Leksophee et al (2004) ได้ทำการศึกษาสภาวะในการย้อมสีไหมร่วมกับสารสร้างพันธะต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผ้าไหม โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ 3.0, 4.5, 5.5 และ 7.0 อุณหภูมิที่ 80°C, 90°C, 100°C และ 110°C และความเข้มข้นของสารสร้างพันธะ โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 1%, 3% และ 5% ของน้ำหนักผ้าไหม และศึกษาสารสร้างพันธะ 3 ชนิด คือ โซเดียมซัลเฟต, กรดอะซิติก, กรดฟูมาริก และ Bis (4-fluoro-3-nitrophenyl) sulfone (BFNS) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การย้อมสีไหมร่วมกับโซเดียมซัลเฟต 3% และย้อมร่วมกับกรดอะซิติก 3% ที่อุณหภูมิ 80°C pH 5.5 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก ให้ค่าความคงทนต่อการขัดถู ความคงทนต่อแรงฉีกขาด และความขาวของผ้าไหมสูงที่สุด

6. ส่วนประกอบทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติ

เนื่องจากในพืช หรือ สัตว์นั้นมีสารให้สีที่ต่างกัน ทำให้มีสีแตกต่างกัน ซึ่งพะยอม (2524) เทียนศักดิ์ (2534) และ Britton (1983) ได้กล่าวถึงสารให้สีที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

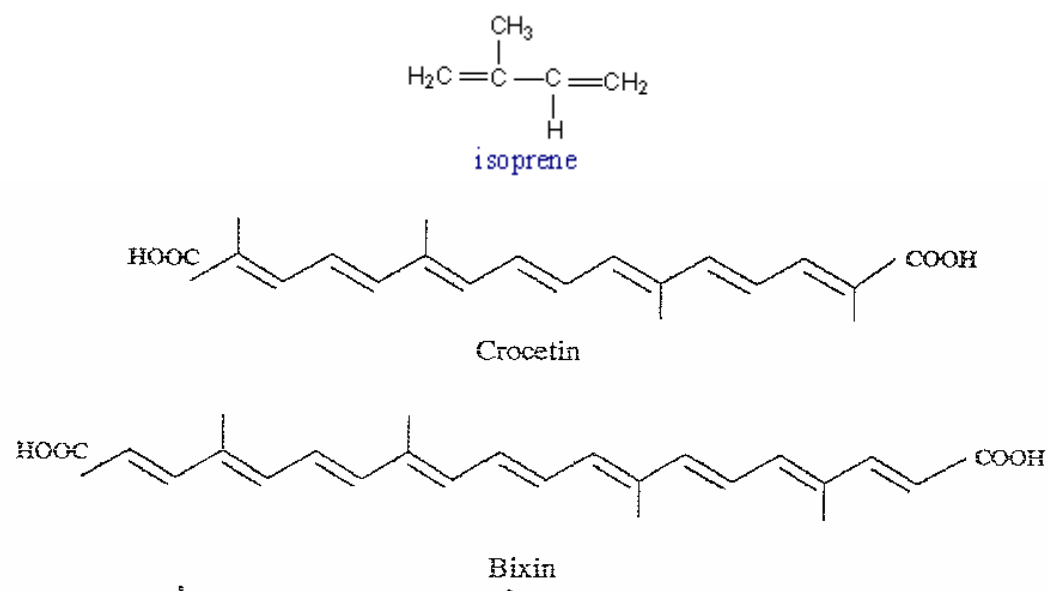
6.1 สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ใช้เป็นสีย้อมกันมากที่สุด มักให้สีเหลืองถึงส้ม เป็นสารที่ละลายน้ำได้ มีสูตรโครงสร้างทั่วไป จะเป็นวงแหวนเบนซีน ที่เชื่อมต่อกับคาร์บอน 3 อะตอม ดังแสดงในภาพที่ 5 เช่น Luteolin จากต้น Weld (*Reseda luteola*) ให้สีเหลือง Quercetin จากหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa*) ให้สีเหลืองเข้ม Morin จากต้นไม้จำพวก *Chlorophora tinctoria* ให้สีเหลือง และ Carthamin จากดอกคำฝอย (*Carthamus tinctorius*) ให้สีเหลืองปนน้ำตาล เป็นต้น



ภาพที่ 5 โครงสร้างของสารให้สีพวกฟลาโวนอยด์บางชนิด

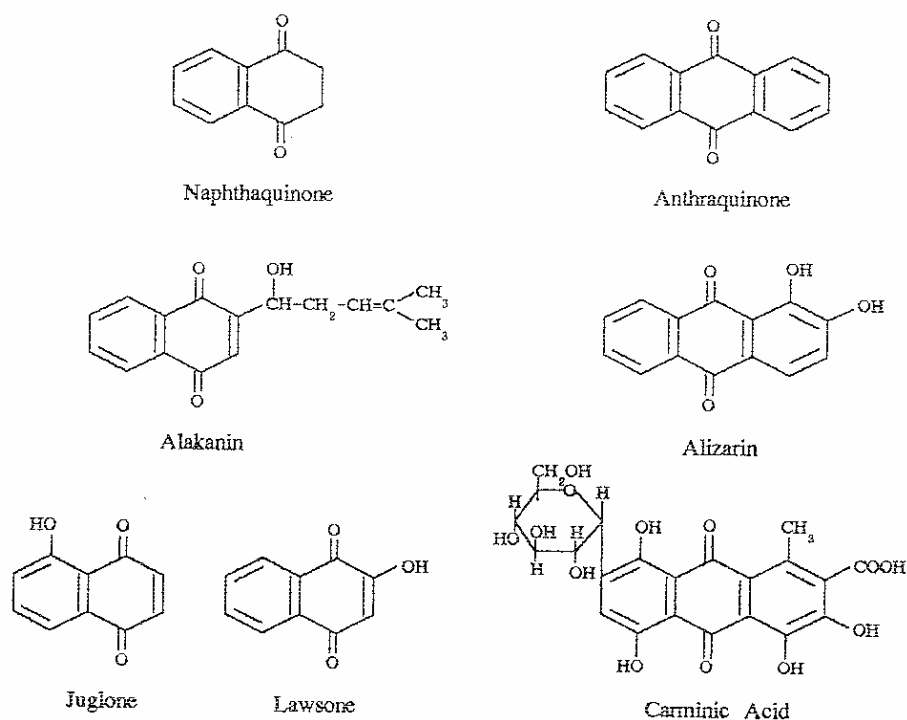
ที่มา: เทียนศักดิ์ (2534)

6.2 สารประกอบเทอร์ปีนอยด์ หรือ ไอโซพรีนอยด์ (Terpenoids or Isoprenoids) สารในกลุ่มนี้เป็นสารที่มีชีวิตสังเคราะห์มาจาก ไอโซพรีน สารในกลุ่มนี้จะมีพันธะคู่สลับเคียงมาก (Conjugated Double Bond) ดังแสดงในภาพที่ 6 เช่น Crocetin จากหญ้าฝรั่น (Saffron) ให้สีเหลือง และ Bixin จากเมล็ดคำแสด ให้สีแดง



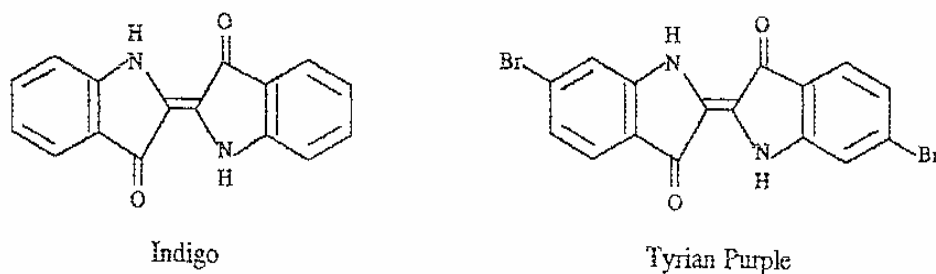
ภาพที่ 6 โครงสร้างของสารที่ให้สีพวกที่ให้เทอร์ปรีนอยด์บางชนิด
ที่มา: เทียนศักดิ์ (2534)

6.3 สารประกอบแนฟทราควิโนน และแอนทราควิโนน (Naphthaquinones and Anthraquinones) มีสูตรโครงสร้างเป็นสารประกอบอะโรมาติก ดังแสดงในภาพที่ 7 สารในกลุ่มของแนฟทราควิโนน ที่นำมาใช้เป็นสีย้อม เช่น Juglone จากต้น Walnut (*Juglandaceae*) ให้สีเขียวถึงสีน้ำตาล Lawsone จากต้น Henna (*Lawsonia inermis*) และ Alkannin จากต้น Alkanet (*Anchusa tinctoria*) ให้สีแดง ส่วนในกลุ่มของแอนทราควิโนน เช่น Alizarin จากรากของต้น Madder (*Rubia tinctorum*) Carminic Acid หรือ Cochineal จากแมลง *Coccus cacti*. และ Laccaic Acid จากแมลง *Coccus laccae* ให้สีแดง



ภาพที่ 7 โครงสร้างของสารให้สีพวกแนฟทราควิโนน และแอนทราควิโนนบางชนิด
ที่มา: เทียนศักดิ์ (2534)

6.4 สารประกอบแอลคาลอยด์ (Alkaloids) ถือเป็นผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติที่ได้จากพืชชั้นสูง และมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่เป็นผลึกไม่มีสี ยกเว้นชนิดที่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว (Conjugated double bond) ดังแสดงในภาพที่ 8 เช่น Indigo ได้จากต้นคราม (*Indigo tinctoria*) ให้สีน้ำเงิน Tyrian Purple ได้จาก Shellfish ให้สีม่วงแดง



ภาพที่ 8 โครงสร้างของสารที่ให้สีพวกแอลคาลอยด์บางชนิด
ที่มา: เทียนศักดิ์ (2534)

7. ขั้นตอนการการย้อมสี

การย้อมสีแต่ละสีจะมีกรรมวิธีส่วนผสมหรือเทคนิคที่ต่างกันไป เส้นของสีธรรมชาติอยู่ที่สีบางสีที่ย้อมออกมามีลักษณะเฉพาะที่อยากจะย้อมซ้ำให้เหมือนเดิมได้อีก หรือ ยากที่จะใช้สีเคมีย้อมให้ได้เหมือน ซึ่งผู้สนใจในการย้อมสีธรรมชาติจะต้องแสวงหาความรู้จากการศึกษา และการทดลองปฏิบัติด้วยตนเอง พูลทรัพย์ และคณะ (2542) กล่าวถึงหลักการทั่วไปในการย้อมสีจากธรรมชาติโดยใช้อัตราส่วน เส้นไหม 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำหนักวัสดุที่ให้สีแห้ง 2 กิโลกรัม (ถ้าวัสดุที่ให้สีเป็นวัสดุสดต้องใช้ 4 กิโลกรัม)

7.1 การเตรียมน้ำสี

7.1.1 ให้นำเปลือกไม้ไปหั่น หรือสับเป็นชิ้นเล็กๆ

7.1.2 ถ้าต้องการให้แห้งต้องนำไปตากแดดให้แห้งสนิทประมาณ 2-3 วัน แต่ถ้าต้องการใช้สดให้ใช้ได้เลย

7.1.3 นำเปลือกไม้แห้งหรือใบไม้สดไปแช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน

7.1.4 ต้มเคี่ยวเอาน้ำสีให้ได้สีตามปริมาณที่ต้องการ จากนั้นจึงนำไปย้อม

7.2 การย้อม

7.2.1 เอาเส้นไหมลงชุบน้ำ ให้น้ำเข้าเส้นไหมให้ทั่ว

7.2.2 เอาเส้นไหมใส่ลงไปในน้ำสี

7.2.3 ยกหม้อย้อมตั้งไฟ

7.2.4 พลิกกลับเส้นไหมให้สามารถดูดซึมสีให้ทั่วถึง

7.2.5 ทิ้งให้เดือดประมาณ 60 นาที

7.2.6 ยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

7.2.7 นำไปล้างน้ำให้สะอาด

7.3 ข้อควรจำในการใช้สีธรรมชาติ

7.3.1 วัตถุดิบที่นำมาใช้ เช่น เปลือกไม้ หรือใบไม้ต้องหั่น หรือสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้ น้ำสีซึมออกมาให้ได้มากที่สุด

7.3.2 อัตราส่วนที่ใช้ในการย้อมสี คือ เปลือกไม้ แก่นไม้ และรากที่แห้งจะใช้ประมาณ 2 เท่าของน้ำหนักเส้นไหม ส่วนใบหรือผลไม้สดจะใช้เท่ากับ 4 เท่าของเส้นไหม การใช้ปริมาณ วัตถุดิบที่มากเกินไป เส้นไหมก็จะไม่สามารถดูดสีไปใช้ได้หมด ทำให้เกิดการตกสี หรือค่าความ คงทนต่อการซักดุน้อย

7.3.3 ควรแช่เปลือกไม้ หรือวัตถุดิบอื่นๆ ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 คืน ก่อนที่จะนำไปต้มเอาน้ำสี เพราะจะช่วยให้อัตราการคายสีออกมาง่ายขึ้น ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการต้มมาก

7.3.4 เส้นไหมที่นำมาใช้ย้อมต้องฟอกให้สะอาดก่อนที่จะนำมาย้อมเพราะจะช่วยให้ สีติดได้ดีและสม่ำเสมอ

7.3.5 ต้องใช้น้ำสะอาดไม่กระด้าง เช่น น้ำฝน และ น้ำบ่อเป็นต้น

7.3.6 ปริมาตรของน้ำสีจะต้องมากกว่าเส้นไหมไม่น้อยกว่า 20 เท่า เช่น เส้นไหม 1 กิโลกรัม จะต้องมีย่าน้ำสีอย่างน้อย 20 ลิตร

7.3.7 อุปกรณ์ที่ใช้ย้อมต้องมีขนาดเหมาะสมกับเส้นไหม คือ ถ้าเส้นไหมมากก็ควรจะใช้หม้อย้อมใบโตด้วยเช่นกัน

7.3.8 หม้อย้อมควรเป็นกะละมังเคลือบหรือสแตนเลส เพราะทำให้สีสดใสเนื่องจากสีธรรมชาติจะทำปฏิกิริยาที่รวดเร็วกับโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นตัวติดสี (Mordant) ถ้าใช้หม้อย้อมที่เป็นเหล็กหรือมีสนิม เส้นไหมที่ได้จะมีระดับสีเข้มเหมือนใช้สนิมเหล็กเป็นตัวติดสี หรืออาจทำให้เส้นไหมด่าง เพราะถูกสนิมของหม้อย้อม

7.3.9 ความร้อนในการย้อมควรจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ไม่ควรรวดเร็วจนเกินไป เพราะจะทำให้เส้นไหมด่างได้

7.3.10 ขณะที่ย้อมต้องคอยพลิกกลับเส้นไหมอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้เส้นไหมด่าง

