



รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาวิธีบำบัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายแบบ zero-waste โดย
วิธีตกตะกอนด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิต

The development of zero-waste treatment for wastewater from
cotton yarn dyeing by precipitation with chitosan composite
nanoparticles

โดย ผศ.ดร.กฤษณา ศิริเลิศมูล และคณะ

กุมภาพันธ์ 2562

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาวิธีบำบัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายแบบ zero-waste โดย
วิธีตกตะกอนด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิต

The development of zero-waste treatment for wastewater from
cotton yarn dyeing by precipitation with chitosan composite
nanoparticles

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร.กฤษณา ศิริเลิศมุกุล	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ดร.นิภาพรรณ โสภิตยานนท์	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ดร.นาฏนัฏดา รอดทองคำ	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นางสาวปราณี รัตนวลีโรจน์	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

งานวิจัยการพัฒนาวิธีบำบัดน้ำทิ้งสีย้อมในกระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยการใช้สีธรรมชาติ เป็น การนำงานวิจัยการพัฒนาสารตกตะกอนที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำทิ้ง สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้านสิ่งทอ ในอุตสาหกรรมตกตะกอนนี้ได้เลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติคือไคโตซานและ เติร์ยมในรูปแบบคอมพอลิธกับอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีงานวิจัยที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการจับ และตกตะกอนสีย้อมทั้งสีย้อมเคมีและสีย้อมจากธรรมชาติได้เป็นอย่างดี จึงมีความเหมาะสมยิ่งในการนำมา พัฒนาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสิ่งทอ ที่มีการใช้น้ำและสีย้อมในกระบวนการผลิตที่ ไม่มาก มีปริมาณน้ำทิ้งเกิดขึ้นไม่เกิด 30 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน แต่พบว่ามีปริมาณเนื้อสีส่วนเกินหลังการย้อม เส้นด้ายมากกว่าร้อยละ 50 ที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้ง ในงานวิจัยนี้ ประสบผลสำเร็จในการตกตะกอนสีย้อม จากน้ำทิ้งตัวอย่างสีย้อมแต่ละชนิดที่ศึกษา (สีแดงจากครั่ง ผาง และใบสัก และสีเขียวจากเปลือกเพกา) ด้วย สูตรสารตกตะกอนไคโตซานคอมพอลิธได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่ปริมาณการใช้สารไคโตซานคอมพอลิธ 150 ppm ตะกอนสีย้อมที่สามารถนำกลับมาใช้ในรูปสีที่ละลายน้ำได้ใหม่ มี 2 สี คือสีแดงจากครั่งและผาง พบว่า สามารถละลายน้ำได้สีแดงคงเดิม มีโอกาสในการนำกลับไปใช้ได้ใหม่หรือแปรรูปเป็นผงสี และในส่วนของน้ำ หลังการตกตะกอนแยกสีออกมา มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

และในการนำสารตกตะกอนไคโตซานคอมพอลิธไปประยุกต์ใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้งจากโรงบำบัด น้ำทิ้งรวม ซึ่งน้ำทิ้งมาจากส่วนงานโรงย้อมสีเส้นด้ายและโรงกระดาศา ในโครงการพัฒนาอยตุงฯ (พื้นที่ทรง งานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ) อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย สามารถตกตะกอนน้ำทิ้งจากบ่อบำบัด ของทางโครงการพัฒนาอยตุงฯ ได้ โดยน้ำทิ้งหลังการตกตะกอนมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานโรงงาน อุตสาหกรรมทั่วไป และผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานสีของน้ำทิ้ง(ADMI) โรงงานอุตสาหกรรม เช่นกัน

นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มตัวอย่างวิสาหกิจชุมชนผ้าทอ ทั้ง 10 กลุ่ม จากพื้นที่ภาคเหนือซึ่งมีการใช้เส้นด้ายจากฝ้ายและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีการใช้เส้นด้าย จากไหม ผลการสำรวจพบที่มีการใช้สีย้อมธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการย้อมเส้นด้ายมากกว่าร้อยละ 85 และมีการ ใช้สีเคมี ร้อยละ 15 ซึ่งในกลุ่มที่มีการย้อมสีเคมี จะมีวิธีในการบำบัดน้ำทิ้งเบื้องต้นคือ การใช้ระบบบำบัด แบบง่ายซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเภทผ้าและสิ่งทอ นอกจากนี้ในการเผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยีด้านความปลอดภัย ในการใช้สีย้อม คณะผู้วิจัยได้จัดทำเอกสารคู่มือ “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” และถ่ายทอด ความรู้ดังกล่าวในการอบรมให้แก่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าในตำบลพระบาทนาสิงห์ จังหวัดหนองคาย มี จำนวนผู้เข้ารับการอบรม 18 คน และผลการอบรมได้รับความพึงพอใจในระดับดีถึงดีมาก

บทคัดย่อภาษาไทย

จากผลการวิจัยนำโคโตซานนาโนคอมพอสิตมาใช้ในการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีเส้นด้าย ฝ้ายแบบ zero-waste โดยวิธีตกตะกอน ได้ผลการวิจัยดังนี้

ในการตกตะกอนสีย้อมตัวอย่างด้วยสูตรผสมโคโตซานนาโนคอมพอสิตและปรับสูตรผสมสารคอมพอสิตระหว่างโคโตซานต่อนานาโนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ สูตร1 (50:50), สูตร2 (50:100) และ สูตร3 (100:50) ppm และทดลองตกตะกอนสีจากน้ำทิ้งสีย้อมตัวอย่างที่เตรียมขึ้น ในการทดลองระดับปฏิบัติการ พบว่า สารคอมพอสิตในสูตรที่ 3 สามารถตกตะกอนหรือแยกสีธรรมชาติในน้ำสีย้อมได้มากกว่าร้อยละ 90 คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม และกลุ่มสีธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย สีแดงจากครั่ง แก่นฝาง และใบสัก และสีเขียวอ่อนจากเปลือกเพกา และพบว่าตะกอนสีจากครั่ง และ ฝาง สามารถนำกลับมาละลายน้ำได้ใหม่ มีโอกาสในการนำกลับมาใช้เป็นสีสำหรับงานตกแต่ง สีบนผ้าหรือวัสดุอื่นๆ ได้

ในการปรับสูตรสารตกตะกอนโคโตซานนาโนคอมพอสิตเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้งตัวอย่างจากระบบบำบัดของโครงการพัฒนาตอยตุ้งฯ พบว่า สารตกตะกอนที่พัฒนาสามารถบำบัดน้ำทิ้งตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั่วไป และกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกย้อม กระดาษและสิ่งทอ และผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานสีของน้ำทิ้ง(ADMI) โรงงานอุตสาหกรรม

ในการศึกษาสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มตัวอย่างวิสาหกิจชุมชนผ้าทอทั้ง 10 กลุ่ม ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามีการใช้สีย้อมธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการย้อมเส้นด้ายมากกว่า ร้อยละ 85 และร้อยละ 15 ที่มีการใช้สีเคมีในการย้อม ซึ่งในกลุ่มที่มีการใช้สีเคมีย้อม มีการใช้ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบง่าย ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ในการเผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยในการใช้สีย้อม ได้จัดทำเอกสารคู่มือ “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” และถ่ายทอดความรู้ดังกล่าวในการอบรมให้แก่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มทอผ้าในตำบลพระบาทนาสิงห์ จังหวัดหนองคาย มีจำนวนผู้เข้ารับการอบรม 18 คน และผลการอบรมได้รับความพึงพอใจในระดับดีถึงดีมาก

Abstract

By using chitosan nanocomposites for treatment of textile dying wastewater using zero-waste along with precipitation method, it was found that an optimal ratio of chitosan: nano-calcium carbonate (NCC) is 100: 50 ppm, which was effectively precipitated the dye for approximately 90%. The water quality obtained after treatment by our method has passed the standard requirement from department of industrial work, Thailand. Moreover the natural color obtained from lac seed, sappan, teakwood, and broken bone can be reused and applied for painting and decoration.

In term of real application at Doi Tung development project, Chiang Rai, it was found that this nanocomposite can be used to effectively treat the wastewater obtained from paper dying industry and the standard from industry (ADMI).

For the status of the use of dye in 10 local communities in the northern part of Thailand, it was found that more than 85% of communities use natural color and only 15% of communities use chemical color. For the chemical dye users, there are some simple wastewater treatment system supported by Department of Industry Promotion.