7.3.11 เมื่อย้อมเส้นไหมเสร็จแล้วควรดั่งน้ำสีและเส้นไหมไว้ให้เย็นเสียก่อนจึงนำเส้นไหมไปล้างน้ำ มิฉะนั้นสีอาจจะหลุดออกจากเส้นไหมได้ง่าย

7.3.12 ควรมีการบันทึกรายละเอียดของการย้อมสีทุกครั้ง เพื่อให้สามารถทำซ้ำให้ได้สีเหมือนเดิม

8. ครั่ง

ครั่ง (Coccidac) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Laccifer Lacca*, cer Sunonyms เป็นผลผลิตจากแมลงชนิดหนึ่ง เรียกว่า แมลงครั่ง เป็นแมลงขนาดเล็ก อาศัยดูดน้ำเลี้ยงจากกิ่งไม้เป็นอาหาร จึงนับว่าเป็นศัตรูแก่พันธุ์ไม้ที่ใช้เพาะเลี้ยงครั่ง แต่ก็ไม่นับว่าเป็นศัตรูร้ายแรงเช่นแมลงจำพวกอื่นๆ เนื่องจากถ้าครั่งไม่จับต้นไม้มากเกินไปนักก็ไม่ทำให้ต้นไม้ตายได้ อย่างไรก็ดีแมลงครั่งจะรบกวนต้นไม้ทำให้การเจริญเติบโตชะงักลง แมลงครั่งเป็นแมลงขนาดเล็กและใช้วงเจาะลงไปบนกิ่งไม้เพื่อดูดน้ำเลี้ยง ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงสร้างรังห่อหุ้มป้องกันตัว รังนี้ประกอบด้วยสารสีม่วงแดง जिईสีเหลืองแก่ และยางสีส้ม รังนี้คือสารที่เรียกว่า ครั่ง ซึ่งมนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์กันตั้งแต่สมัยโบราณกว่า 4,000 ปีมาแล้ว โดยใช้เป็นสีย้อมไหม เป็นยารักษาโรคโลหิตจาง โรคลมชักข้อ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการทำเซลล์ แลกเกอร์ เครื่องใช้ และเครื่องประดับ

9. หมาก

หมาก (Betel Nuts, Areca nut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Areca catechu* Linn เป็นพืชตระกูลปาล์ม เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ไม่มีรากแก้ว รากฝอยกระจายรอบโคนต้นมากน้อยขึ้นอยู่กับอายุและความอุดมสมบูรณ์ของดิน หมากเป็นไม้ยืนต้นมีลำต้นเดี่ยวไม่แตกกอ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-6 นิ้ว ระยะแรกจะมีการเจริญเติบโตด้านกว้างและด้านสูง หลังจากหยุดเจริญเติบโตจะเจริญเติบโตด้านความสูง รูปทรงกระบอกตรง หมากมีตายอดส่วนปลายสุดของลำต้นถ้ายอดตายหมากจะตายตายอดจะเป็นที่เกิดของใบ หลังจากใบร่วงหล่นจะทิ้งรอยขีดของใบเรียกว่าข้อ ข้อของหมากสามารถคำนวณหาอายุหมากได้ 1 ปี หมากจะมีใบหรือข้อเพิ่มขึ้น 5 ใบ หรือ 5 ข้อ ต้นหมากมีเนื้อเป็นเส้นยาวๆ จับตัวกันแน่นบริเวณเปลือกนอกลึกเข้าไปประมาณ 2 เซนติเมตร ส่วนกลางลำต้นเป็นเส้นไม่อัดแน่นเหมือนด้านนอกและมีเนื้อไม้อ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำทำให้ต้นหมากเหนียวและสามารถโยกโอนเอนได้มาก ส่วนที่ใช้ชื่อย้อม คือ เนื้อของลูกหมาก

10. จี้เหล็ก

จี้เหล็ก (Cassod tree, Siamese senna, Thai copperpod, Siamese cassia) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cassia siamea* Lam. เป็นไม้ยืนต้นสูงได้ถึง 10-15 เมตร ใบใหญ่ยาวประมาณ 20 ซม. ประกอบไปด้วยใบย่อย 7-16 คู่ รูปร่างขอบขนานปลายมน หรือขอบขนานเรียวปลายคล้ายรูปไข่ ปลายใบหยักเว้าหาเส้นกลางใบเล็กน้อย โคนใบกลม ได้ใบสีเขียวกว่าด้านบน และมีขนเล็กน้อย กว้าง 1-2.5 ซม. ยาว 3-7 ซม. ดอกออกเป็นช่อใหญ่ ยาวประมาณ 15-30 ซม. ดอกใหญ่ 2-4 ซม. สีเหลืองสด กลีบรองกลีบดอกมักโค้งกลับ มีขน ผลเป็นฝักค่อนข้างหนา กว้าง 1.2-2 ซม. ยาว 15-30 ซม. ภายในมีเมล็ดใหญ่ยาว จำนวน 20-30 เมล็ด

11. เข

เข มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Maclura cochinchinensis* Corner เป็นไม้ประเภทเถา เนื้อแข็งขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นพุ่ม แล้วเกาะพันกับต้นไม้อื่นๆ ลำต้นและกิ่งมีหนามแหลมยาว ผลเป็นผลรวม เมื่อสุกจะมีสีเหลืองเข้ม แดงชมพู มีรสหวานฝาด เป็นอาหารที่นกชอบกิน ขยายพันธุ์ทางเหง้า หรือแตกหน่อจากต้นเดิม มักจะขึ้นเป็นกลุ่มๆ ที่ละหลายต้น เมื่อตัดต้นใหญ่ออกไปแล้ว ต้นเล็กจะแตกหน่อ

ออกมาจากท่อที่ถูกตัดไป แม้เขที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ควรมีอายุประมาณ 10-15 ปี จึงจะใช้ซ่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนที่ใช้ซ่อมคือแก่น

12. กระบวนการบำบัดน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์, 2539)

การบำบัดน้ำเสีย เป็นกระบวนการที่ทำให้ของแข็งที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียถูกขจัด หรือเปลี่ยนแปลงสภาพจากสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย กลายเป็นแร่ธาตุหรือสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างคงสภาพ ซึ่งส่งผลให้ความสกปรกในน้ำลดลงไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมเมื่อปล่อยออกไป สำหรับส่วนที่เป็นของแข็งที่แยกออกไปนั้นต้องนำไปกำจัดในทางที่ถูกต้องต่อไป กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

12.1 การบำบัดทางกายภาพ เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวดทราย ไขมัน และน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงคัดขยะ, ถังคัดกรวดทราย, ถังคัดไขมัน และน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

12.2 การบำบัดทางเคมี เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว, ถังกวนช้า, ถังตกตะกอน, ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

12.3 การบำบัดทางชีวภาพ เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอคทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activate sludge, AS), ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating biological contactor, RBC), ระบบคลองวนเวียน (Oxidation ditch,

OD), ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon, AL), ระบบโปรยกรอง (Trickling filter), ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization pond), ระบบยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket, UASB) และระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter, AF) เป็นต้น

12.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยวิธีทางกายภาพและเคมีผสมผสานกัน และจะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ Ion exchange (การแลกเปลี่ยนประจุ), Carbon adsorption (การดูดซับด้วยถ่าน), Reverse osmosis (ออสโมซิสผันกลับ) และ Electro dialysis (การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง)

13. การบำบัดน้ำเสียทางเคมีด้วยวิธีโคแอกกูเลชัน

เสริมพล และไชยยุทธ (2524) กล่าวว่า การกำจัดสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยทั่วไปจะลดค่าสกปรกได้ไม่มากนัก เพราะสิ่งสกปรกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารละลาย ตัวอย่าง เช่น ในน้ำทิ้งชุมชน การกำจัดสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำจะช่วยลดค่า BOD ได้ไม่เกิน 40 % การกำจัดสิ่งสกปรกแขวนลอย (Suspended matters) ได้แก่ สิ่งสกปรกต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ มีขนาดตั้งแต่ 10^{-3} มิลลิเมตร ขึ้นไป ส่วนใหญ่จะสามารถกำจัดได้โดยวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์ ยกเว้นพวกที่ไม่ตกตะกอนและมีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา รวมถึงพวกที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ (Colloidal particles) ซึ่งสามารถลอดผ่านกระดาษกรองได้ การกำจัดอนุภาคคอลลอยด์นี้ทำได้โดยวิธีการสร้างตะกอนทางเคมี ที่เรียกว่าโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

14. การสร้างตะกอน (Coagulation)

การสร้างตะกอน หมายถึง กระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) อนุภาคขนาดเล็กซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำนั้น โดยทั่วไปมีขนาด $10^{-3} - 10^{-6}$ มิลลิเมตร อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ นั้นส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุบวกหรือลบ แล้วแต่ชนิดสารแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ (มันสิน, 2538)

14.1 พวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่รอบๆ อนุภาคเหล่านั้น แยกออกจากน้ำได้ยาก ต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่างๆ นั้นมาเกาะมาจับกันเป็นกลุ่ม

ก่อนเพราะ โมเลกุลของน้ำเสมือนสิ่งกีดขวางไม่ให้อนุภาคต่างๆ เข้าใกล้และจับตัวกันได้ พวกนี้
มักจะเป็นอนุภาคที่มีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์บางชนิด

14.2 พวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) อนุภาคมักจะเป็นประจุลบ สามารถแยกออกจากน้ำ
ได้ง่าย เพราะไม่มีโมเลกุลของน้ำเป็นสิ่งกีดขวาง เช่น อนุภาคของดินเหนียว ทอง โลหะอื่นๆ การที่
อนุภาคต่างๆ แขนวลอยอยู่ในน้ำ เพราะอนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูงเกิดจาก
แรงผลักกันระหว่างอนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกัน ทำให้อนุภาคไม่สามารถจับเป็นกลุ่มก้อนได้
ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆ รวมตัวกันเกิดเป็นกลุ่มก้อนจะต้องมี 2 ขั้นตอน ได้แก่

14.2.1 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์โดยการเติมสารสร้าง
ตะกอนภายใต้สภาพน้ำที่มีความปั่นป่วนอย่างรุนแรงในขั้นตอนการกวนเร็ว เพื่อให้สารเคมีและ
อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันได้มีมากยิ่งขึ้นกระบวนการนี้สามารถกระทำได้อาศัยกลไก 4 แบบ

ก. การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer) โดยการลดค่าซีตาโพเทน
เชียล (Zeta potential) ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค
ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวน Counter ion ในชั้นกระจาย ทำให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลง

ข. การดูดติด และทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาค (Adsorption/charge
neutralization) โดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับอนุภาค และสามารถดูดติดผิวของ
อนุภาคคอลลอยด์ได้ทำให้มีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้า และทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

ค. การห่อหุ้มอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น โดยการเติม
สารประกอบของเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำปริมาณที่พอเพียง จะมีการตกผลึกเกิดขึ้น
อย่างรวดเร็ว สามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึก หรืออนุภาคอาจจับรวมตัวกับผลึกทำให้
ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีน้ำหนักมากขึ้น และสูญเสียเสถียรภาพจนสามารถตกตะกอนได้ สาร
สร้างตะกอนที่ใช้ เช่น สารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว เป็นต้น การ
กำจัดคอลลอยด์โดย กลไกแบบนี้มักเรียกว่าเป็น Sweep coagulation

ง. การใช้สารอินทรีย์พอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer
bridging) เป็นการเติมสารประกอบตามธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีน
บางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อเป็นสารสร้างตะกอน สารเหล่านี้มักมี

ขนาดโมเลกุลใหญ่มาก ประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุเลยก็ได้ กลไกนี้ก็จะทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยวิธีสร้างสะพานเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์ (Polymer bridging) โดยในขั้นตอนแรก พอลิเมอร์จะเกาะติดกับอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของพอลิเมอร์ และคอลลอยด์หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของพอลิเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีพอลิเมอร์เกาะติดอยู่และมีปลายอิสระสำหรับเกาะกับอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized particle)

อนุภาสดังกล่าวนี้อาจจะจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ และสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้สะดวก การเชื่อมพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นได้ครบเท่าที่มีพอลิเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค แต่ในทางตรงกันข้ามหากปลายอิสระของพอลิเมอร์กับมาเกาะจับบนอนุภาคเดิมทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารพอลิเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระ และไม่มีที่ว่างทำให้อนุภาคมีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized particle) และการใช้พอลิเมอร์มากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะพอลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาค สำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของพอลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆ อนุภาคคอลลอยด์จึงยังคงมีเสถียรภาพอยู่ และการกวนน้ำแรงเกินไป หรือนานเกินไปก็ก่อผลเสียได้ เพราะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ และอาจทำให้ปลายอิสระของพอลิเมอร์เกาะกับบนอนุภาคอันเดิม เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่อีก

14.2.2 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว เคลื่อนที่มากกระแทกหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of colloidal particles) จนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะตกตะกอนได้ง่ายขึ้น (Flocculation) โดยอาศัยการกวนช้า ซึ่งปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดกลไก ได้แก่

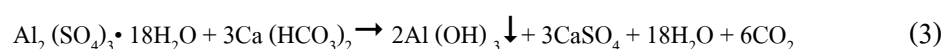
ก Perikinetic flocculation เป็นการรวมตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อนซึ่งแปรรูปเป็นพลังงานทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว และชนอนุภาคความปั่นที่กระจายอยู่ในน้ำ ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่ที่เกิดการสัมผัสจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำและจำนวนอนุภาค โดยจะมีบทบาทเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และหากอนุภาคความปั่นรวมตัวกันมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน แล้วการรวมตัวแบบนี้จะมีบทบาทน้อยลงมาก

ข. Orthokinetic flocculation เป็นการรวมตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อการเคลื่อนที่ของน้ำ อยู่ในภาวะของการกวน โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำจะแตกต่างกันตามตำแหน่งและเวลา ดังนั้นอนุภาคความขุ่นที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำจะมีความเร็วแตกต่างกันไปด้วย จึงทำให้เกิดการชนและการรวมตัวในที่สุด กลไกแบบนี้จะมีบทบาทมาก เมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากลไกหลักของการกวนช้า จะต้องมีการสร้างสภาวะการเคลื่อนที่ของน้ำ ให้มีความเร็วที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งต่างๆ ในน้ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ใบพัดแบบต่างๆ

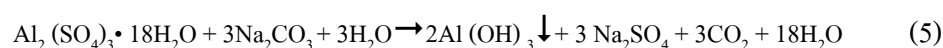
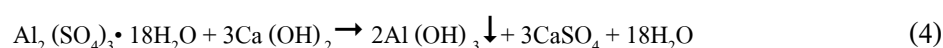
15. การเลือกใช้สารสร้างตะกอน

สารสร้างตะกอนเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต, เพอร์รัสซัลเฟต, เหล็กของเหล็ก, โซเดียมอลูมินेट เป็นต้น สำหรับการทำให้ประสิทธิภาพของการสร้างรวมตะกอนเคมีดีจำเป็นต้องเติมสารช่วยสร้างตะกอน ได้แก่ กรด, ด่าง, แอ็กทิเวเตดซิลิกา, โพลีอิเล็กโทรไลต์, ดินเหนียว เป็นต้น โดยแสดงรายละเอียดดังนี้ (เกรียงศักดิ์, 2539)