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ความสำคัญและที่มาปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
1.5	กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม	2
1.6	แผนกิจกรรมวิจัยตลอดระยะเวลาโครงการ	4
บทที่ 2	การสืบค้น วรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	
2.1	สีทางสิ่งทอ (textile dyes and pigments)	5
2.2	เทคโนโลยี สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	9
2.3	เทคนิคเอ็นแคปซูลชันกับการจับและนำอนุภาคสารกลับมาใช้ได้ใหม่	15
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1	การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย	21
3.2	การทดลองเพื่อหาสภาวะในการตกตะกอนสีย้อมด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิตในระดับห้องปฏิบัติการ	24
3.3	ผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติหลังการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย	27
3.4	การตรวจสอบและวิเคราะห์ไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ ตลอดจนตะกอนสีย้อมที่ได้จากการบำบัดน้ำทิ้ง โดยการวิเคราะห์ทางกายภาพ (SEM) และการวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโกปี (UV และ FTIR)	28
3.5	การพัฒนานำสารไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ นำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียในระบบจริง	28
3.6	การจัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ด้านความปลอดภัยในการใช้สีย้อมผ้า และจัดกิจกรรมการอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าฝ้าย	28

หัวข้อ		หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
4.1	การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย	30
4.2	การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีย้อมด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิตในระดับห้องปฏิบัติการ	54
4.3	การพิสูจน์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของนาโนคอมพอสิตเบื้องต้น	64
4.4	ลักษณะทางกายภาพของตะกอนสีย้อมที่ตกตะกอนด้วยอนุภาคไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3	65
4.5	การพัฒนานำสารไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ นำไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจริงในระบบ	67
4.6	การจัดทำเอกสาร “ย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” และการจัดกิจกรรมอบรมให้ความรู้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนทอผ้าฝ้ายในพื้นที่อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย	74
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	80
รายการเอกสารอ้างอิง		82
ภาคผนวก		86

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2		
ตารางที่	2.1 ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ให้สี	6
ตารางที่	2.2 การแบ่งประเภทสีย้อมธรรมชาติตามโครงสร้างเคมี แหล่งวัตถุดิบและชนิดเส้นใยธรรมชาติที่ถูกย้อมสี	6
ตารางที่	2.3 สรุปข้อดี ข้อจำกัด ของแต่ละวิธีกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง	12
ตารางที่	2.4 ชนิดสารที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งด้วยวิธี coagulation/flocculation	14
บทที่ 3		
ตารางที่	3.1 รายชื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในการศึกษาข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมและประเภทกิจการ	22
ตารางที่	3.2 การออกแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสถานภาพวิสาหกิจชุมชน	23
ตารางที่	3.3 สมบัติเฉพาะของไคโตซานที่ใช้ในการทดลอง	24
ตารางที่	3.4 องค์ประกอบของนาโนคอมพอสิตที่ทำการศึกษา	26
ตารางที่	3.5 สมบัติกายภาพ สมบัติเคมีโครงสร้าง และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	27
บทที่ 4		
ตารางที่	4.1 สรุปการออกแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสถานภาพวิสาหกิจชุมชน	31
ตารางที่	4.2 แสดงภาพรวมการใช้สีย้อม ปริมาณน้ำทิ้งต่อวันและวิธีการบำบัดน้ำทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน	49
ตารางที่	4.3 ผลของการใช้ไคโตซานและอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตในการตกตะกอนสีจากสารละลายครั้ง	55
ตารางที่	4.4 ลักษณะการตกตะกอนสีย้อมต่าง ๆ ที่มีการใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตทั้ง 3 สูตร	58
ตารางที่	4.5 ผลของการปรับ pH น้ำทิ้งสีย้อมก่อนการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 2	59
ตารางที่	4.6 ผลของการตกตะกอนจากน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด ด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3	60
ตารางที่	4.7 ผลของการตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ (ปริมาตร 20 ml) ด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตร 3	62
ตารางที่	4.8 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งตัวอย่างที่จุดก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังการตกตะกอน เปรียบเทียบโดยอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงฟอกย้อม และน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม	73
ตารางที่	4.9 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งตัวอย่างที่จุดก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังการตกตะกอน เปรียบเทียบโดยอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงฟอกย้อม และน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม	74
ตารางที่	4.10 ผลการประเมินการอบรม “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” ณ วัดพระบาทนาหงส์ ตำบลพระบาทนาสิงห์ อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย	79

สารบัญภาพ

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2		
ภาพที่ 2.1	ปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างสีและมอร์แดนต์	9
ภาพที่ 2.2	รูปแบบการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป	10
ภาพที่ 2.3	รูปแบบการบริหารจัดการของเสียแบบดั้งเดิม (traditional waste hierarchy) และแบบใหม่ (new waste management)	14
ภาพที่ 2.4	เคมีโครงสร้างของไคโตซาน	18
บทที่ 3		
ภาพที่ 3.1	โครงสร้างทางเคมี (ซ้าย) และลักษณะผงไคโตซาน (ขวา)	25
ภาพที่ 3.2	โครงสร้างทางเคมี (ซ้าย) และ SEM micrograph (ขวา) ของนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (NCC)	25
ภาพที่ 3.3	การเตรียมไคโตซานนาโนคอมพอสิต (ก) และลักษณะสารละลายที่มีอนุภาคไคโตซานนาโนคอมพอสิต สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 (ข)	26
บทที่ 4		
ภาพที่ 4.1	แสดงจำนวนร้อยละของประเภทผลิตภัณฑ์และบริการที่มีการขึ้นทะเบียนเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนทั่วประเทศ	30
ภาพที่ 4.2	แสดงวัตถุดิบให้สีธรรมชาติจากการใช้งานจริงของกลุ่มตัวอย่าง	52
ภาพที่ 4.3	แสดงระบบบำบัดน้ำเสียที่ย้อมที่ทางสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดและกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมจัดหาให้	52
ภาพที่ 4.4	แสดงระบบบำบัดน้ำเสียที่ย้อมของนิคมสร้างตนเองเลี้ยงไหม ที่ อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์	53
ภาพที่ 4.5	แสดงระบบบำบัดน้ำเสียที่ย้อม (ระบบบำบัดชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ (ซ้าย) และบ่อบำบัดน้ำหลังการบำบัด (ขวา)) จากส่วนงานมือของโครงการมูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ดอยตุง ในพระบรมราชูปถัมภ์	53
ภาพที่ 4.6	SEM micrograph แสดงลักษณะอนุภาคไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่กำลังขยาย 100,000 เท่า	56
ภาพที่ 4.7	FTIR สเปกตรัมของไคโตซาน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต และไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3	57
ภาพที่ 4.8	แสดงโครงสร้างเคมีสารให้สีจากธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิด	57
ภาพที่ 4.9	ลักษณะน้ำสีย้อมหลังการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3	63
ภาพที่ 4.10	ลักษณะการเกิดตะกอนน้ำสีย้อมรวมหลังการตกตะกอนด้วยไคโตซานคอมพอสิตสูตรที่ 3 โดยทำการทั้งปรับและไม่ปรับ pH รวมถึงการเพิ่มปริมาณไคโตซานคอมพอสิต 2 เท่า และ 5 เท่า หลังจากปรับและไม่ปรับ pH	64
ภาพที่ 4.11	UV absorption ของสารละลายสีตัวอย่างและสารละลายหลังแยกตะกอนสีออกไป โดยใช้อนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิตสูตรที่ 3	65

	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่	4.12 ลักษณะตะกอนสีหลังการตกตะกอนด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิตสูตรที่ 3	65
ภาพที่	4.13 SEM micrograph แสดงลักษณะตะกอนสีจากครั้งแรกเมื่อใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	66
ภาพที่	4.14 FTIR spectrum ของไคโตซาน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 สีจากครั้งแรกและตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้งแรก	67
ภาพที่	4.15 ชุดอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนของไคโตซานนาโนคอมพอสิต	68
ภาพที่	4.16 แสดงส่วนงานในโครงการดอยตุง ประกอบด้วย โรงกระตาศสา และโรงย้อมสีเส้นด้ายที่มีการนำน้ำทิ้งในระบบมาทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิต	69
ภาพที่	4.17 แสดงระบบบำบัดน้ำเสีย โดย “ใช้ธรรมชาติ ช่วยธรรมชาติ” ของโครงการพัฒนา ดอยตุงฯ	70
ภาพที่	4.18 แสดงจุดที่เลือกเก็บน้ำทิ้งตัวอย่างในระบบมาทดสอบการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิต	70
ภาพที่	4.19 การทดลองตกตะกอนน้ำทิ้งตัวอย่างในระบบด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิต	71
ภาพที่	4.20 ลักษณะน้ำทิ้งก่อนและระหว่างการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิต	72
ภาพที่	4.21 ลักษณะการเกิดตะกอนและการเปรียบเทียบลักษณะน้ำทิ้งก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิต	72
ภาพที่	4.22 เอกสาร “ย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย”	75
ภาพที่	4.23 การจัดอบรมเรื่อง “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” ณ วัดพระบาทนาหงส์ ตำบลพระบาทนาสิงห์ อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย	76
ภาพที่	4.24 การฝึกปฏิบัติสำหรับวิธีการใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองเพื่อความปลอดภัยในการย้อม	77
ภาพที่	4.25 การฝึกทำชุดกรองน้ำทิ้งหลังการย้อมอย่างง่าย	77
ภาพที่	4.26 การแข่งขันการอ่านสัญลักษณ์ความปลอดภัยของสารเคมี	78
ภาพที่	4.27 การแจกเอกสาร “การย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” ให้กับผู้เข้ารับการอบรม	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาปัญหา

ในกระบวนการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สีย้อมจากธรรมชาติ (natural dye) มีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพสีย้อมที่ยึดติดบนเส้นใยธรรมชาติได้ไม่คงทน และการย้อมแต่ละครั้งให้เฉดสีและความเข้มสีที่ไม่เหมือนเดิม ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติที่ปฏิบัติกันมาถูกจำกัดด้วยสมบัติของสีย้อม สารช่วยติดสี (mordant) และ สภาพการย้อมสี (dyeing condition) นำไปสู่การย้อมติดสีที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากสีย้อมถูกดูดซึมเข้าเส้นใยได้ในปริมาณที่จำกัด ทำให้มีปริมาณสีย้อมหลงเหลือในน้ำทิ้งจำนวนมาก โรงงานสิ่งทอส่วนใหญ่จึงเลือกใช้สีสังเคราะห์ (synthetic dye) แทนสีธรรมชาติ ซึ่งการย้อมทำได้ง่าย รวดเร็ว มีคุณภาพการย้อมติดสีที่ดีกว่า และสีติดคงทนกว่า แต่อย่างไรก็ตามการใช้สีสังเคราะห์ก็นำมาซึ่งปัญหาเรื่องมลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมนี้

กลุ่มผู้ประกอบการโรงย้อมสีที่มีการใช้สีจากธรรมชาติย้อมเส้นใยธรรมชาติ (เช่น ฝ้าย ลินิน กัญชง ไหม หรือ ขนสัตว์) โดยเฉพาะผ้าฝ้าย ยังคงเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคแนวอนุรักษ์นิยม เนื่องจากเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดนุ่มนวล ไม่ฉูดฉาด เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งกลุ่มผู้ประกอบการสิ่งทอประเภทนี้ มักจะเป็นกลุ่มผู้ประกอบการขนาดเล็ก ขนาดกลาง และวิสาหกิจชุมชน ที่มีการกระจายตัวทั่วไปในแต่ละภาคส่วน ชุมชน อาจมีการใช้สีสังเคราะห์บ้างในบางผลิตภัณฑ์

เพื่อเป็นการช่วยลดปัญหาน้ำเสียจากกระบวนการย้อม การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถตกตะกอนหรือกำจัดอนุภาคสีย้อมจากระบบให้ได้มากที่สุด และสามารถนำตะกอนสีย้อมมาใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงคุณภาพน้ำหลังการบำบัดที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นรูปแบบการบำบัดที่เรียกว่า zero waste

สำหรับโครงการวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอแนวทางการวิจัยเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อม โดยการนำเทคนิคเอ็นแคปซูลเข้ามาใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียไว้และตกตะกอนแยกออกมา ซึ่งเป็นการช่วยลดมลภาวะจากกระบวนการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ ที่จะเกิดประโยชน์ยิ่งสำหรับกลุ่มโรงย้อมสิ่งทอในทุกระดับ โดยผลจากงานวิจัยสามารถนำไปต่อยอดขยายผลการใช้กับกระบวนการย้อมสิ่งทอด้วยสีสังเคราะห์ได้

ในการนี้ การผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากโรงย้อมผ้า ภายใต้โครงการพัฒนาอดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ซึ่งนับได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอธรรมชาติที่ได้รับความนิยมอย่างมากทั้งในกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นนักท่องเที่ยวและผู้นิยมผลิตภัณฑ์สิ่งทอธรรมชาติทั้งในและต่างประเทศจะเป็นผู้เข้าร่วมโครงการ และเป็นผู้ใช้ประโยชน์จากงานวิจัยนี้ โดยผลงานวิจัยที่ได้จะสามารถนำไปต่อยอดและเผยแพร่ไปสู่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอธรรมชาติอื่น ๆ ได้อีกมาก เกิดประโยชน์และผลกระทบต่อการพัฒนากระบวนการผลิตสิ่งทอได้อย่างกว้างขวางต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อบำบัดสีย้อมในน้ำเสียหลังกระบวนการย้อมสีเส้นใยด้วยอนุภาคนาโนโคโตซานคอมพอสิต
- 1.2.2 เพื่อตรวจสอบสมบัติสีย้อมที่ได้จากการตกตะกอนและประเมินคุณภาพในการนำไปใช้ประโยชน์
- 1.2.3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยวิธีตกตะกอนสีย้อมและการประเมินคุณภาพในการนำกลับไปใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีย้อมจากน้ำเสียด้วยเทคนิคเอ็นแคปซูลเลชันทั้งระดับปฏิบัติการและนำไปประยุกต์ในระดับนำร่องที่โรงย้อมสีเส้นด้าย โครงการพัฒนาอดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง เชียงราย
- 1.3.2 ศึกษาการตกตะกอนสีธรรมชาติในน้ำทิ้งจำนวน 3 ชนิด จากกระบวนการย้อมเส้นใยธรรมชาติ

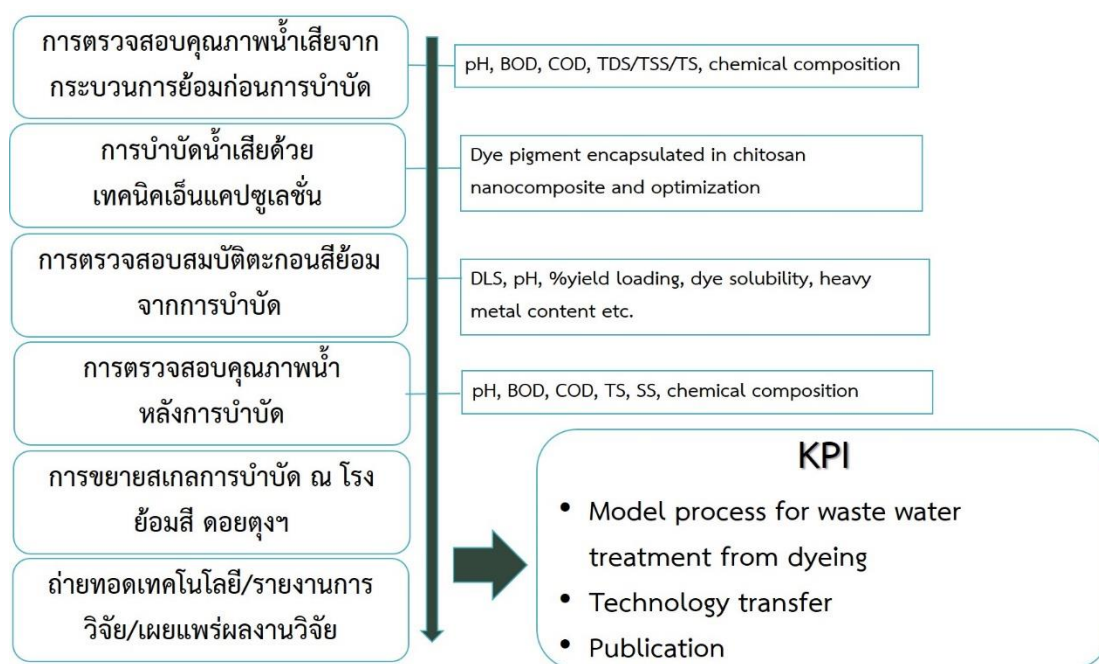
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

เทคโนโลยีในการกำจัดสีย้อมธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพด้วยนาโนคอมพอสิต ในรูปแบบการบำบัดน้ำเสียแบบ zero waste

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

การย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ (natural dye) เช่น เส้นใยฝ้าย (cotton) ไหม (silk) ลินิน (linin) และขนสัตว์ (wool) นิยมใช้สีในการย้อมทั้งสีธรรมชาติ และสีสังเคราะห์ ซึ่งมีข้อดี ข้อด้อย ในเรื่องของคุณภาพการย้อมติดสีบนเส้นใยที่ต่างกันไป โดยสีสังเคราะห์จะให้คุณภาพการย้อมติดสีที่สม่ำเสมอ ติดทนดีกว่า แต่มีข้อเสียในเรื่องของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้สีธรรมชาติแม้จะไม่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม แต่ด้วยคุณภาพการติดสีต่ำ หรือมีร้อยละการยิดเกาะของสีบนเส้นใยธรรมชาติที่น้อยกว่ามาก จึงมีปริมาณสีเหลือในน้ำทิ้งหลังการย้อมมาก แม้จะมีการใช้สารช่วยการติดสี ที่มีคุณภาพดีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมติดสีให้ดีขึ้นก็ตาม ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียส่วนใหญ่ จะใช้วิธีการจับและตกตะกอน (coagulation and flocculation) ด้วยสารพอลิเมอร์ เช่น PAC หรือ anion polymer ร่วมกับการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในสารละลาย ด้วยสารละลายกรดหรือด่างเข้มข้น เพื่อลดค่า BOD, COD และค่า TDS ในน้ำหลังการบำบัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนการปล่อยทิ้ง กลุ่มผู้ประกอบการสิ่งทอเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้สีย้อมธรรมชาติ มักจะเป็นกลุ่มผู้ประกอบการขนาดเล็ก ขนาดกลางและวิสาหกิจชุมชน ที่มีการกระจายตัวทั่วไปในแต่ละภาคของประเทศ โดยกลุ่มผู้ประกอบการสิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นเขตที่มีการใช้สีธรรมชาติในการย้อมมากกว่าภาคอื่น ๆ ของประเทศ ซึ่งแนวทางการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสี ที่สามารถดึงสีย้อมกลับมาใช้ใหม่ได้ จะช่วยลดปริมาณการสูญเสียสีย้อม ลดต้นทุน และยังเป็นการลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แผนงานโครงการและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม



รายละเอียดกิจกรรม / ระยะเวลา (เดือน)	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. สืบค้น รวบรวมข้อมูลงานวิจัย เทคโนโลยี สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง													
2. การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย (จำนวนแหล่งข้อมูลไม่น้อยกว่า 10 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในภาคเหนือและอีสาน)													
3. จัดซื้อครุภัณฑ์เครื่องปั่นตกตะกอนชนิดควบคุมอุณหภูมิและ เครื่องชั่งน้ำหนัก ที่ใช้ในงานวิจัย													
4. การทดลองวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการโดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีย้อมธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพการจับสีย้อมดีที่สุดในระดับห้องปฏิบัติการ													
5. การตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการย้อมก่อนและหลังการบำบัด และสมบัติตกตะกอนจากการบำบัด													
6. การนำไปประยุกต์ใช้ ณ โรงงานย้อมสี โครงการดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) ในพระราชดำริ อ่างเขาดอยตุง จังหวัดเชียงราย													
7. การวิเคราะห์สมบัติตกตะกอนจากการบำบัดและประเมินแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์													
8. จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ด้าน “สีย้อมธรรมชาติและสีสังเคราะห์ สำหรับผ้าทอพื้นเมือง ความปลอดภัยและการเลือกใช้ที่ถูกต้อง” และ/หรือ การเข้าร่วมกิจกรรมเป็นวิทยากรในการอบรม/สัมมนา													
9. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน													

บทที่ 2

การสืบค้น วรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีทางสิ่งทอ (textile dyes and pigments)

โดยนิยาม สี หมายถึงสิ่งที่ทำให้เกิดสีหรือสิ่งที่มีสี (dye or pigment) โดยสีจากธรรมชาติ สกัดได้จาก พืช สัตว์ และแร่ธาตุบางชนิด สีย้อมจากธรรมชาติ เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ให้สีตามธรรมชาติ (natural organic dye with coloring matter) สามารถแยกสกัดได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช (อาทิ แก่น เปลือก ใบ ดอก ราก และ ผล) หรือสัตว์ ซึ่งสารเหล่านี้มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพผู้สวมใส่ ไม่ทำให้เกิดการแพ้ (non-allergic) และไม่เป็นพิษ (non-toxic) การแบ่งประเภทสีย้อมจากธรรมชาติ สามารถแบ่งได้ตามปัจจัย ดังนี้ (Samanta และ Konar, 2011)

1. แหล่งวัตถุดิบที่ให้สี (the basis of origin)
 2. สมบัติเชิงเคมีโครงสร้างของสีแท้หรือสีพื้นฐาน (the basis of hue)
 3. ลักษณะการใช้ย้อม (application process)
1. แบ่งตามแหล่งวัตถุดิบที่ให้สี (the basis of origin) สีธรรมชาติ จาก พืช และ สัตว์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic colorant) มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักต่อกับอะตอมของธาตุอื่น ๆ และมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลคาร์บอนต่อกันเป็นวงและวงแหวนเบนซีน โดยสารที่ให้สีถูกแยกสกัดได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชดังแสดงในตารางที่ 2.1 ในขณะที่กลุ่มสีย้อมจากแหล่งแร่ (mineral sources) ซึ่งเป็นกลุ่มสีอนินทรีย์ ประกอบด้วย สีย้อมจากโครเมียม ในรูปสารประกอบต่าง ๆ กัน ให้สีที่ต่างกัน เช่น Chrome oxide green (Cr_2O_3), Chrome yellow (PbCrO_4) และ Chrome orange ($\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbO}$) สีแดงจากเหล็กออกไซด์ (iron oxide) หรือสนิมเหล็ก สีปรัสเซียนบลู (Prussian blue) ที่มีส่วนผสมของสารประกอบเหล็กและไซยาไนด์ เป็นต้น จะให้คุณภาพในการย้อมติดสีที่คงทนกว่าสีย้อมในกลุ่มอินทรีย์ สีอนินทรีย์ในกลุ่มนี้ส่วนมากจะอันตรายอาจทำให้เกิดอาการแพ้ เป็นพิษ และก่อมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.1 ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ให้สี

ส่วนต่าง ๆ ของพืช	พืชที่ให้สี
ราก	Turmeric, Madder (Manjistha), Onions, Beet-root
เปลือก/กิ่ง ก้าน	Purple bark, Sappan wood, Shillicorai, Khair, Red, Sandalwood
ใบ	Indigo, Henna, Eucalyptus, Tea, Cardamon, Coral Jasmine, Lemon Grass
ดอก (กลีบดอก)	Marigold, Dahlia, Tesu, Kusum
ผล/เมล็ด	Latkan, Pomegranate rind, Beetle nut, Myrobolan (Harda)

2. แบ่งตามสมบัติเชิงเคมีโครงสร้างของสีแท้หรือสีพื้นฐาน (the basis of hue) เช่นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) แอนทราควิโนน (antraquinon) และแนพทาควิโนน (naphthaquinon) รวมไปถึงกลุ่มอัลคาลอยด์ (alkaloid) และแทนนิน (tannin) ซึ่งให้สีที่ต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของโครงสร้าง สีย้อมธรรมชาติจากพืชและสัตว์ ตามแหล่งวัตถุดิบและการให้สีแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทสีย้อมธรรมชาติตามโครงสร้างเคมี แหล่งวัตถุดิบและชนิดเส้นใยธรรมชาติที่ถูกย้อมสี

ชนิดสารประกอบ	แหล่งวัตถุดิบ	ชนิดเส้นใยธรรมชาติที่ถูกย้อม	สีปรากฏ
Indigoids	Indigo (Indigofera tinctoria)	Cotton, wool and silk	Blue
	Woad (Isatis tinctoria)	Cotton, wool and silk	Blue
	Tyrian purple (Purplehoemastroma/	Cotton, wool and silk	Blue purple/reddish purple
	Murex brandaris)		
Anthraquinonoids	Madder (Rubia tinctorium)	Wool and silk	Pink, red crimson orange, brown and maroon*
	Manjith (Rubia cordifolia)	Wool and silk	Pink, red crimson orange, brown and crimson*
	Lac (Luccifer lacca)	Wool, silk and nylon	Red, scarlet, crimson and
	Kermes (Kermer vermilio)	Wool	brown*
	Cochineal (Coccus cacti)	Wool, silk and cotton (printing)	Red and purple*

ชนิดสารประกอบ	แหล่งวัตถุดิบ	ชนิดเส้นใยธรรมชาติที่ถักย้อม	สีปรากฏ
			Crimson, scarlet and pink*
Alphanaphthaquinones	Heena or lawsone (leaves of Lawsonia inermis)	Wool and silk	Yellow to brown
	Juglone (shells of Juglans regia)	Wool and silk	Brown
Flavones	Weld (Reseda luteola)	Cotton, wool and silk	Yellow, orange and olive
Dihydropyrans	Logwood (compeachy wood, Haematoxylum campechianum)	Wool, silk, cotton and leather	Black
	Brazilwood (red wood species, Caesalpinia echinate)	Wool, silk and cotton	Crimson, black and purple*
	Sappanwood (red wood species, Caesalpinia sappan)	Wool, silk and cotton	Crimson, black and purple*
Anthocyanidins	Carajurin (leaves of Bignonia chica)	Cotton and silk	Orange
	Awobanin (clowers of Tsuyukusa cammelia communis)	Silk	Blue
Carotenoids	Annatto (Bixa orellana)	Wool and silk	Yellow and orange
	Saffron (Crocus sativus)	Wool and silk	Yellow

3. แบ่งตามลักษณะการใช้ย้อม (classification base on method of applications) แบ่งได้เป็น

3.1 สีย้อมไตรงิเร็กซ์ (direct dye) หรือที่เรียกว่าสีย้อมฝ้าย เนื่องจากนิยมใช้ย้อมเส้นใย เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่กรดซัลโฟนิคจึงละลายน้ำได้ดี การสกัดสีทำได้โดยการต้มในน้ำเดือด ตัวอย่างสีในกลุ่มนี้ เช่น สีเหลืองจากขมิ้นชัน (turmeric) สีแดงสดจากผลทับทิม (pomegranate) สีเหลืองปนส้มแดงจากเปลือกหุ้มเมล็ดของต้นคำแสด (Bixa orellana) สีส้มแดงจากดอกคำฝอย (Safflower) สีกลุ่มนี้ใช้ง่าย ราคาถูก คุณภาพการย้อมติดบนเส้นใยต่ำถึงปานกลาง ไม่ทนต่อการซัก สีตกง่าย