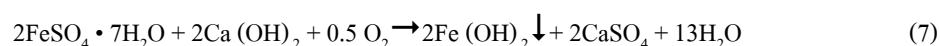
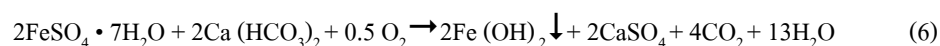
15.1 อลูมิเนียมซัลเฟต เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุด มีสูตรเคมี คือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ จะมีทั้งอยู่ในสภาพเป็นก้อน, เป็นผง และเป็นของเหลว เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย ซึ่งถ้ามีสภาพเป็นด่างจะเกิดตะกอนรูปร่างคล้ายหัวเข็มหมุดของ $Al(OH)_3$ ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ช่วง 5.5 - 8.0 ดังแสดงในสมการ (3)



ถ้า น้ำเสียไม่มีสภาพด่างอยู่ จำเป็นต้องเติมด่างผสมลงไป เพื่อเพิ่มสภาพด่างในน้ำเสีย เช่น เติมน้ำขาว หรือพวก Soda ash ดังแสดงในสมการ (4) และ (5)



15.2 เฟอร์รัสซัลเฟต หรือที่เรียกว่า Copperas มีลักษณะเป็นผลึกเขียวแห้งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเสียที่มีสภาพด่างได้แต่ค่อนข้างช้ามาก ทำให้จำเป็นต้องเติมปูนขาวเพื่อเพิ่มค่า pH ขึ้นจนเกิดตะกอนของ Ferric hydroxide ดังแสดงในสมการ (6) และ (7)



15.3 เกลือของเหล็ก ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ Ferric sulfate และ Ferric chloride ซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนเคมี ซึ่งสามารถสร้างตะกอนได้ดีในช่วง pH 4-9

15.4 โซเดียมอลูมินेट เป็นสารที่อาจใช้ผสมกับสารส้ม หรือผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเกิดตะกอนของ Aluminum hydroxide โดยไม่ต้องใช้ปูนขาว เพื่อเพิ่มค่าสภาพด่างในน้ำเสีย

15.5 แอกทิเวเต็ดซิลิกา มีคุณสมบัติเป็นประจุลบ ทำหน้าที่ช่วยให้ตะกอนที่ถูกสารสร้างตะกอนเคมีรวบรวมมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อไม่ใช้พวกแอกทิเวเต็ดซิลิกา เพราะพวกแอกทิเวเต็ดซิลิกาจะไปเกาะติดกับพวกโลหะไฮดรอกไซด์ทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากขึ้น สาร Activated silica ยังช่วยลดปริมาณการใช้ของสารสร้างตะกอนลงด้วย ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง

15.6 โพลีอิเล็กโทรไลต์ จะมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ สารที่มีประจุลบ, สารที่มีประจุบวก และสารที่มีทั้งประจุลบ และบวก ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดตะกอนเคมีได้เร็ว โดยอาศัยกระบวนการ Adsorption, Neutralization และ Interparticle bridging ซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง

15.7 ดินเหนียว ซึ่งส่วนมากจะประกอบไปด้วย Hydrated aluminium silicate ซึ่ง อลูมิเนียม เป็นสารช่วยเพิ่มน้ำหนักของตะกอนวุ้น (Floc) ที่ใช้สารสร้างตะกอนทางเคมี ส่งผลให้เกิดตะกอนได้เร็ว ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง

16. ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตัวกันตกตะกอน

ในกระบวนการสร้างและรวมตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังนี้ (มันสิน, 2538; โกมล และคณะ, 2527)

16.1 ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ

เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบหรือเป็นคอลลอยด์ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีโอกาสถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าประเภทที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) หากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

16.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ความหนืดของน้ำต่ำซึ่งจะช่วยให้ตกตะกอนได้ดี

16.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างตะกอนจะสมบูรณ์ ต้องอาศัยส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำที่สำคัญได้แก่ สภาพความเป็นด่างในน้ำ (Alkalinity) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอช เพื่อให้ปฏิกิริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

16.4 พีเอช ที่เหมาะสม

สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชต่างๆ กัน การเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำที่ไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้เปลืองสารเคมีที่ใช้แล้วยังจะทำให้คุณภาพน้ำไม่ดีเท่าที่ควรและผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี

16.5 ชนิดและปริมาณของสารที่ใช้ในการสร้างและรวมตะกอน

สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมสำหรับทำลายอนุภาคคอลลอยด์แต่ละชนิดได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ความเร็วของการตกตะกอน ความยากง่ายในการใช้งานรวมทั้งราคาด้วย

16.6 กลือของสาร

ในน้ำเสียมักจะพบเกลืออนินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อช่วงพีเอชที่เหมาะสม คือจะทำให้ช่วงกว้างขึ้น ระยะเวลาที่จับตัวเป็นตะกอนมากขึ้น และปริมาณสารช่วยสร้างตะกอนจะใช้มากขึ้น เป็นต้น

16.7 ระดับความขุ่นในน้ำ

หมายถึง ปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำโดยน้ำที่มีอนุภาคแขวนลอยจำนวนมากจะใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่า อีกทั้งยังตกตะกอนได้ดีกว่า เนื่องจากมีเป่าสัมผัสมากกว่าน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยกว่า

16.8 เวลาและความแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว

การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ทั่วถึงและยังเป็นการช่วยประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้อาจใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนี้ ถ้าใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนที่เกิดขึ้น เพื่อให้มีโอกาสลอยมาสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด โดยทั่วไปการกวนเร็วใช้เวลา 30-90 วินาที

ธงชัย (2527) ได้ทำการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้า ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อม โทนสี และสารเคมีที่ใช้เป็นสำคัญ สารส้มสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 70 % ขึ้นไป

สมชาย (2514) ทดลองกำจัดสีในน้ำเสียจากจากโรงงานย้อมผ้า โดยวิธีทางเคมี สารเคมีที่ใช้คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต, เพอร์ริกคลอไรด์ พร้อมทั้งใช้ถ่านกัมมันต์ ช่วยในการฟอกสี และเป็นตัวช่วยตกตะกอน ผลการศึกษาพบว่า อะลูมิเนียมซัลเฟต เหมาะสมกว่าสารเคมีชนิดอื่นๆ และไม่ทำให้สีของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น

Altinbas *et al* (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียรวม โดยสีที่ใช้ส่วนมากจะเป็นประเภท reactive และ direct บำบัดโดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมี และระบบ activated sludge ตามลำดับ โดยตัวตกตะกอนที่ใช้คือ สารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ ปูนขาว และแคลเซียมคาร์บอเนต จากผลการทดลองพบว่า ที่ pH 6.0 การใช้สารส้มร่วมกับปูนขาว จะให้ผลที่ดีที่สุดในการลด COD โดยใช้สารส้ม 184 มิลลิกรัมต่อลิตร และปูนขาว 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลด COD ได้ 42 % ส่วนการใช้สารส้มร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต, เพอร์ริกคลอไรด์ ปูนขาว และเพอร์ริกคลอไรด์ ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถลด COD ลงได้ 40%, 32-45% และ 35% ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำเสียขั้นแรกมาบำบัดด้วยระบบ activated sludge สามารถที่จะลด COD ได้ 60-90 % ซึ่งจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารส้มในการตกตะกอนแล้วตามด้วย activated sludge สามารถกำจัด COD ได้ถึง 94%

Ghoz *et al* (1978) กล่าวว่ากำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารอินทรีย์และสี โดยทั่วไปวิธีการกำจัดสี และสารอินทรีย์ จะสามารถทำได้โดยใช้ระบบทางชีววิทยา ควบคู่ไปกับระบบฟิสิกส์-เคมี แม้ว่าระบบกำจัดทางชีวภาพจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดสีได้เป็นที่น่าพอใจ กระบวนการดูดติดด้วยถ่าน (carbon adsorption) ตามด้วยวิธีตกตะกอนด้วยวิธีเคมี หรือไม่ก็ตาม เป็นวิธีที่สามารถกำจัดสีจากน้ำเสียได้ การรวมกระบวนการทางชีวภาพ และการดูดติดทางเคมี (chemical adsorption) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ และสีของน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าได้

Nuphan (1992) กำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อมสี โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยเพอร์สซัลเฟต เพอร์ริกซัลเฟต ร่วมกับพอลิเมอร์ ผลการศึกษาพบว่า ใช้เพอร์สซัลเฟต กำจัดสี, COD และแมงกานีส ได้ 95.5%, 42% และ 98.5% ตามลำดับ ถ้าใช้ร่วมกับพอลิเมอร์กำจัดได้ 98%, 51% และ 99% ตามลำดับ ส่วนเพอร์ริกซัลเฟต กำจัดสี, COD และแมงกานีส ได้ 94%, 46.5% และ 17% ตามลำดับ ถ้าใช้ร่วมกับพอลิเมอร์กำจัดได้ 95%, 63% และ 23% ตามลำดับ

Yu Gao *et al* (2007) ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ จากสีรีแอคทีฟ และสีดิสเพอร์ส โดยใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของแมกนีเซียมคลอไรด์ จะขึ้นอยู่กับ pH และ ปริมาณของแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ใส่ลงไป ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีด้วย แมกนีเซียมคลอไรด์ คือ ที่ pH เท่ากับ หรือมากกว่า 12 ซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่มีค่า pH สูงกว่าปกติ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุ

1.1 ผ้าไหมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นผ้าไหมทอมือ จากจังหวัดสกลนคร เป็นผ้าไหมที่ลอก กาวแล้วแต่ยังไม่ได้ผ่านการฟอกขาว และการย้อม ทอแบบลายขัด (Plain weaving) โดยใช้เส้นด้าย ยืน 1 เส้นต่อเส้นด้ายพุ่ง 2 เส้น สีค่อนข้างเหลืองนวล สำหรับลักษณะของเส้นด้ายไหมได้แก่ขนาด เส้นด้าย จำนวนเส้นด้ายทอ และเกลียวของเส้นด้าย แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะของเส้นด้ายไหมที่ใช้ในงานวิจัย

	ขนาดเส้นด้าย (ดีเนียร์)	จำนวน เส้นด้ายทอ (เส้นต่อนิ้ว)	ชนิดของแนว เกลียว	จำนวนเกลียว (รอบต่อนิ้ว)
เส้นยืน (Warp)	51	100	S	11.62
เส้นพุ่ง (Wef)	170.25	139.66	Z	2.4

1.2 รังครั้ง ใช้ย้อมเป็นเจดสีแดง

1.3 แก่นเข ใช้ย้อมเป็นเจดสีเหลือง

1.4 ลูกหมาก ใช้ย้อมเป็นเจดสีส้ม

1.5 ใบจีเหล็ก ใช้ย้อมเป็นเจดสีเขียว

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องมือสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการติดสีของผ้าไหม

2.1.1 Roaches Beaker Dyer (single bath PYROTECS , Model T.P.C. 1001) สำหรับย้อมผ้าไหม

2.1.2 Spectrophotometer (Spectraflash 500 , Datacolor international) ใช้วัดความขาวสี และความแตกต่างของสี

2.1.3 UV-VIS Spectrophotometer (Model 6400 , Jenway) สำหรับวัดสีของน้ำย้อม

2.1.4 Martindale Wear & Abrasion tester (James H.Heal & Co.,LTD. Halifax , England) สำหรับทดสอบความคงทนต่อการขัดถู

2.1.5 Elmendorf tearing tester (Model EL-6400W , DAIEI KAGAKU SEIKI MFG Co.,LTD.) สำหรับทดสอบความคงทนต่อแรงฉีกขาด

2.1.6 Seven-Station Monstant Crease recovery tester (Model MR-7P , DAIEI KAGAKU SEIKI MFG Co.,LTD.) สำหรับทดสอบความคงทนต่อการยับ

2.1.7 Nuance dyer (Ahiba, Datacolor International) สำหรับทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

2.1.8 Scanning electron microscope (SEM) สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยไหมหลังจากผ่านกระบวนการทดสอบความคงทนต่อการขัดถู

2.2 เครื่องมือสำหรับการศึกษาการลดปริมาณสี จากกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ

2.2.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic รุ่น 20 Genesys, USA.)

2.2.2 Analytical balance (Avery berkel model FA 313, USA.)

2.2.3 Hot air oven (Heraeus instrument รุ่น T 6120, Germany)

2.2.4 ฟิเอชมิเตอร์ (Denver instrument รุ่น 215, USA.)

2.2.5 Hotplate (Fisher scientific, USA.)

2.2.5 Centrifuge (Jouan รุ่น BR 4i, France)

2.2.6 Orbital Shaker (Gallenkamp รุ่น SGM-300, UK.)

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการติดสีของผ้าไหม

3.1.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30%

3.1.2 กรดซิตริก (AR Grade)

3.1.3 โซเดียมไฮโปไฟอสเฟต (AR Grade)

3.1.4 Tween20 (AR Grade)

3.1.5 อะซิเตดบัฟเฟอร์ เตรียมจาก กรดอะซิติกกับ โซเดียมอะซิเตด (AR Grade)

3.1.6 ผงซักฟอกชนิดปราศจากสารเรืองแสง (ยี่ห้อ Jame H.Heal, England)

3.2 สารเคมีสำหรับการศึกษาการลดปริมาณสี จากกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ

3.2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ Standard methods for the examination of water and waste water (APHA, AWWA, WEF, 1992)