- 3.2 สีย้อมแวท (Vat dyes) เป็นกลุ่มสีที่ไม่ละลายน้ำ ประเภทแอนทราควินอยด์ (anthraquinoid dye) และอินดิโกอยด์ (Indigoid dye) ให้คุณภาพสีที่สดใส ติดทนดีกว่าสีไคเร็กซ์ แต่มีราคาแพงกว่า ในการย้อมเส้นใยธรรมชาติด้วยสีแวท ต้องเตรียมในรูปเกลือที่ละลายน้ำได้ก่อนใช้
- 3.3 สีแอซิด (Acid dyes) หรือสีซัลเฟอร์ เนื่องจากเป็นการทำปฏิกิริยาของลิกนินหรือแทนนินกับ สารประกอบซัลไฟด์ในสภาวะต่างหรือกรด สีที่ได้จะเป็นสีดำ น้ำตาล น้ำเงิน และเขียว มีความคงทนต่อการซักและแสงแดดสูง
- 3.4 สีดีสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นกลุ่มสีที่ไม่ละลายน้ำ ในตระกูลสีอะโซ (azo dyes) และแอมมิโนแอนทราควิโนน (amino anthraquinone) สามารถย้อมติดสีในเส้นใยธรรมชาติ (ไหมและขนสัตว์) และเส้นใยสังเคราะห์จำพวกอะซิเตตและโพลีเอสเตอร์ได้ดี ทนต่อแสงและการซักได้ดี แต่ไม่ทนก๊าซจำพวกไนโตรสออกไซด์
- 3.5 สีเบสิก (Basic or cationic dyes) สีในกลุ่มนี้เป็นเกลืออินทรีย์ของสารละลายต่าง กลไกการย้อมเกาะเส้นใยของสีเนื่องจากการแตกตัวของประจุลบในโครงสร้างที่ยึดเกาะกับโมเลกุลของเส้นใยไหมและเส้นใยขนสัตว์ ทำให้เกิดการย้อมติดสีได้ดี แต่คุณภาพสีที่ได้จะไม่ทนต่อแสงและการซัก ตัวอย่างสีในกลุ่มนี้ คือสารสกัด Berberine จากต้นแยม
- 3.6 สีมอร์แดนต์หรือสีโครม (mordant or chrome dye) สีในกลุ่มนี้ได้จากพืชที่ให้สีต่างๆ เช่น สี haematoxylin จากต้น logwood สี Brazilin จากเนื้อไม้ต้น Brazilian wood เป็นต้น สีในกลุ่มนี้ไม่สามารถย้อมติดสีบนเส้นใยได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้สารช่วยเพิ่มติดสี (mordant) เป็นโลหะออกไซด์ของแร่ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม สีในกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิเอไมด์ สำหรับเส้นใยสัตว์

สารช่วยติดสีหรือมอร์แดนต์ (Mordants) คือ สารที่ช่วยทำให้การย้อมติดของสีธรรมชาติเกิดได้ดีบนเส้นใยธรรมชาติ มีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ การใช้มอร์แดนต์ต่างชนิดกันสำหรับสีย้อมชนิดเดียวกัน ทำให้เกิดเฉดสีบนเส้นใยที่ต่างกัน หรือสีอาจจะเปลี่ยนไปได้เลย ดังนั้นคุณภาพสีของสิ่งทอที่ได้ จึงไม่ได้ขึ้นกับตัวสีย้อมเองเป็นหลัก สารมอร์แดนต์นับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการย้อมด้วยเช่นกัน มอร์แดนต์ที่ดีควรจะให้ประสิทธิภาพในการย้อมติดสีที่ยึดเกาะดี ทนต่อแสงและการซัก และมีราคาถูกหรือไม่สูงจนเกินไปที่สำคัญไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ในระหว่างกระบวนการย้อมสี สารมอร์แดนต์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) กลุ่มสารประกอบเกลือของโลหะ (metallic mordant) และ 2) สารแทนนิน (tannins mordant)

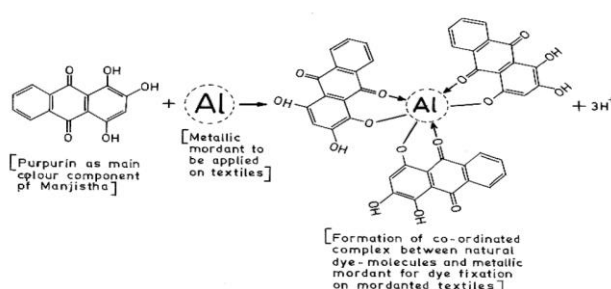
1) กลุ่มสารประกอบเกลือของโลหะ (metallic mordant) เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม ซึ่งมีทั้งที่เป็นสารมอร์แดนต์ธรรมชาติและสังเคราะห์ สารในกลุ่มนี้ เช่น สารส้ม (potash alum) โครมหรือโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) ดีบุกในรูปสารประกอบ stannous chloride (SnCl_2) คอปเปอร์ซัลเฟตหรือจุนสี (cupric sulphate, CuSO_4), เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate)

2) สารแทนนิน (tannins mordant) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ของแทนนิน ในรูปกรดแทนนิก (tannic acid) สามารถเกิดปฏิกิริยากับเกลือของโลหะ เช่น เหล็ก เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีสีเขียว และน้ำเงิน จึงใช้ในการย้อมสีและทำหมึก แทนนินเป็นสารปกติที่พบได้ทั่วไปในส่วนประกอบของพืช และผลไม้ที่มีรสฝาด เช่น เปลือกและเมล็ดของผลไม้ ใบชา ใบฝรั่ง ใบพลู ใบชุมเห็ด และในผลไม้ดิบ เช่น กัลยาดิบ ฝรั่ง เม็ดในมะขาม และเปลือกมะพร้าว เป็นต้น

2.2 เทคโนโลยี ลิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

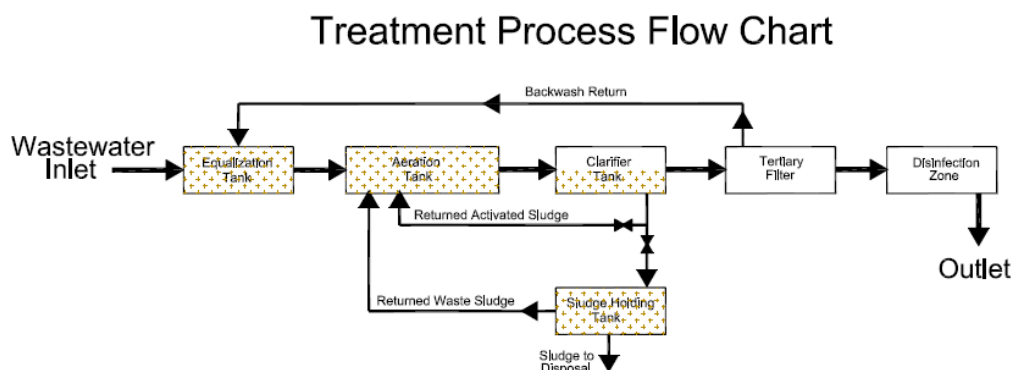
2.2.1 เทคโนโลยีกระบวนการกำจัดสีย้อมและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในกระบวนการย้อมสีเส้นใยสิ่งทอนั้น สิ่งทอซึ่งอาจอยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าผืนที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วจะถูกแช่อยู่ในน้ำย้อมที่ประกอบด้วยสีย้อมและสารช่วยติดสี พร้อมกับการควบคุมอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างของน้ำย้อม ซึ่งการทำให้สีธรรมชาติติดได้ดีกับเส้นใยนั้น สารมอร์แดนต์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบพวกเกลือโลหะ โดยขณะที่ทำการย้อมสารมอร์แดนต์จะทำปฏิกิริยากับสีย้อมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.1 ส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลสีย้อมถูกดูดซึมและติดแน่นอยู่ภายในเส้นใยได้ดีและมีความคงทนมากขึ้น ทั้งนี้ในกระบวนการย้อมจำเป็นต้องใช้น้ำและสารเคมีที่เกี่ยวข้องในปริมาณที่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการย้อมสีธรรมชาติจะมีสีส่วนเกินที่ไม่เกิดการผนึกบนเส้นใยหลงเหลืออยู่ในน้ำย้อมเป็นปริมาณที่สูง



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างสีและมอร์แดนต์

เทคนิคในการกำจัดน้ำเสียจากสีย้อมในอุตสาหกรรมฟอกย้อมทั่วไป มีตั้งแต่การใช้วิธีทางกายภาพ (physical method) เคมี (chemical method) และชีวภาพ (biological method) ในการกำจัด เช่น การดูดซับ (adsorption) การจับและตกตะกอน (coagulation and flocculation) การใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด (biosorption or biodegradation) เทคนิคการย่อยสลายด้วยแสง (photodegradation) การกรองแยกด้วยแผ่นเยื่อบาง (membrane filtration) การย่อยสลายด้วยโอโซน (oxidation or ozonation) เป็นต้น (Crini & Badot, 2008)



รูปที่ 2.2 รูปแบบการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป

อ้างอิงภาพจาก <http://www.pollutioncontrolsystem.com/packaged-plants>

1) เทคโนโลยีทางกายภาพ

- **การกำจัดสีย้อมโดยใช้เทคโนโลยีทางกายภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)** เป็นการใช่วัสดุที่มีความพรุนสูงและมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในของเหลวหรือก๊าซไว้ได้ในปริมาณที่สูง และมีประสิทธิภาพ โดยถ่านกัมมันต์นั้นสามารถเตรียมได้จากการนำวัตถุดิบอินทรีย์ เช่น ไม้ ถ่านหิน กะลามะพร้าว เปลือกไม้ ชานอ้อย ชีเสื่อย กระดุกสัตว์ และเปลือกสัตว์ เป็นต้นมาเผาและเร่งด้วยความร้อนเพื่อให้เกิดความพรุนแล้วอัดด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากที่สุด

ในปี พ.ศ. 2557 ศศิธร มั่นเจริญ และคณะได้ร่วมกันพัฒนางานวิจัยด้านการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกปูเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าการคาร์บอนในเซชันถ่านด้วยการเผาเปลือกปูที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และกระตุ้นถ่านคาร์บอนในเซชันด้วยซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วนน้ำหนักแห้งของถ่านต่อซิงค์คลอไรด์ 1:2 ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที เป็นสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ และผลที่ได้พบว่า สีย้อมในน้ำทิ้งตัวอย่างจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีความเข้มข้นลดลงร้อยละ 63.5-75.6 ในการบำบัดเพียงครั้งแรก

- **การกำจัดสีย้อมโดยใช้เทคโนโลยีทางกายภาพโดยการกรองด้วยเยื่อแผ่น (Membrane)** สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ได้แก่ ออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis) อัลตราฟิวเตรชัน (ultrafiltration) และนาโนฟิวเตรชัน (nanofiltration) โดยการเลือกใช้แต่ละวิธีนั้นจะพิจารณาจากขนาดโมเลกุลของสีย้อมและชนิดของของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในปี 2552 ธนภุต พรหมทองและคณะใช้วิธีเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับแบบ 2 ขั้นตอน คือ เยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อยและเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับแบบย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล ในการกำจัดสีย้อมจากโรงงานฟอกย้อม โดยสามารถกำจัดสีดังกล่าวได้ถึงร้อยละ 90 ในแผ่นแรก และสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สองและสามารถกำจัดได้ร้อยละ 94 ในที่สุด

2) เทคโนโลยีทางเคมี

- **การกำจัดสีย้อมโดยใช้เทคโนโลยีทางเคมีโดยการออกซิเดชัน (Chemical oxidation)** โดยกระบวนการออกซิเดชันทางเคมี เป็นการใช้สารเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดซ์สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสีย โดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวออกซิเดนต์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ สารเคมีเฟนตัน (Fenton's reagent) และโอโซน (O_3)

ในปี พ.ศ. 2553 วีระนุช บุญรุ่ง และคณะได้พัฒนาการกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเฟนตัน ร่วมกับกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมพบว่ากระบวนการเฟนตันมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ดีที่สุดคือ ร้อยละ 79.98 โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.40, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 7 กรัมต่อลิตร และระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 150 นาที ส่วนการบำบัดสีพบว่าโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีดีที่สุด คือร้อยละ 86.73

3) เทคโนโลยีทางชีวภาพ

- **การกำจัดสีย้อมโดยใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพด้วยการดูดซับด้วยสาหร่าย (Algae absorption)** โดยสาหร่ายสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้ภายใต้สภาวะที่มีแสงโดยเปลี่ยนโมเลกุลที่มีสีไปเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี

ในปี พ.ศ. 2549 พิมล พันธุ์จันทาญ และคณะ พบว่าสาหร่ายช่อพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) สามารถดูดซับสีเบสจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้

- **การกำจัดสีย้อมโดยใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพด้วยการย่อยสลายด้วยเชื้อรา (Fungi decomposition)** โดยกระบวนการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยเชื้อราเป็นการสร้างเอนไซม์นอกเซลล์กลุ่มลิพโนไลติก ย่อยสลายเนื้อไม้ โดยเฉพาะเห็ดราในกลุ่มเชื้อราไวร็อทหรือบราวร็อท ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนขอนไม้ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ลิกไนต์เซลลูโลส ทำให้สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

- **การกำจัดสีย้อมโดยใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพด้วยการย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (Bacteria decomposition)** การย่อยสลายด้วยแบคทีเรียนี้สามารถกำจัดสีย้อมได้หลายประเภท โดยอาศัยภาวะการย่อยสลายของแบคทีเรียที่มีสภาวะความเป็นกรด ต่างที่เหมาะสม

ในปี พ.ศ. 2542 ฑาลิศา เนียมมณี และคณะ พบว่าแบคทีเรียที่มีความสำคัญในการย่อยสลายสีรีแอดทิฟในน้ำเสีย โดยแบคทีเรียที่มีความสำคัญในการกำจัดสีย้อม 3 สกุล คือ *Pseudomonas* sp., *Proteus* Sp. และ *Klebsiella* sp.

เนื่องจากเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมมีหลายรูปแบบทั้งวิธีทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ และ การใช้หลายวิธีร่วมกัน ซึ่งในแต่ละวิธีมีข้อดี ข้อด้อยที่ต่างกันไป (ตารางที่ 2.3) ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งสีย้อมทั่วไปในระดับอุตสาหกรรม จึงใช้การผสมผสานวิธีต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ตารางที่ 2.3 สรุปข้อดี ข้อจำกัด ของแต่ละวิธีกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง

วิธีการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง	รายละเอียดวิธีการกำจัด	ข้อดี	ข้อจำกัด	เอกสารอ้างอิง
วิธีทางชีวภาพ Biological treatment - Aerobic-anaerobic bacteria	Base on microbiological degradation	Environmental friendly	Slow process, nutrients limited	Lin and Peng (1996); Sandhya and Swaminathan (2006); Togo et al. (2008)
วิธีทางเคมี Chemical treatment				
- Fenton reaction	Oxidation using H_2O_2 -Fe(II)	Effective decolourisation of both soluble and insoluble dyes	Sludge generation and its handling	Hao et al. (2000); Ince and Tezacanli (2001); Robinson et. al. (2001)
- Ozonation	Oxidation using ozone gas	Application in gas state, no alteration of volume	Short half-life (20 min); high cost	Hao et al. (2000); Ince and Tezacanli (2001); Robinson et al. (2001); Gogate and Pandi (2004) Hao et al. (2000); Arsian and Balcioglu (2001); Meric et al. (2004)
- Photocatalytic degradation				
- Sonocatalytic	Destruction of chemical bond by producing free radical using ultrasound	No extra sludge production	Requires a lot of dissolved oxygen, high cost	Adewuyi (2001); Arsian-Alaton (2003)
- Coagulation/Flocculation	Addition of coagulants and flocculants	Economically feasible, excellent colour removal	Sludge production	Hao et al. (2000); Fu and Viraraghavan (2001); Aboulhassan et al. (2006);

วิธีการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง	รายละเอียดวิธีการกำจัด	ข้อดี	ข้อจำกัด	เอกสารอ้างอิง
				Gao et al. (2007); Ciabatti et al. (2010)
วิธีทางกายภาพ (Physical treatment)				
- Membrane filtration	Physical separation	Removal of all types of dye	Production of concentrated sludge, high cost	Marcucci et al. (2001); Barredo-Damas et al. (2006)
- Sorption process	Dye removal based on solid support	Excellent removal of wide variety of dyes	Regeneration difficulties, costly disposal of adsorbent	Hao et al. (2000); Fu and Viraraghavan (2001); Hai et al. (2007)

ปัจจัยเรื่องต้นทุนและระยะเวลาในการกำจัดหรือบำบัดน้ำเสียกลายเป็นเกณฑ์สำคัญในการตัดสินใจเลือกระบบในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงทั้งข้อดีและข้อจำกัดในแต่ละวิธีบำบัดน้ำทิ้งที่เลือกใช้ วิธีบำบัดที่น่าสนใจ เช่น การดูดซับ (sorption process) และ การใช้กลไกการรวมตะกอนและตกตะกอน (chemical coagulation and flocculation) ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมที่สูง สามารถตกตะกอนสีได้อย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการกำจัดด้วยแสงหรือโอโซน แม้จะมีปัญหาเรื่องการจัดตะกอนสลัดจ์ (sludge) เนื่องจากไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ และตะกอนสลัดจ์ที่เกิดมีทั้งโลหะหนักและสารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีคลอรีนในโมเลกุล (chlorinated organics) ที่มีความเป็นพิษและสลายตัวได้ยาก

การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต นอกจากจะแสดงถึงกระบวนการผลิตที่เกิดไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองวัตถุดิบตั้งต้น เกิดของเสียในปริมาณที่มากเกินไป และนำไปสู่การสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการผลิตแล้ว ยังส่งผลต่องบประมาณที่ต้องใช้ในการลงทุนของระบบการกำจัด และ/หรือ ลดปริมาณของเสีย เพื่อควบคุมมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสังคม ชุมชน อาจกล่าวได้ว่า ในอดีตจนถึงปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมมักให้ความสำคัญกับการควบคุมและกำจัดของเสียที่เกิดที่ปลายทาง (end of pipe) เป็นส่วนใหญ่ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่มีการหาวิธีในการดึงของเสียกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีการใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดการลดของเสีย (waste reduction technologies) ซึ่งวิธีการในการลดของเสีย สามารถทำได้หลายรูปแบบ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ไปจนถึงกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (reused/recycle) ซึ่งมีลำดับขั้นของการบริหารจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพ (hierarchy of waste management) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแบบการบริหารจัดการของเสียแบบดั้งเดิม (traditional waste hierarchy) และแบบใหม่ (new waste management)