3.2.2 H_2SO_4 (AR grade)

3.2.3 NaOH (AR grade)

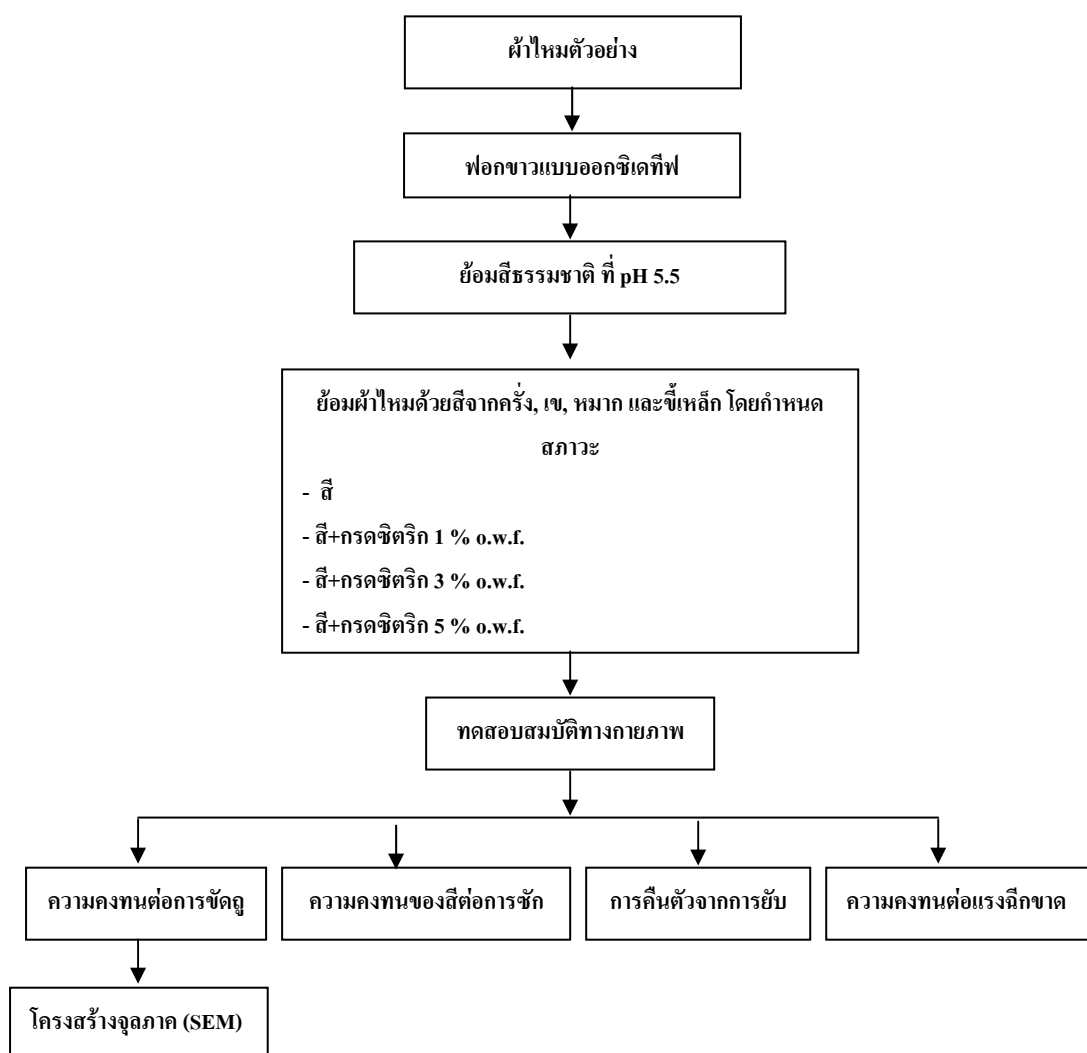
3.2.4 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ (สารส้ม) (Commercial grade)

3.2.5 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (AR grade)

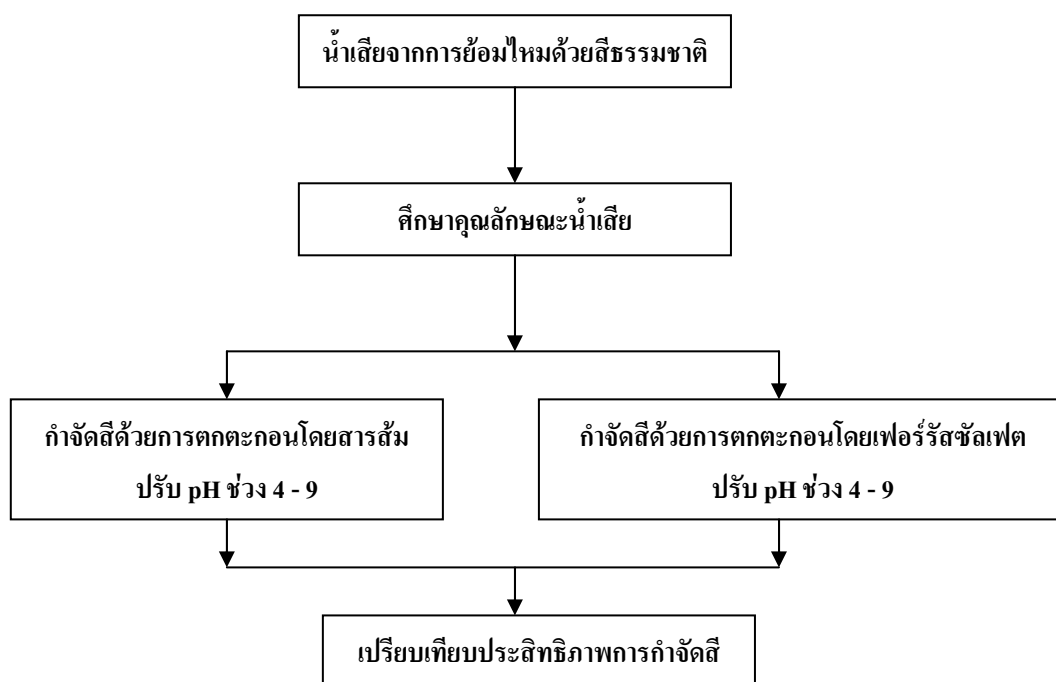
3.2.6 น้ำกลั่น (DI)

วิธีการ

ในการวิจัยนี้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการติดสีของผ้าไหมไทยโดยการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติร่วมกับกรดซิดริกซึ่งเป็นสารสร้างพันธะข้าม (Cross linking) ดังแสดงในภาพที่ 9 สำหรับส่วนที่สองเป็นการศึกษาการกำจัดสีจากกระบวนการย้อมสีธรรมชาติของผ้าไหมโดยการตกตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 วิธีการศึกษาประสิทธิภาพการติดสีของผ้าไหมโดยการนำมาย้อมด้วยสีธรรมชาติร่วมกับกรดซิตริกซึ่งเป็นสารสร้างพันธะ



ภาพที่ 10 ขั้นตอนในการศึกษาการกำจัดสีโดยวิธีการตกตะกอน จากกระบวนการย้อมสีธรรมชาติของผ้าไหม

1. การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีของผ้าไหม

1.1 การฟอกขาวผ้าไหม

การฟอกขาวผ้าไหมตัวอย่างใช้การฟอกขาวแบบออกซิเดทีฟ โดยใช้สารละลายซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30% จำนวน 22 มิลลิลิตร/ลิตร เตะตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต (Stabilizer) 6 กรัม/ลิตร และ tween 20 อัตราส่วน 1 หยด/ลิตร ใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาตรสารละลายต่อน้ำหนักผ้า (Liquor ratio) 20:1 pH อยู่ในช่วงระหว่าง 8 – 8.5 (ปรับ pH โดยใช้กรดอะซิติก หรือแอมโมเนีย) อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากฟอกขาวแล้วล้างน้ำ ผึ่งให้แห้งในที่ร่มไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง แล้วนำไปรีดที่อุณหภูมิ 100°C – 120°C ขณะรีดใช้ผ้าฝ้ายหนาทับบนผ้าไหม เพื่อป้องกันการสัมผัสกับความร้อนจากโลหะโดยตรง

1.2 การย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติร่วมกับกรดซิตริก

นำผ้าไหมตัวอย่างที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว มาย้อมด้วยใช้สีธรรมชาติร่วมกับกรดซิตริก โดยใช้สีธรรมชาติจาก ครั่ง เข ลูกหมากและใบจีเหล็ก ซึ่งครั่งและเข เป็นวัตถุดิบแห้งจะใช้ปริมาณ วัตถุดิบเป็นจำนวน 2 เท่าของน้ำหนักผ้าไหม ส่วนลูกหมากและใบจีเหล็ก เป็นวัตถุดิบสดจะใช้ ปริมาณวัตถุดิบสดเป็นจำนวน 4 เท่าของน้ำหนักผ้าไหม โดยจะนำวัตถุดิบมาสกัดสีโดยการต้มใน น้ำกลั่น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองเอาแต่น้ำสี มาเตรียมเป็นน้ำย้อมโดยใช้อัตราส่วน ระหว่างน้ำย้อมต่อน้ำหนักผ้าในอัตราส่วน 20 ต่อ 1 เติมสารละลายอะซิเตดบัฟเฟอร์ 0.02 โมลาร์ เพื่อเป็นตัวควบคุม pH ให้ได้ 5.5 ระหว่างการย้อม จากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การติดสีของผ้าไหมโดยการเติมกรดซิตริก ที่ความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5% o.w.f. โดยย้อมตัวอย่าง ละ 3 ซ้ำ โดยย้อมที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพของ ผ้าไหม

1.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพผ้าไหม

เป็นการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าไหม ตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอก ขาว ผ่านกระบวนการฟอกขาว ผ่านการย้อม และผ่านการย้อมร่วมกับสารสร้างพันธะข้ามมา ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่

1.3.1 ศึกษาสมบัติความขาว (CIE Whiteness Index) โดยนำตัวอย่างผ้าไหมวัดค่า ความขาว ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

1.3.2 ศึกษาความคงทนต่อการขัดถู (Abrasion resistance) โดยนำตัวอย่างผ้าไหม มา เตรียมให้ได้ขนาดมาตรฐาน ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชิ้น จากนั้นทดสอบ ความคงทนต่อการขัดถู ตามทดสอบตามวิธีของ British standard (BS 5690 : 1991) ด้วยเครื่อง Martindale Wear & Abrasion Tester จนกระทั่งเส้นด้ายขาด 2 เส้น ค่าความคงทนต่อการขัดถูคู่ได้ จากจำนวนรอบหลังจากเส้นด้ายขาด

1.3.3 ศึกษาความคงทนต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) โดยนำตัวอย่างผ้าไหมมา เตรียมให้ได้ขนาดมาตรฐาน คือ กว้าง 63 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ในแนวยืนจำนวน 5 ชิ้น

และแนวพุ่งจำนวน 5 ชั้น จากนั้นทดสอบตามวิธีของ ASTM D-1424: 1983 ด้วยเครื่อง Elmendorf Tearing Tester จากนั้นอ่านค่าจากสเกล มีหน่วยเป็นนิวตัน

1.3.4 ศึกษาความคงทนต่อการยับ (Crease recovery) โดยนำตัวอย่างผ้าไหมมาเตรียมให้ได้ขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ในแนวยืนจำนวน 10 ชั้น และแนวพุ่ง 10 ชั้น จากนั้นทดสอบตามวิธีของ British standard (BS EN 22313: 1992) ด้วยเครื่อง Elmendorf Seven – Station monstant crease recovery tester เป็นการวัดมุมการคืนตัวหลังจากการยับ มีหน่วยเป็นองศา

1.3.5 ศึกษาความคงทนของสีต่อการซัก (Color Fastness to Washing) โดยนำตัวอย่างผ้าที่ผ่านการย้อมสีมาเตรียมให้ได้ขนาดมาตรฐาน ใช้ผ้าขาว 2 ชิ้น โดยที่ชิ้นที่ 1 เป็นผ้าไหม และอีกชิ้นหนึ่งเป็นผ้าฝ้าย ปิดด้านหน้าและหลังของชิ้นทดสอบ แล้วเย็บริมทั้ง 4 ด้าน จากนั้นทดสอบตามวิธีของ British Standard (BS EN 20105-C01: 1993) และทำการซักโดยเครื่อง Nuance dyer แล้ววัดความแตกต่างของสีของผ้าไหม ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Spectraflash 500 , Datacolor International) ซึ่งหน่วยการวัดจะเป็น Glay scale มีค่า 1-5

1.3.6 ศึกษาโครงสร้างจุลภาค (SEM) โดยนำตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการทดสอบความคงทนต่อการขัดถู มาติดลงบน stub แล้วเคลือบด้วยทอง จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการขาดของผ้า ระหว่างใส่กรดซัลฟริก กับไม่ได้ใส่กรดซัลฟริก

2. การศึกษาการกำจัดสี จากกระบวนการย้อมสีธรรมชาติของผ้าไหม

2.1 ลักษณะจำเพาะของน้ำเสียจากการย้อมด้วยสีธรรมชาติ โดยศึกษาความเข้มของสีด้วยค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, Abs.) ค่า COD และ pH ของน้ำเสียจากการย้อมด้วยสีธรรมชาติตามวิธี Standard methods for the examination of water (APHA, AWWA, WEF, 1995)

2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีจากการย้อมด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต

2.2.1 ศึกษาระยะเวลาในการสัมผัส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้ม กับเฟอร์รัสซัลเฟต โดยการนำน้ำย้อมที่เหลือจากการย้อมผ้าไหมตัวอย่างด้วยสีธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยสีจาก เข, ครั่ง, หมาก และขี้เหล็ก

ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร สารส้ม กับเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ อย่างละ 5 กรัมลงในขวดแต่ละใบ ปรับ pH ให้เป็น 7.0 เท่ากัน เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลา 1, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วจึงแยกเอาตะกอน ออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยง จากนั้นนำ ส่วนที่ใสไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยการ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ลดลงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาเวลาที่เข้าสู่จุดอิ่มตัว ของการกำจัดสีในน้ำเสีย

2.2.2 ศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมด้วยสีธรรมชาติโดย การตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต โดยการนำน้ำย้อมปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลง ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร สารส้ม กับเฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณอย่างละ 5 กรัมลงในขวดแต่ละใบ ปรับ pH ให้เป็น 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยใช้ NaOH และ H_2SO_4 นำเข้าเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงแยกเอาตะกอนออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยง จากนั้นนำส่วนที่ใสไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ลดลงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.3 ศึกษาปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนระหว่าง สารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต แล้ว คัดเลือกสารเคมีที่มีความสามารถในการกำจัดสีที่ดีที่สุด มากำหนด สภาวะตาม ข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 โดยเติมสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนลงในน้ำย้อมปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีจนเข้าสู่สภาวะสมดุล นำส่วนที่ใสไป วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3. สถานที่ทำการทดลอง

3.1 ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

3.2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี

3.3 ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริม
อุตสาหกรรม

4. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 และสิ้นสุดเดือนเมษายน พ.ศ. 2550

ผลและวิจารณ์

การศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีธรรมชาติของผ้าไหมไทย โดยการย้อมสีธรรมชาติร่วมกับสารสร้างพันธะข้าม (กรดซิตริก) และการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติ

1. ตัวอย่างผ้าไหม

1.1 ความขาวของผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาว

ในการศึกษานี้ใช้วิธีการฟอกขาวแบบออกซิเดทีฟ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าผ้าไหมมีค่าความขาวเพิ่มขึ้น เมื่อดูจากค่า CIE Whiteness เพิ่มขึ้นจาก 49.7 เป็น 54.8 เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่นำมาใช้ในการฟอกขาวผ้าไหมนั้น จะแตกตัวได้สารที่เรียกว่า Active Oxygen คือ เปอร์ไฮดรอกซิลไอออน (HO_2^-) ซึ่งสามารถทำลายสารที่มีสีได้ และไม่ทำให้เกิดเส้นใยเหลือง

1.2 ความคงทนต่อการซักของผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาว

ในการศึกษาพบว่าผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาวแบบออกซิเดทีฟ ทำให้ความคงทนต่อการซักลดลง โดยเฉลี่ย ลดลงประมาณ 19.54 % เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการฟอกขาว เนื่องจากสภาวะการฟอกขาวนี้ไปทำลายพันธะของพอลิเปปไทด์ในเส้นใยไหม (โมโตอิ และคณะ, 2530; Karmakar, 1999) จึงส่งผลให้ผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาว มีค่าความคงทนต่อการซักลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อิทธิพลของสภาวะการฟอกขาว ต่อความคงทนต่อการขัดถูของผ้าไหม