ที่มา : http://www.terutalk.com/images/LA_Country-waste_management_paradigm-lg.jpg

เทคโนโลยีการกำจัดสีด้วยกลไกการรวมตะกอนและตกตะกอน (chemical coagulation and flocculation) สามารถใช้กำจัดสีย้อมได้หลายกลุ่มมากกว่าและสามารถจับและตกตะกอนสีได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่นิยมใช้ในระบบบำบัดสีย้อมในโรงงานย้อมสีสิ่งทอ และตะกอนสลัดจ์ที่เกิดสามารถควบคุมได้ด้วยการหาสภาวะที่เหมาะสม (ความเข้มข้นสารจับ/ตกตะกอน เวลา การปรับค่าพีเอช เป็นต้น) อย่างไรก็ตามการกำจัดตะกอนสลัดจ์โดยการฝังกลบทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการกำจัดในบริเวณกว้าง แนวทางการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ของตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจึงเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยสารที่เลือกใช้แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ชนิดสารที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งด้วยวิธี coagulation/flocculation

Coagulant/Flocculant	Type of dye	Optimum result (dry/color removal)	Reference
Alum (40 mg/L)	Disperse red dye	90%	Merzouk et al. (2011)
Alum (20 mg/L) with commercial cationic flocculant (Colfloc-RDeCiba)	Reactive and acid dyes	98%	Golob et al. (2005)
Chitosan (100 mg/L)	Anionic dye (Acid Blue 92)	~99%	Szygula et al. (2009)
Plantago psyllium mucilage (polysaccharide) (10 mg/L)	Golden yellow (C. I. Vat Yellow 4) dye	~71.4%	Mishra and Bajpai (2005)
	Reactive black (C. I. Reactive Black 5) dye	~35%	
Moringa oleifera (M. oleifera)	Azo dye (Chicago Sky Blue)	99%	Beltran-Heredia and Sánchez Martín (2008)

Coagulant/Flocculant	Type of dye	Optimum result (dry/color removal)	Reference
Moringa oleifera (M. oleifera)	Indigoid dye (Carmine Indigo)	40%	Beltran-Heredia et al. (2009)
A combination of alum and snail shell	Aniline blue (Acid Blue 93)	89.61%	Oladoja et al. (2011)
Lignin-based cationic polyelectrolyte (L-DAF)	Anionic azo-dyes (Acid Black, Reactive Red, Direct Red)	> 85%	Fang et al. (2010)
Ferrous sulphate (400 mg/L) with lime and cationic polymer	Reactive dye	90%	Georgiou et al. (2003)
Ferrous sulphate (200 mg/L) with polyelectrolyte	Sulfur dye	90%	Bidhendi et al. (2007)
Ferric chloride (400 mg/L)	Sulfur dye	100%	Bidhendi et al. (2007)
Ferric chloride (293 mg/L)	Reactive and disperse dyes	71%	Kim et al. (2004)
Dried ferric chloride sludge	Acid Red 119	96.43%	Moghaddam et al. (2010)
Ferric chloride with resins (Amerfloc 445) and anionic flocculant	Reactive dyes (C.I. Reactive Black 5, Procion Crimson H-EXL, Procion Navy H-EXL, Procion Yellow H-EXL, Procion Blue H-EXL)	> 75%	Riera-Torres et al. (2010)
Magnesium chloride (400 mg/L) with polyelectrolyte (Koaret PA 3230)	Reactive dyes	85%	Tan et al. (2000)
Magnesium chloride (800 mg/L) with hydrated lime	Reactive and disperse dyes	98%	Gao et al. (2007)
Polyaluminium chloride (PACl) (0.1 mg/L) with poly acrylamide-seed gum	Reactive, acid and direct dyes	80%	Sanghi et al. (2006)

2.2.2 ลิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง

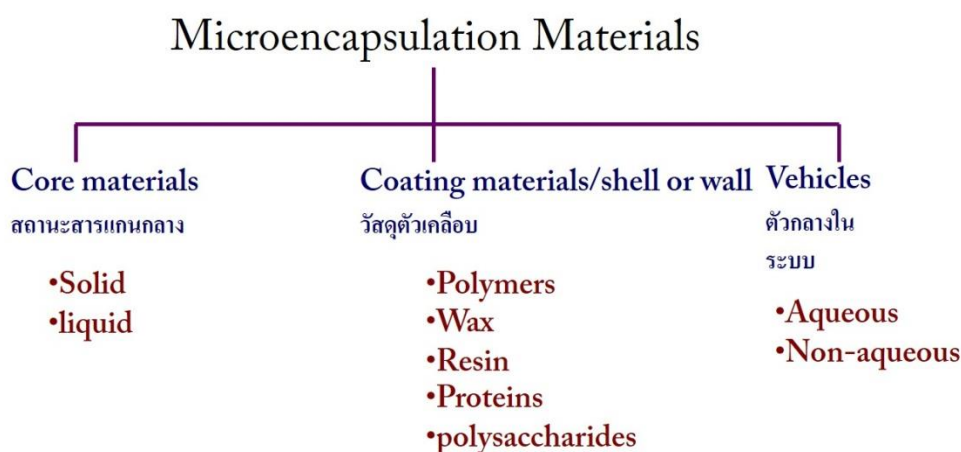
- ลิทธิบัตร US 4,045,171 (1977) กล่าวถึงการจัดสีย้อม ซึ่งได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสี direct สี acid และสี disperse โดยทำการตกตะกอนสีย้อมดังกล่าวด้วยสารประเภท halides หรือ sulfates ของโลหะในกลุ่ม IA หรือ IIA เช่น sodium chloride, potassium chloride, magnesium chloride โดยใช้ปริมาณในช่วง 200 – 340 กรัมต่อลิตร จากนั้นจึงแยกตะกอนออกด้วยวิธีการกรอง
- ลิทธิบัตร EP 0618176 B1 (1994) ได้กล่าวถึงกรรมวิธีการบำบัดสิ่งให้สี ซึ่งได้แก่ สีย้อม (dyes) และ/หรือ dye by-products ในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อม เพื่อให้มีค่าสีของน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์ที่

ยอมรับได้ โดยเมื่อเทียบกับน้ำก่อนบำบัดแล้วสามารถลดค่าสีลงได้ถึงร้อยละ 95 กรรมวิธีดังกล่าวทำโดยผ่านขั้นตอนคือ การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีความเป็นกรด แล้วทำการเติม cationic flocculants คือ polydiallyldimethyl ammonium chloride ซึ่งเป็นสารประเภท quarternary ammonium condensation polymer ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดการจับรวมตัวกันระหว่าง polymer กับ soluble organic dye แล้วตกตะกอนออกมา จากนั้นเติม reducing agent ซึ่งได้แก่ สารประเภท hydrosulfite, bisulfite, alkali metal borohydride ด้วยปริมาณที่ให้ค่า oxidation-reduction potential end point อย่างน้อย -200 จากปัญหาการใช้ reducing agent ประเภท sodium hydrosulfite, formamidine sulfinic acid และ sodium borohydride ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงย้อม พบว่ามีผลทำให้เกิดสารละลายคอลลอยด์ที่มีสีเหลืองซึ่งทำให้มีปัญหาต่อการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปใช้ซ้ำ อีกทั้งการใช้ aluminium salts เป็น coagulant ก็ยังมีข้อด้อยในเรื่องการตกตะกอนได้ช้าและมีตะกอนของแข็งที่ต้องกำจัดต่อไปเป็นปริมาณมาก

- **ดังนั้นในสิทธิบัตร US 5,750,035 (1998)** จึงได้นำเสนอกระบวนการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้ง โดยเริ่มจากการเติม reducing agent ซึ่งได้แก่ sodium hydrosulfite ที่ความเข้มข้น 50-100 ส่วนในล้านส่วนต่อความเข้มข้น 1000 ADMI แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 2-7 จากนั้นเติมสารผสมของ aluminium salts/cationic polymer จนกระทั่งมีค่า zeta potential อยู่ในช่วง ± 15 มิลลิโวลต์ ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 แล้วทำการตกตะกอนด้วย anionic polymer เช่น acrylic acid/acrylamide copolymer หรือ nonionic polymers เช่น polyacrylamide
- **สิทธิบัตร US 6,059,978 (2000)** กล่าวถึง การกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยเริ่มจากการใช้ cationic polymer ซึ่งได้แก่ dicyandiamide/formaldehyde polymers, epichlorohydrin/amine polymers และ dicyandiamide/amine polymers ในการสร้าง complex กับสีย้อม จากนั้นจึงเติม anionic sulfonated novolac polymer เพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนแยกออกมาจากน้ำทิ้ง
- **สิทธิบัตร WO 2010/133734 A1 (2010)** กล่าวถึงการประดิษฐ์โดยใช้ไคโตซานเป็น biocoagulant และ bioadsorbent ในการกำจัดสี azo dyes ซึ่งได้แก่ Acid Black 1, Reactive Black 5, Acid Violet 5 ออกจากน้ำทิ้ง โดยในขั้นตอน coagulation-flocculation นั้นสารละลายไคโตซานที่มีความเป็นกรดจะถูกใช้เป็น coagulant โดยต้องมีปริมาณเพียงพอสำหรับการสะเทินประจุลบบน azo dye จากนั้นจึงทำการกรอง และต่อด้วยการกำจัดสีด้วยกระบวนการ adsorption โดยเติมผงไคโตซานที่มีขนาดไม่เกิน 125 ไมครอน ทั้งนี้ปริมาณของไคโตซานและค่าความเป็นกรด-ด่างต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงจะเกิดการตกตะกอนได้ดีที่สุด