ผ้าไหม	การขัดถู (รอบ)
ก่อนฟอกขาว	3,480
หลังฟอกขาว	2,800

1.3 ความคงทนต่อแรงฉีกขาดของผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาว

อิทธิพลของสภาวะการฟอกขาว ต่อความคงทนต่อแรงฉีกขาดของผ้าไหม ผลการทดลองโดยรวมสรุปได้ว่า ผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาวแบบออกซิเดทีฟ ให้ค่าความคงทนต่อแรงฉีกขาดลดลงประมาณ 28.34 % เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาวซึ่งให้ผลไปในทางเดียวกับความคงทนต่อการขัดถูดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของสภาวะการฟอกขาว ต่อความคงทนต่อการฉีกขาดของผ้าไหม

ผ้าไหม	เส้นพุ่ง (นิวตัน)	เส้นยืน (นิวตัน)
ก่อนฟอกขาว	19.25	12.72
หลังฟอกขาว	13.8	6.7

1.4 การคืนตัวต่อการยับของผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาว

การคืนตัวต่อการยับของผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาว มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้ฟอกขาว เนื่องจากในระหว่างกระบวนการฟอกขาว เซรีซินซึ่งเป็นโปรตีนมีลักษณะเหนียวเหมือนกาวที่ช่วยยึดเส้นใยไหมไว้ ถูกฟอกออกไปด้วย จึงทำให้เส้นไหมสามารถคืนตัวจากการยับได้ดีขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลของสภาวะการฟอกขาว ต่อสมบัติการกั้นตัวต่อการยับของผ้าไหม

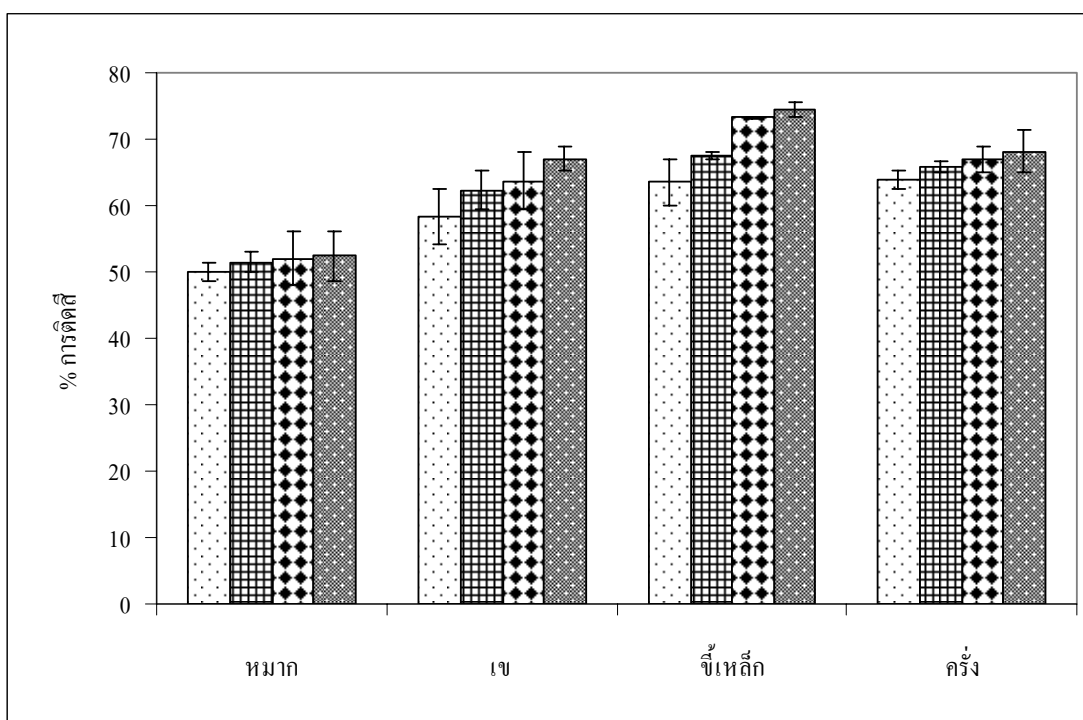
ผ้าไหม	การกั้นตัวต่อการยับ
	(องศา)
ก่อนฟอกขาว	18.0
หลังฟอกขาว	39.0

2. การย้อมสีร่วมกับสารสร้างพันธะข้ามต่อสมบัติทางกายภาพของผ้าไหม

นำผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการฟอกขาวแบบออกซิเดทีฟ ที่อุณหภูมิ 60 ° C มาย้อมร่วมกับกรดซิตริกซึ่งเป็นสารสร้างพันธะข้าม โดยกำหนดความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ 0%, 1%, 3% และ 5 % o.w.f. โดยใช้ อะซิเตดบัฟเฟอร์ เป็นตัวควบคุม pH ให้ได้ 5.5 ระหว่างการย้อม

2.1 การติดสี ของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมร่วมกับกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างกัน

ผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 11 พบว่า เมื่อย้อมด้วยหมากเปอร์เซนต์การติดสีจะเพิ่มขึ้นจาก 49.93 % เป็น 51.46%, 52.05% และ 53.83 % ตามลำดับ ย้อมด้วยเข เปอร์เซนต์การติดสีจะเพิ่มขึ้นจาก 58.28 % เป็น 62.34%, 63.75% และ 67.04 % ตามลำดับ ย้อมด้วยจีเหล็ก เปอร์เซนต์การติดสีจะเพิ่มขึ้นจาก 63.48 % เป็น 67.54%, 73.26% และ 74.49% ตามลำดับ และเมื่อย้อมด้วยครั้งพบว่า เปอร์เซนต์การติดสีจะเพิ่มขึ้นจาก 63.9% เป็น 65.9%, 66.9% และ 68.2 % ตามลำดับ ซึ่งโดยภาพรวมสรุปว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก จะทำให้ผ้าไหมมีการติดสีเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสี โดยการวัดค่า CIELab Color Difference พบว่าสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซนต์การติดสีของผ้าไหม โดยค่าความแตกต่างของสี (DE*) ของทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เติมกรดซิตริก ดังแสดงในตารางที่ 7



ภาพที่ 11 ผลของการย้อมผ้าไหมตัวอย่างร่วมกับกรดซัลฟริกต่อสมบัติการดีดีของผ้าไหม

 0% o.w.f.
  1% o.w.f.
  3% o.w.f.
  5% o.w.f.

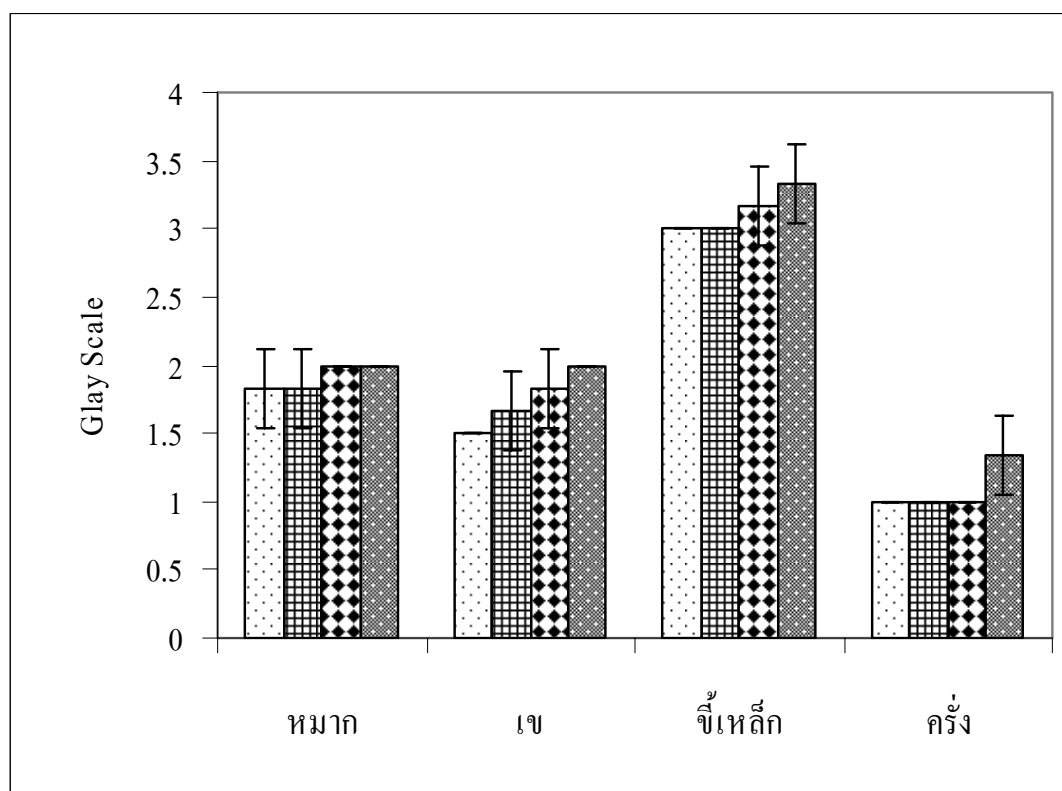
ตารางที่ 7 ค่าความแตกต่างของสี (CIELab Colour Difference) ของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีธรรมชาติ ร่วมกับกรดซิตริก

Dye	Conditions	Color	Lightness	Chroma
		Difference (DE*)	Difference (DL*)	Difference (C*)
เข้	0% owf.	0.6367	-0.2770	0.3533
	1% owf.	2.0248	-0.2627	-1.9512
	3% owf.	2.9130	0.0788	-3.4272
	5% owf.	3.5855	0.0905	-3.5567
กรั้	0% owf.	2.5550	-2.9110	0.1543
	1% owf.	5.4322	-2.5360	4.6602
	3% owf.	5.8788	-0.6957	5.2075
	5% owf.	7.1368	-0.1565	6.6614
หมาก	0% owf.	0.3910	-0.8345	0.2403
	1% owf.	1.2608	-0.6540	0.6058
	3% owf.	1.6062	-0.5602	0.8365
	5% owf.	1.6675	-0.1503	0.9962
จีเหล็ก	0% owf.	0.4557	-0.2740	-0.2590
	1% owf.	0.8285	0.0813	0.6622
	3% owf.	1.2860	0.5175	1.0710
	5% owf.	1.6003	1.1387	1.3146

2.2 ความคงทนต่อการซักของสีธรรมชาติที่ผ่านการย้อมร่วมกับกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างกัน

การย้อมผ้าไหมตัวอย่างด้วยเข้ พบว่าระดับความคงทนต่อการซักจะเพิ่มขึ้น จาก 1.5 เป็น 1.67, 1.83 และ 2 จากระดับ Glay Scale ตามลำดับ เมื่อย้อมด้วยหมาก พบว่าระดับความคงทนต่อการซัก จะเพิ่มขึ้นเมื่อย้อมร่วมกับกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 3 และ 5% o.w.f. จะมีค่า Glay Scale เท่ากัน คือ เพิ่มขึ้นจากระดับ 1.8 เป็น 2.0 ส่วนเมื่อย้อมร่วมกับจีเหล็กเมื่อย้อมร่วมกับกรดซิตริกที่

ความเข้มข้น 3 และ 5% พบว่า ระดับความคงทนต่อการซัก จะเพิ่มขึ้นจากระดับ Glay Scale 3.0 เป็น 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ และ เมื่อซักด้วยครั้ง ความคงทนต่อการซักจะเพิ่มขึ้น เมื่อซักที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟริกเป็น 5% ของน้ำหนักผ้า โดยเพิ่มขึ้นจากระดับ Glay Scale จากระดับ 1 ไปเป็นระดับ 3 ความเข้มข้นของกรดซัลฟริก 1 และ 3% o.w.f. ไม่ได้ช่วยเพิ่มความคงทนต่อการซัก ผลการทดลองโดยรวมสรุปว่า เมื่อเติมกรดซัลฟริกซึ่งเป็นสารสร้างพันธะข้ามทำให้ผ้าไหมมีความคงทนต่อการซักเพิ่มขึ้น แต่ยังพบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง ดังแสดงในภาพที่ 12

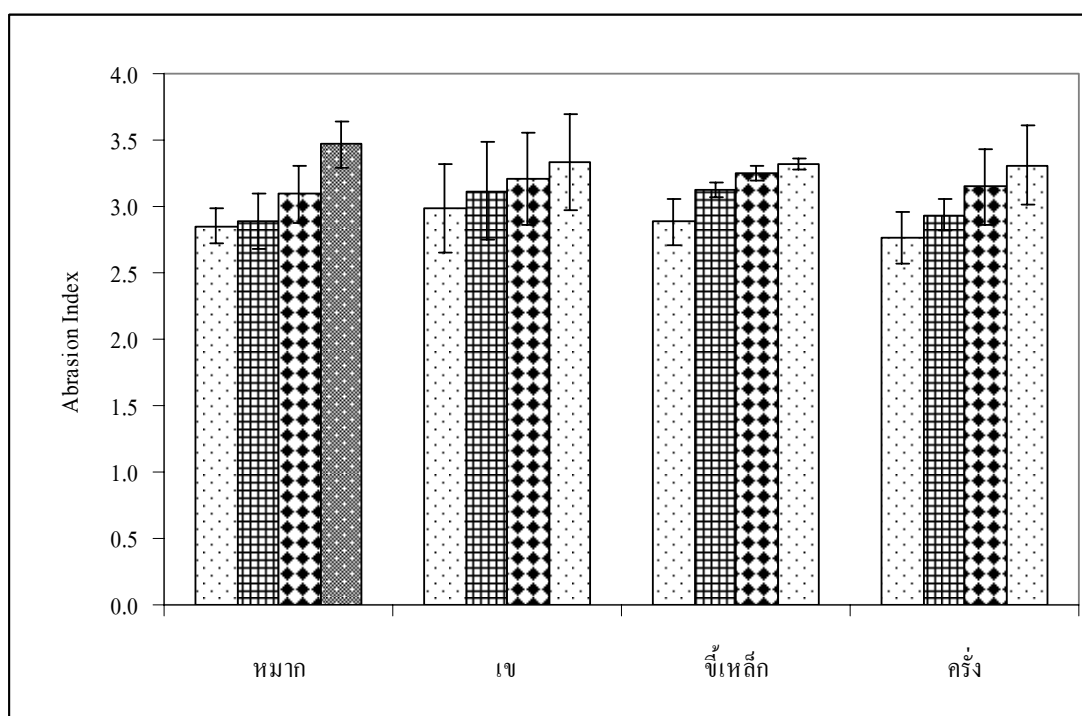


ภาพที่ 12 อิทธิพลกรดซัลฟริกต่อความคงทนต่อการซักของผ้าไหม

0% o.w.f.
 1% o.w.f.
 3% o.w.f.
 5% o.w.f.

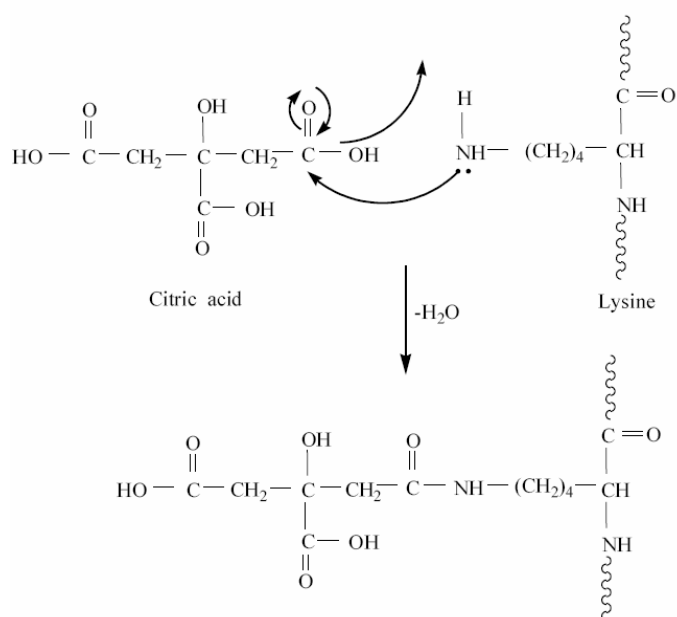
2.3 ความคงทนต่อการขัดถูของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมร่วมกับกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างกัน

ภาพที่ 13 เป็นการทดสอบความคงทนต่อการขัดถูของผ้าไหมพบว่า เมื่อย้อมร่วมกับหมาก ความคงทนต่อการขัดถู Abrasion Index เพิ่มขึ้นจาก 2.854 เป็น 2.888, 3.093 และ 3.471 ตามลำดับ เมื่อย้อมร่วมกับเข พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.988 เป็น 3.117, 3.210 และ 3.333 ตามลำดับ เมื่อย้อมร่วมกับขี้เหล็ก พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.884 เป็น 3.122, 3.250 และ 3.325 ตามลำดับ และเมื่อย้อมร่วมกับครั่ง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.758 เป็น 2.933, 3.150 และ 3.308 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองโดยรวมสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก ความคงทนต่อการขัดถูก็เพิ่มขึ้นตามด้วย ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การที่กรดซิตริกประกอบด้วยหมู่ $-COOH$ จำนวน 3 หมู่ จึงน่าจะเกิดจากการชนระหว่างโมเลกุลของกรดซิตริก และ สายข้างของกรดอะมิโน ในเส้นใยไหมแล้วเกิดพันธะใหม่/พันธะข้าม ทดแทนพันธะที่ถูกทำลายไป จึงส่งผลให้ความคงทนต่อการขัดถูสูงกว่าการไม่ใช้กรดซิตริก กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่กล่าวเกิดขึ้น (Leksophee *et al.*, 2004) ดังแสดงในภาพที่ 14 และ 15



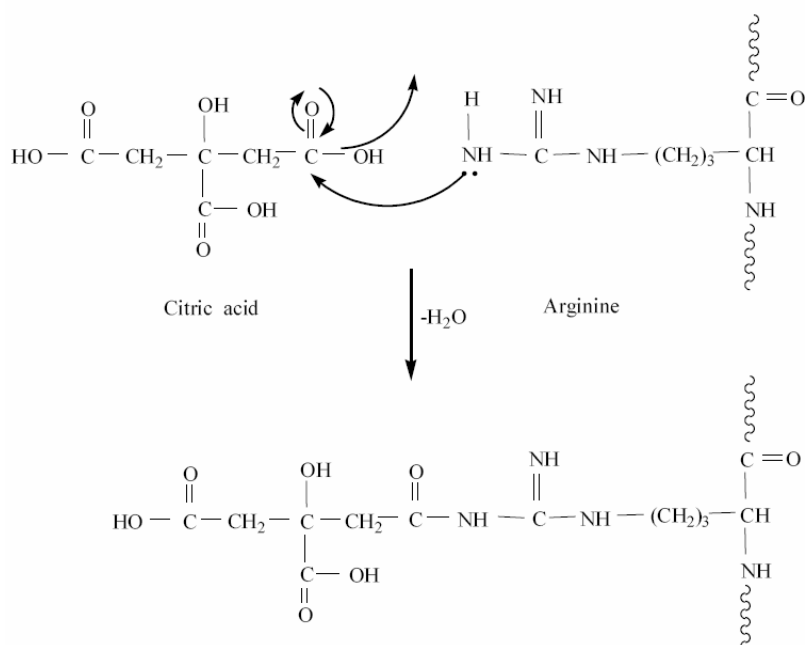
ภาพที่ 13 อิทธิพลกรดซิตริกต่อความคงทนต่อการขัดถูของผ้าไหม

 0% o.w.f.
  1% o.w.f.
  3% o.w.f.
  5% o.w.f.



ภาพที่ 14 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่คาดว่าเกิดขึ้นระหว่างกรดซิตริก และไลซีน

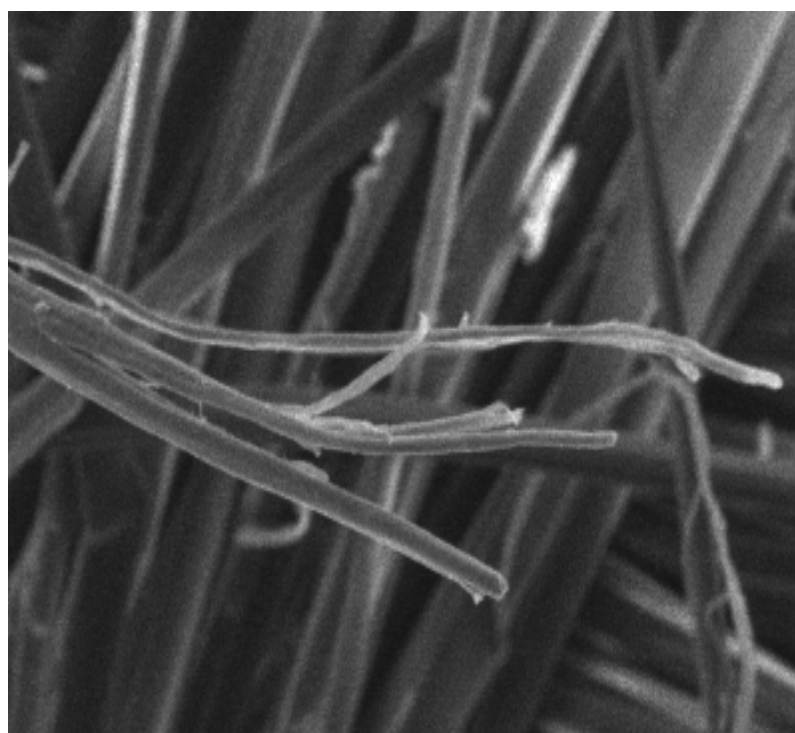
ที่มา: Leksophee (2004)



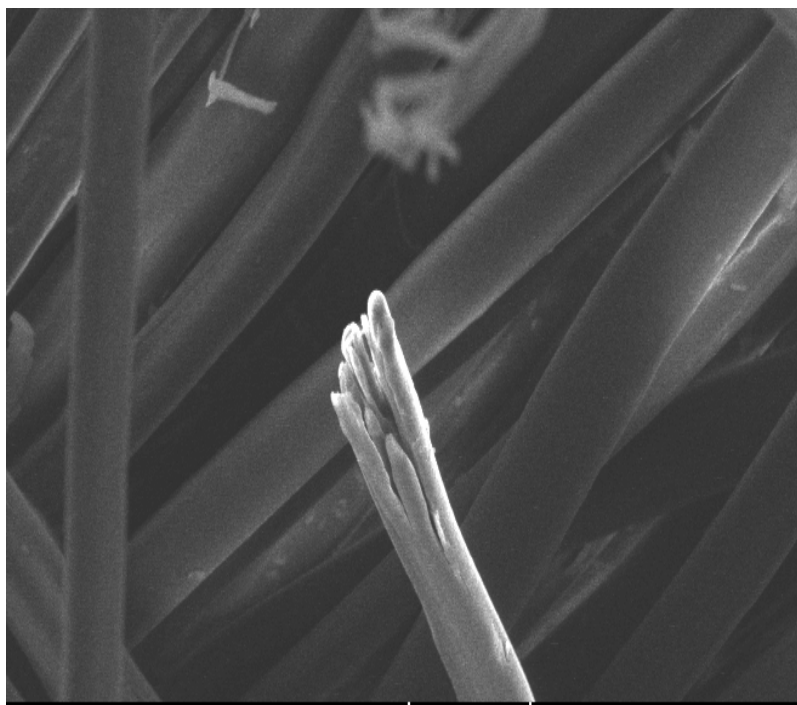
ภาพที่ 15 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่คาดว่าเกิดขึ้นระหว่างกรดซิตริก และอาร์จินีน

ที่มา: Leksophee (2004)

2.4 การศึกษาโครงสร้างเส้นใยไหมโดยใช้เครื่อง SEM เมื่อนำชิ้นผ้าที่ผ่านการทดสอบความคงทนต่อการขัดถู มาทดสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่าลักษณะการขาดของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใส่กรดซิตริก ดังแสดงในภาพที่ 16 มีการเกิดเส้นใยขนาดเล็ก (Fibrillation) มาก สำหรับลักษณะการขาดของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมร่วมกับกรดซิตริก 5% o.w.f. พบว่าเกิดเส้นใยเล็กลดลง (ภาพที่ 15) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสร้างพันธะข้ามของกรดซิตริกจึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงระหว่างสายโซ่พอลิเปปไทด์ ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 16 ลักษณะการขาดของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใส่กรดซิตริกจากการทดสอบความคงทนต่อการขัดถู กำลังขยาย 500 เท่า

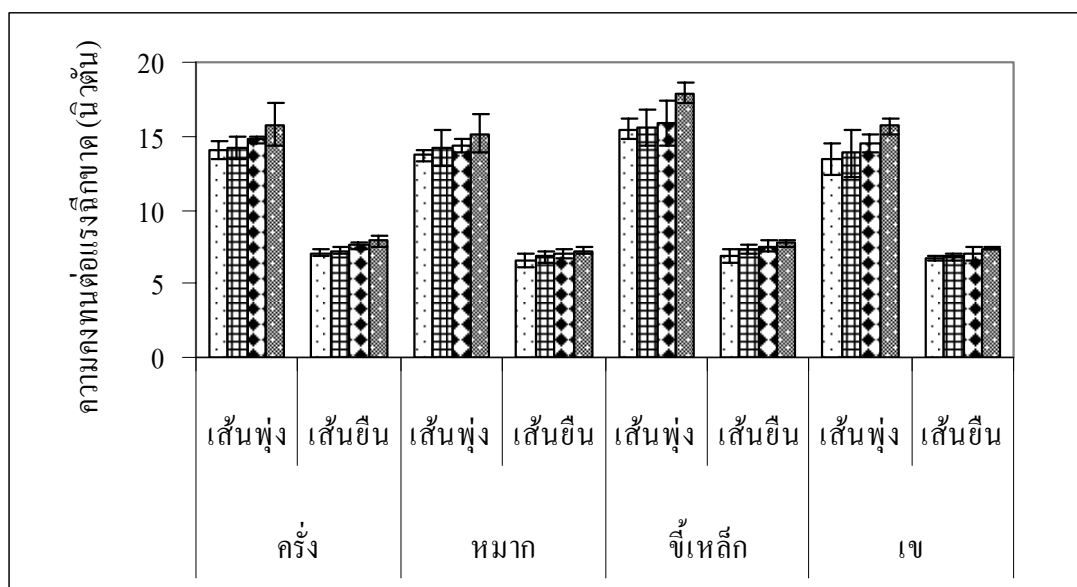


ภาพที่ 17 ลักษณะการขาดของเส้นใยไหมที่ผ่านการเชื่อมร่วมกับกรดซิตริก 5% o.w.f.จากการทดสอบความคงทนต่อการขัดถู กำลังขยาย 500 เท่า

2.5 ความคงทนต่อการฉีกขาดของผ้าไหมที่ผ่านการเชื่อมร่วมกับกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างกัน

ภาพที่ 18 พบว่าเมื่อเชื่อมร่วมกับครั้ง ความคงทนต่อแรงฉีกขาด สำหรับเส้นพุ่งเพิ่มขึ้นจาก 14.0 เป็น 14.2, 14.7 และ 15.8 ตามลำดับ เส้นยืน เพิ่มขึ้นจาก 7.1 เป็น 7.2, 7.6 และ 7.9 ตามลำดับ เมื่อเชื่อมร่วมกับเซ พบว่าความคงทนต่อแรงฉีกขาด เส้นพุ่งเพิ่มขึ้นจาก 13.5 เป็น 13.9, 14.5 และ 15.7 ตามลำดับ เส้นยืน เพิ่มขึ้นจาก 6.7 เป็น 6.8, 7.0 และ 7.3 ตามลำดับ เมื่อเชื่อมร่วมกับจีเหล็ก พบว่าความคงทนต่อแรงฉีกขาด เส้นพุ่งเพิ่มขึ้นจาก 15.5 เป็น 15.6, 15.9 และ 17.9 ตามลำดับ เส้นยืนเพิ่มขึ้นจาก 6.8 เป็น 7.3, 7.6 และ 7.8 ตามลำดับ และเมื่อเชื่อมร่วมกับ หมากพบว่าความคงทนต่อแรงฉีกขาด เส้นพุ่งเพิ่มขึ้นจาก 13.7 เป็น 14.2, 14.4 และ 15.2 ตามลำดับ เส้นยืน เพิ่มขึ้นจาก 6.6 เป็น 6.8, 7.0 และ 7.2 ตามลำดับ ผลการทดลองโดยรวมสรุปว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริก ความคงทนต่อแรงฉีกขาดของผ้าไหมก็เพิ่มขึ้นตามด้วย ซึ่งน่าจะเกิดจากการชน

ระหว่างโมเลกุลของกรดซิตริก และ สายข้างของกรดอะมิโน ในเส้นใยไหมแล้วเกิด พันธะใหม่/พันธะข้าม ทดแทนพันธะที่ถูกทำลายไป จึงส่งผลให้ความคงทนต่อแรงฉีกขาดสูงขึ้น

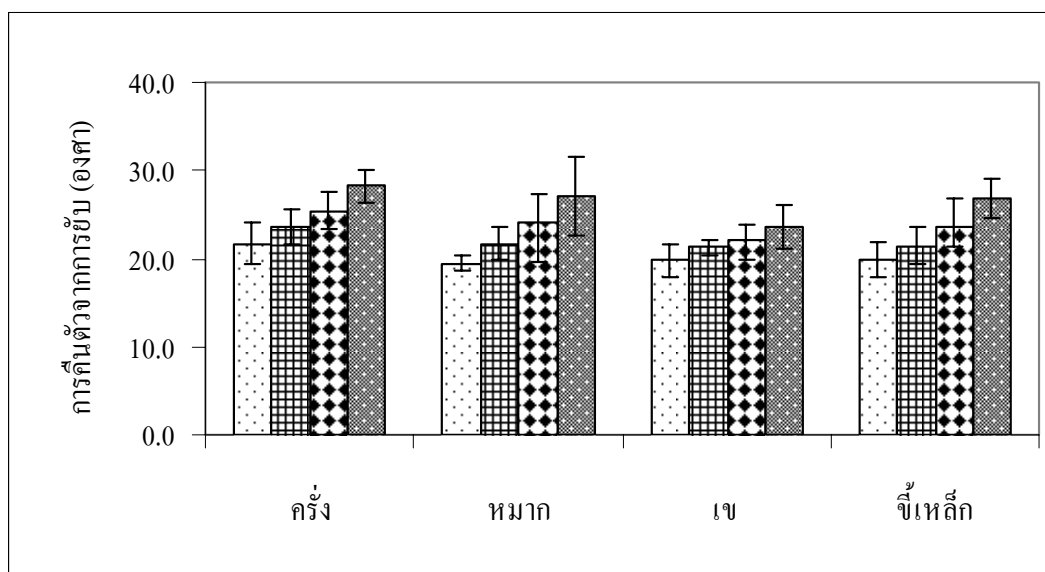


ภาพที่ 18 อิทธิพลกรดซิตริกต่อความคงทนต่อแรงฉีกขาดของผ้าไหม

□ 0% o.w.f. ▤ 1% o.w.f. ▦ 3% o.w.f. ■ 5% o.w.f.

2.6 การคืนตัวจากการยับของผ้าไหมที่ผ่านการเชื่อมร่วมกับกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นต่างกัน

ในภาพที่ 19 พบว่าเมื่อเชื่อมร่วมกับครั้ง ค่าการคืนตัวจากการยับของผ้าไหม เพิ่มขึ้นจาก 21.7 องศา เป็น 23.6, 25.3 และ 28.2 ตามลำดับ เมื่อเชื่อมร่วมกับเช พบว่าค่าการคืนตัวจากการยับ เพิ่มขึ้นจาก 19.8 องศา เป็น 21.28, 22.2 และ 23.61 องศา ตามลำดับ เมื่อเชื่อมร่วมกับหมักพบว่า ค่าการคืนตัวจากการยับ เพิ่มขึ้นจาก 19.5 องศา เป็น 21.7, 24.1 และ 27.1 องศา ตามลำดับ และเมื่อเชื่อมร่วมกับจีเหล็กพบว่า ค่าการคืนตัวจากการยับ เพิ่มขึ้นจาก 19.8 องศา เป็น 21.5, 23.5 และ 26.8 องศา ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองโดยรวมสรุปว่า ผ้าที่ผ่านการเชื่อมร่วมกับกรดซิตริก ทำให้คุณสมบัติการคืนตัวจากการยับดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดซิตริก ทำหน้าที่เป็นสารยัดจับ และมีการสร้างพันธะกับ พันธะข้างของกรดอะมิโน ซึ่งส่งผลให้มีการคืนตัวจากการยับดีขึ้น



ภาพที่ 19 อิทธิพลของกรดซัลฟริกต่อการคืนตัวจากการยับของผ้าไหม

0% o.w.f. 1% o.w.f. 3% o.w.f. 5% o.w.f.

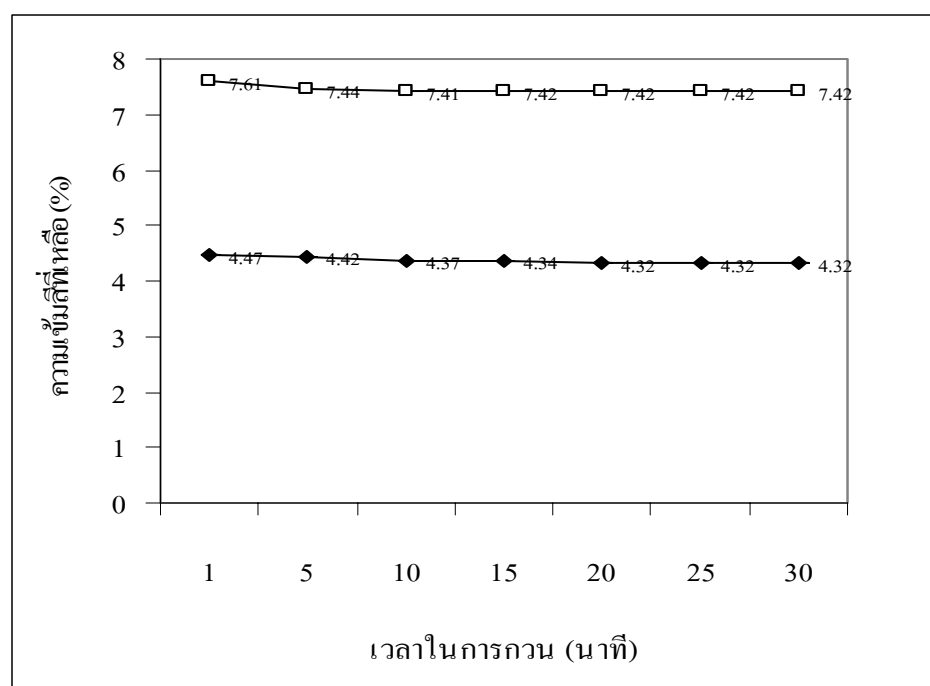
3. ลักษณะจำเพาะของน้ำเสียจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ

น้ำเสียที่นำมาบำบัดเป็นน้ำเสียที่ได้จากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติที่ประกอบไปด้วย เข, ครึ่ง, จีเหล็ก, หนัก, กรดซัลฟริก และ อะซิเตดบัฟเฟอร์ จากการสังเกตด้วยตา น้ำเสียมีลักษณะค่อนข้างทึบแสง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่ามีคุณลักษณะเริ่มต้น ดังนี้ ความเข้มของสี λ_{MAX} (วัดที่ความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ที่ 370 nm.) แสดงในภาพผนวกที่ 7 มีค่าการดูดกลืนแสง 4.12, ค่า COD 4,750 mg/l และ pH 5.64

4. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มและเฟอร์รัสซัลเฟต

4.1 ศึกษาระยะเวลาในการสัมผัส หรือระยะเวลาในการกวน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต

จากการทดลองกำหนดระยะเวลาสัมผัสหรือระยะเวลาในการกวนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดของสีโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต โดยใช้สารสร้างตะกอน 5 กรัมต่อน้ำสี 100 มิลลิลิตร จากการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 370 nm. ที่ระยะเวลาสัมผัสที่ เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที พบว่า การตกตะกอนสีด้วยสารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นโดยเริ่มตั้งแต่นาทีแรก และจะเริ่มคงที่ หลังจาก 10 นาทีเป็นต้นไป จึงควรที่จะใช้เวลากวนอย่างต่ำ 10-20 นาที ตามลำดับเพื่อปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ซึ่งสังเกตได้จากแนวโน้มเส้นของเส้นกราฟ ในภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้ไปแล้ว ก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้อยมาก ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารส้มก็มีคุณสมบัติในการกำจัดสีจากการข้อมใหม่ด้วยสีธรรมชาติ ได้ดีกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต สังเกตได้จากค่าความเข้มของสีที่ลดลง

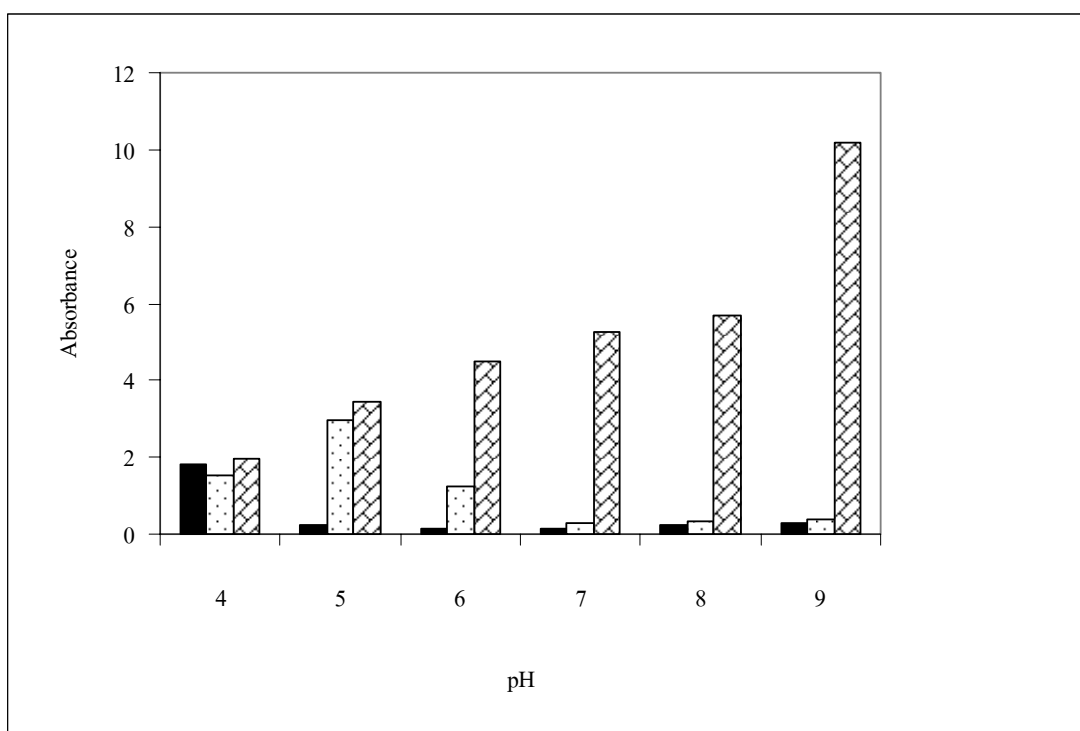


ภาพที่ 20 ระยะเวลาในการสัมผัส หรือระยะเวลาในการกวน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการข้อมใหม่ด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต

—◆— สารส้ม —□— เฟอร์รัสซัลเฟต

4.2 ศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต

จากการทดลอง โดยปรับ pH ของน้ำย้อมสี, น้ำสีย้อมที่ตกตะกอนร่วมกับสารส้ม และ น้ำสีย้อมที่ตกตะกอนร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต เป็น pH 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 พบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้น น้ำสีย้อมจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า pH ที่เหมาะสมของการสร้างตะกอนของสารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต คือ pH 6 และ 7 ตามลำดับ และสามารถกำจัดสีได้ 95.68 และ 92.57 % ตามลำดับ และพบว่า สารส้มมีความสามารถกำจัดสีจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ ได้ดีกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต สังเกตได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 21



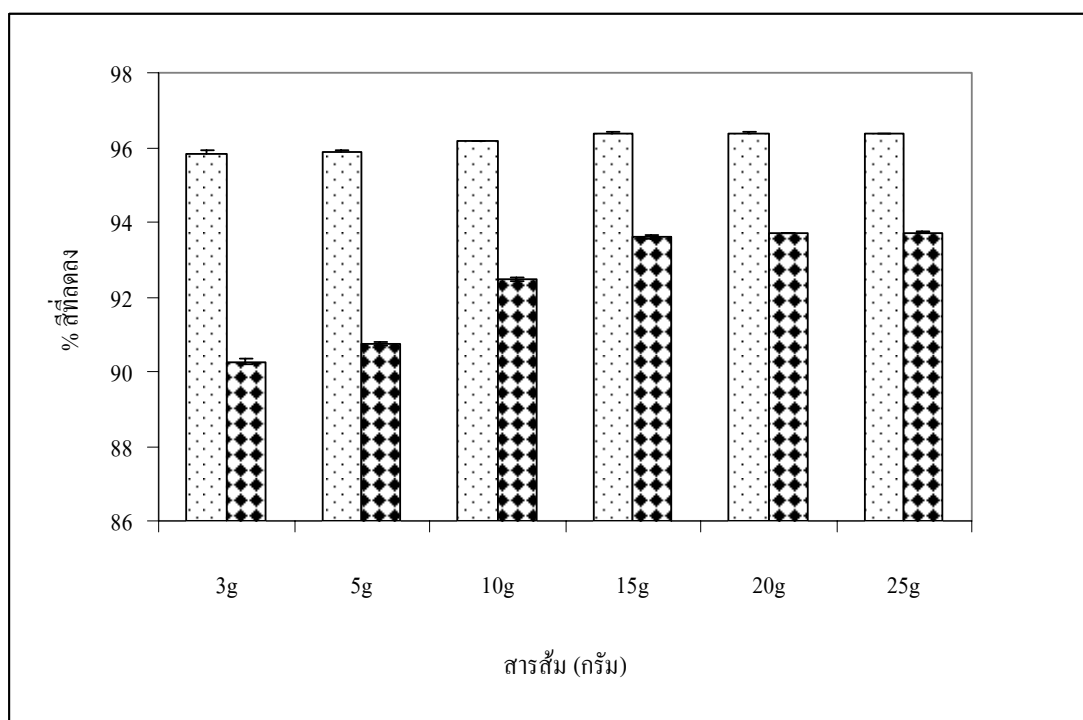
ภาพที่ 21 pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติโดยการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต

■ สารส้ม □ เฟอร์รัสซัลเฟต ▨ น้ำสีย้อม

5. การศึกษาหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียการย้อมไหมด้วย สีธรรมชาติ

จากการทดลองใน หัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 เป็นการศึกษาผลของการกำหนดระยะเวลาสัมผัส หรือระยะเวลาการกวน และค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ พบว่า สารส้อมมีคุณสมบัติในการกำจัดสีจากการย้อมด้วยสีธรรมชาติได้ดีกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต โดย สังเกตจากค่าสี ที่ลดลงมากกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต ซึ่งกล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 อีกทั้งสารส้อม ยังมีราคาถูกกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สารส้อมมากำจัดสีโดยการตกตะกอน โดยกำหนดความเร็วรอบที่ 200 รอบต่อนาที pH 6.0 ระยะเวลาสัมผัสหรือระยะเวลาในการกวน 20 นาที

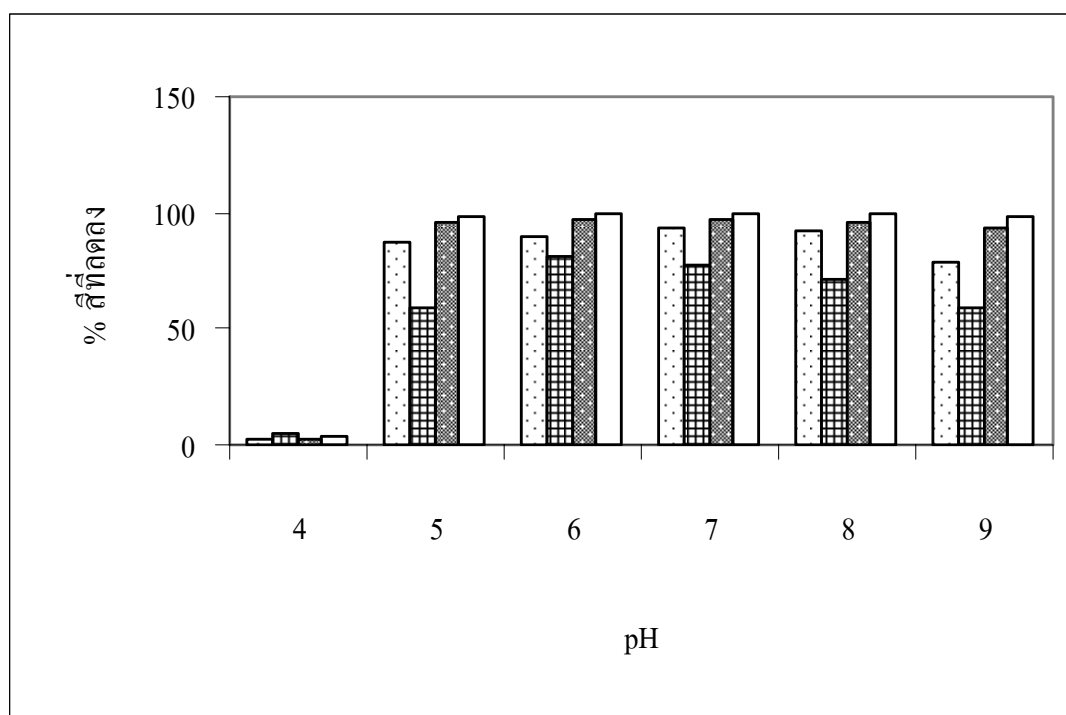
พบว่าปริมาณ สารส้อมที่ใช้ไป 3, 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม ต่อปริมาณน้ำสี 100 มิลลิลิตร สามารถกำจัดสีได้โดยดูจากค่าการดูดกลืนแสง ที่ 370 nm. ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้อม ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และถึงจุด เกิดที่ปฏิกิริยาสมบูรณ์ ความเข้มข้นของสีก็จะไม่ลดลงอีก ซึ่งจะเห็นจากแนวโน้มของเส้นกราฟ ดัง แสดงในภาพที่ 22 ดังนั้นปริมาณของสารส้อมที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนสีในการทดลองนี้ คือ 15-20 กรัม ต่อ น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถลดค่า COD ที่มีค่าเริ่มต้น 4,750 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลง เหลือเท่ากับ 299 และ 304 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมพบว่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดค่า COD ไว้ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อ ลิตร และ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูป COD ต่อ ปริมาณสารส้อม ที่เติมลง ของการทดลองในครั้งนี้ คือ ประมาณ 0.316-0.421 กรัม ต่อ น้ำเสียที่มีค่า COD 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการสิ้นเปลืองสารส้อมที่ใช้ในการตกตะกอนสี จากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ



ภาพที่ 22 ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ

 สียึดติด
  COD

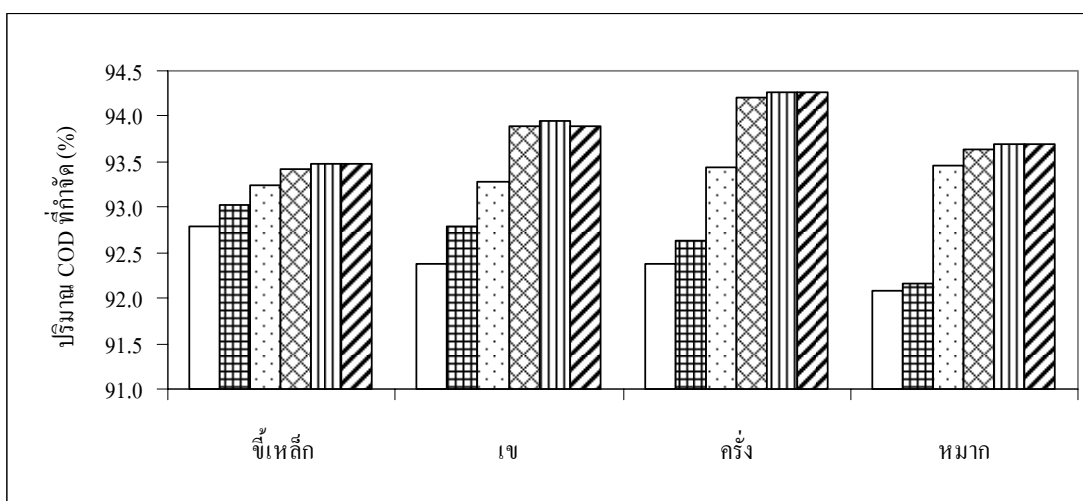
เมื่อทำการแยกศึกษาเฉพาะสี โดยใช้สารส้ม 5 กรัม ต่อ น้ำสี 100 มิลลิลิตร โดยวัดค่าการดูดกลืนที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด สำหรับสีเหลือง, เข และ ครั่ง วัดที่ความยาวคลื่น 370 nm. ส่วนหมากวัดที่ความยาวคลื่น 450 nm. พบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนของ เข, ครั่ง และ หมาก คือ 6.0 ส่วนสีเหลือง pH ที่เหมาะสม คือ 7.0 ซึ่งพบว่าสารส้มมีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากสีเหลือง, เข, ครั่ง และ หมาก ได้ 93.68 %, 81%, 97.13% และ 99.63% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 23 และ สารส้มสามารถตกตะกอนสีจาก หมากได้ดีที่สุด รองลงมาคือ สีเหลือง ครั่ง และ เข ตามลำดับ



ภาพที่ 23 pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารส้ม ของ ขี้เหล็ก เข ครั่ง และหมาก

ขี้เหล็ก
 เข
 ครั่ง
 หมาก

เมื่อทราบสถานะ pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน จึงได้นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับ ปริมาณสารส้มที่ใช้ในการตกตะกอนของสีต่างๆ โดยที่ กำหนด pH ในการตกตะกอนของ เข, ครั่ง และ หมาก ที่ 6.0 ส่วนขี้เหล็กกำหนด pH ที่ 7.0 โดยใช้สารส้ม 3, 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 24 พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม ในการกำจัดค่า COD ของ ขี้เหล็ก, เข, ครั่ง และหมาก ในการทดลองครั้งนี้ คือ ประมาณ 15-20 กรัม ต่อ น้ำย้อม 100 มิลลิลิตร เมื่อนำน้ำย้อมที่มีค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 4,723, 4,390, 4,257 และ 4,507 mg/l ตามลำดับ สามารถลดค่า COD ได้ 93.41-93.47%, 93.89-93.95%, 94.20-94.26% และ 93.63-93.69 ตามลำดับ ซึ่งถ้าคิดเป็นอัตราส่วนระหว่าง ค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูป COD ต่อ ปริมาณสารส้มที่เติมลงของการทดลองในครั้งนี้ คือ ประมาณ 0.318-0.423 กรัม, 0.342-0.456 กรัม, 0.352-0.470 กรัม และ 0.333-0.444 กรัม ต่อ น้ำเสียที่มีค่า COD 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งถ้าใส่ปริมาณสารส้มมากกว่านี้ จะเป็นการสิ้นเปลืองปริมาณสารส้ม



ภาพที่ 24 ปริมาณ COD ในน้ำสีข้อมต่างๆ ที่กำจัดได้โดยสารส้มปริมาณต่างๆ

3 g
 5 g
 10 g
 15 g
 20 g
 25 g

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การฟอกขาวผ้าไหมทั้งแบบออกซิเดทีฟ ให้ค่าความขาวเพิ่มขึ้น แต่จะมีความคงทนต่อการซัก และความคงทนต่อการสีลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว เนื่องจาก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไปทำลายสารที่มีสีในผ้าไหมทำให้ผ้าไหมขาวขึ้น แต่ในสภาวะการฟอกขาวนี้ไปทำลายพันธะพอลิเปปไทด์ในเส้นไหม จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงลดลง
2. การย้อมผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติ จากครั้ง เข หมากร และจีเหล็ก ร่วมกับสารสร้างพันธะข้าม คือ กรดซิตริก ที่ pH 5.5 อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า มีค่าความคงทนต่อการซัก ความคงทนต่อการสี ความคงทนต่อการซัก และการคืนตัวจากการยับสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการเติมกรดซิตริก เนื่องจากกรดซิตริกไปสร้างพันธะข้าม/พันธะใหม่กับ สายข้างของกรดอะมิโน ในเส้นไหม ทดแทนพันธะที่ถูกทำลายไป จึงทำให้ผ้าไหมมีคุณสมบัติดีขึ้น
3. การกำจัดสีโดยตกตะกอนสีด้วยสารส้มและเฟอร์รัสซัลเฟต ในการทดลองครั้งนี้พบว่า ระยะเวลาในการสัมผัส หรือ เวลาถอนขึ้นต่ำ คือ 10-20 นาที เป็นอย่างน้อย และ pH ที่เหมาะสม สำหรับการตกตะกอนกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ คือ 6 และ 7 ตามลำดับ
4. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ (หมากร ครั้ง เข และจีเหล็ก) ในการทดลองครั้งนี้ พบว่าสารส้มมีประสิทธิภาพดีกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสม คือ 15-20 กรัม ต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถลดค่า COD ที่มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4,750 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 299 และ 304 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเชื่อมโยงจากธรรมชาติชนิดอื่นๆร่วมกับสารสร้างพันธะข้าม (กรดซิตริก) เพิ่มเติม
2. ควรมีการศึกษาสารสร้างพันธะตัวอื่นๆ เพิ่มเติมด้วย
3. ในการบำบัดน้ำเสียจากการเชื่อมไหมด้วยสีธรรมชาติ ควรมีการศึกษาการบำบัดวิธีอื่นๆร่วมกับการตกตะกอนทางเคมีด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. ม.ป.ป. เทคนิคการพิมพ์ผ้า. เอกสารประกอบการฝึกอบรม.
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

โกมล ศิระบวร, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ และ สุวิทย์ ชุมนุมศิริวิทย์. 2527. การประปาเบื้องต้น.
ภาควิชาสุขาภิบาลวิศวกรรม มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

ขวัญฤทัย คำขาว และ เตือนใจ สามห้วย. 2530. สัทธิรรมชาติจะก้าวไกลถ้าสรไร้เทคโนโลยี.
วารสารคหเศรษฐศาสตร์. 30 (2): 106-115.

เจริญศรี เบญจมาลา. 2541. ผลของสารช่วยติดสีที่มีต่อการย้อมไหมด้วยเปลือกมะพร้าวอ่อน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอภาส. 2534. สัทธิรรมชาติกับการย้อม. วารสารมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒมหาสารคาม 10 (1): 1-8.

เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอภาส. 2535. เคมีของสัทธิรรมชาติและการย้อม. วารสารวิทยาศาสตร์.
50 (3): 155-161.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ. 186 น.

นวลแข ปาลวนิช. 2536. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. ฟีนีฟับบริชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

นันทนัช พิเชษฐวิทย์. 2533. ผลของสารช่วยติดสีที่มีต่อการย้อมไหมด้วยใบตะขบฝรั่ง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปาเจรา พัฒนถาบุตร, นิสารัตน์ ทวีวรรณ และ โวล์คเกอร์ รอสบาธ. 2547. การย้อมผ้าไหมด้วย
สีธรรมชาติโดยใช้สารมอร์แดนท์ที่มีโครงสร้างสองชั้นของสารอนินทรีย์ที่เชื่อมโยงเพื่อลด
ปริมาณโลหะที่ใช้ในการย้อม. **Color way**. 10(53): 61-64.

พะยอม ดันติวัฒน์. 2524. สีย้อมธรรมชาติ. **วิทยาศาสตร์**. 35 (11): 795-802.

พูลทรัพย์ สวนเมือง ตูลาพันธุ์, วารุณี พูลศิลป์ และ สุชาดา บุญชู. 2542. การย้อมสีไหมด้วย
วัสดุธรรมชาติในภาคอีสานของไทย. **สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม**, กรุงเทพฯ.

ไพศาล คงกาญจนา. 2539. เทคนิคการย้อมสีเส้นใยด้วยสีจากครั่ง. **วิศวกรรมสาร ม.ข.**
23 (1): 47-62.

มนตรี จุฬาวัดทนทล. 2542. **ชีวเคมี**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตันทุลเวศม์. 2538. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

โมโตอิ มินะกาวะ, เออิชิชิ คาวาอิ และ เข็มชัย เหมะจันทร์. 2530. **วิทยาการไหมเล่ม 1**.
คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

วารุณี สุวรรณานนท์. 2526. **การใช้สารช่วยติดสีในการย้อมครั้ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย เอกธรรมฤทธิ์. 2514. **การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยวิธีทางเคมี**. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
และแหล่งชุมชน**. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สิริรัตน์ จารุจินดา. 2532. ความคงทนของสีต่อการซัก. **ข่าวเคมีสิ่งทอ**. 5(3): 1-15.

อัจฉรา ไสละสูต. 2526. **ความรู้เรื่องผ้า**. เทคนิค 19, กรุงเทพฯ. 257 น.

Altinbas, U., S. Dokmeci and A. Baristiran. 1995. Treability study of wastewater from textile industry. **Envi. Techno.** 16: 389-394.

APHA, AWWA, and WEF. 1992. **Standard Method for Examination of Water and Wastewater**, 18th edition, American Public Health Association, Washington D.C.

Britton, G. 1983. **The Biochemistry of Natural Pigments**. Cambridge University, Cambridge.

Das, S. 1992. Application of Natural Dyes on Silk. **Colourage**. 19(9): 52-54.

Ghosh, M.M., F.E. Woodard, O.J.Sproul, P.B.Knowlton and P.D. Gvertin. 1978 Treatability studies and design considerations for textile wastewater. **Water Waste Eng.** 15(4): 35-41.

Held, S.E. 1973. **Weaving**. Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York. 372 p.

Karmakar, S.R., 1999, **Chemical Technology in The Pre-treatment Process of Textiles**, Elsevier Science B.V., Amsterdam.

Kamali, A. S. and M. A. Masoodi. 2000. **Principles of Temperate Sericulture**. Kaiyani Publishers, New Delhi.

Leksophee, T., S. Supansomboon and N. Sombatsompop. 2004. Effects of crosslinking agents, dyeing temperature and pH on mechanical performance and whiteness of silk fabric. **J. Appl. Polymer Science**. 91(2): 1000-1007.

- Nuphan, P. 1992. **Treatment of Jean bleaching factory wastewater for removal of colour, COD and manganese by Ferrous sulfate, Ferric sulfate in conjunction with polymer coagulation aids.** M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Tsatsaroni, E.G. and I.C. Eleftheriadis. 1994. The colour and fastness of natural saffron. **JSDC.** 110: 313-315.
- Vigo, T.L., 1994. **Textile Processing and Properties; Preparation, Dyeing, Finishing and Performance,** Elsevier Science B.V., Amsterdam. 479 p.
- Yu Gao, B., Q. Yan Tue, Y. Wang and W. Zhi Zhou. 2007. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. **J. Envi. Manage.** 82: 167-172.