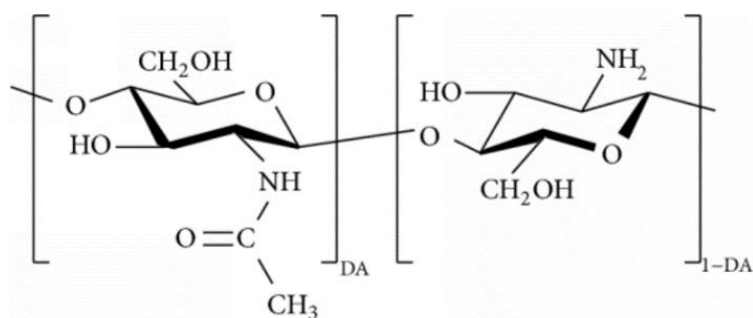
2.3 เทคนิคเอ็นแคปซูลชันกับการจับและนำอนุภาคนำกลับมาใช้ได้ใหม่

เทคนิคเอ็นแคปซูลชันเป็นกระบวนการในการห่อหุ้มบรรจุสารสำคัญโมเลกุลเล็กไว้ในโครงสร้างสารโมเลกุลใหญ่ ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อการกักเก็บ (entrapment) หรือ ปกป้อง (protection) หรือ การควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ (delivery system) โดยมีกลุ่มสารโมเลกุลใหญ่ที่นิยมใช้เป็นแคปซูล เช่น พอลิเมอร์ และพอลิแซคคาไรด์ และมีขั้นตอนหรือปฏิกิริยาในการทำเอ็นแคปซูลชันที่ต่างกันไป กระบวนการเตรียมขึ้นรูปไมโครแคปซูล สามารถทำได้ในหลายลักษณะขึ้นกับรูปแบบสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ในรูปของแข็ง (solid form) คอลลอยด์ (colloid) หรือ อนุภาคระดับนาโนเมตร (nanoparticle) และมีกระบวนการเตรียมที่ต่างกันไปหลายวิธี โดยหลักการบรรจุจะประกอบด้วยการขึ้นรูปผสมระหว่างวัสดุที่ใช้เป็นแคปซูลห่อหุ้ม (capsule shell) และวัสดุแกนกลาง (core materials) เข้าด้วยกัน และมีเทคนิคการเตรียมให้เกิดลักษณะที่เป็นไมโครอนุภาค (microparticles) หรือไมโครสเฟียร์ (microsphere) ทั้งในรูปที่เป็นเมทริกซ์ (matrix) คือมีสารแกนกลางแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างไมโครแคปซูล หรือถูกห่อหุ้มไว้ด้วยภายในผนังแคปซูล (capsule wall) ทั้งนี้วัสดุที่ใช้ใน microencapsulation แสดงดังแผนภูมิข้างล่างนี้



ด้วยเทคนิคเอ็นแคปซูลชันระดับอนุภาคนาโนและการเลือกใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติในการจับและบรรจุโมเลกุลสีย้อมอินทรีย์ไว้ในโครงสร้างนาโนแคปซูลพอลิเมอร์ในระหว่างการขึ้นรูปอนุภาคนาโนด้วยวิธีตกตะกอน (coagulation and precipitation) จะทำให้แยกสีย้อมที่ตกค้างในน้ำเสียออกมาได้ โดยสารพอลิแซคคาไรด์ที่มีสมบัติในการจับและตกตะกอนสารอินทรีย์และสารประกอบที่เป็นเกลือโลหะได้อย่างดีเยี่ยมชนิดหนึ่ง คือ ไคโตซาน (Chitosan หรือ *poly[-(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose]*) ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของไคติน พบเป็นส่วนประกอบหลักในโครงสร้างเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนปลาหมึก นอกจากนี้ยังพบได้ในโครงสร้างเปลือกของแมลงปีกแข็งทั่วไป และในจุลินทรีย์บางชนิด โดยโครงสร้างทางเคมีของไคโตซานประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญคือหมู่เอมีน (amine group, NH_2) ที่แสดงได้จากระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of

Deacetylation, DD) ซึ่งการมีหมู่เอมีนอยู่บนโครงสร้างส่งผลให้ไคโตซานจัดอยู่ในประเภทพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (cationic polymer) มีงานวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงสมบัติเชิงเคมีของไคโตซาน เช่น น้ำหนักโมเลกุล สมบัติการละลาย (Park, Marsh, & Rhim, 2002) สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Cárdenas, Anaya, von Plessing, Rojas, & Sepúlveda, 2008) สมบัติในการจับและตกตะกอน (Aranaz et al., 2009) และโครงสร้างผลึก (Jaworska, Sakurai, Gaudon, & Guibal, 2003) มีงานวิจัยที่กล่าวถึงว่า โครงสร้างผลึกของไคโตซานส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ (Piron, Accominotti, & Domard, 1997) เช่นเดียวกับหมู่เอมีน (Guibal, 2004) ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ สารละลายต่าง และสารตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่จะละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์อ่อน เนื่องจากถูกโปรตอนเตของหมู่เอมีน (Aranaz et al., 2009; Hamdine, Heuzey, & Bégin, 2005) ด้วยสมบัติดังกล่าวข้างต้น ไคโตซานจึงมีความสามารถในการดูดซับทั้งสารอินทรีย์และโลหะหนักได้ดี ยังมี DD ที่สูง ไคโตซานจะสามารถดูดซับสีได้มากขึ้น (Piccin, Vieira, Gonc, alves, Dotto, & Pinto, 2009) รวมไปถึงสมบัติการเป็นสารคีเลต (chelating agent) ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนโลหะหนักได้ดี ไคโตซานจึงถูกนำมาใช้ในการจับและตกตะกอนน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และโลหะหนักได้อย่างดี



รูปที่ 2.4 เคมีโครงสร้างของไคโตซาน

แนวคิดในการนำไคโตซานมาใช้ในการจับและตกตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีที่มีประสิทธิภาพ โดยการบรรจุสีย้อมในน้ำเสียไว้ในอนุภาคนาโนไคโตซาน ในระหว่างการขึ้นรูปอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิต ร่วมกับการเชื่อมขวางให้อนุภาคนาโนมีความเสถียรด้วยการใช้สารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) ในตระกูลฟอสเฟต จากนั้นทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ (น้ำใส และรวดเร็ว) ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสเพื่อให้การบรรจุสีย้อมในโครงสร้างเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยการเติมอนุภาคอนินทรีย์ (inorganic particle) ขนาดเล็กลงไปรวมด้วย หลังการทำปฏิกิริยาอนุภาคนาโนคอมพอสิตไคโตซานที่บรรจุสีย้อม สามารถนำสีกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยสีอินทรีย์ที่ได้มีความเสถียรและคงตัว เหมาะแก่การนำกลับมาใช้เป็นสีได้

มีการประยุกต์ใช้ไคโตซานในการกำจัดสีย้อม และสารประกอบอินทรีย์บางชนิด ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

- Zubieta และคณะ (2008) ได้ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมา ผสมกับไคโตซานที่ละลายในกรดอะซิติก แล้วทำให้แห้ง และทำการศึกษการย่อยสลายของสีย้อมสองตัวคือ Methylene Blue (MB) and Benzopurpurin (BP) พบว่าสามารถทำลาย MB ได้ถึงร้อยละ 91 ส่วนการทำลาย BP มีประสิทธิภาพน้อยกว่า
- Zainal และคณะ (2009) ได้เตรียม $\text{TiO}_2/\text{Chitosan}$ บนแผ่นแก้ว เพื่อเป็นโฟโตแคแทลิสต์ (photocatalyst) ในกระบวนการโฟโตเดเกรเดชัน (photodegradation) และดูดซับ methyl orange (MO) ซึ่งเป็น monoazo dye ตัวหนึ่ง พบว่าสามารถกำจัด MO ได้ร้อยละ 87.0 ซึ่งจัดได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในสิ่งแวดล้อมหรือในโรงงานอุตสาหกรรมได้
- Kaloti และ Bohidar (2010) เตรียมอนุภาคนาโนไคโตซาน โดยใช้ TPP เป็นสารเชื่อมขวาง ด้วยเทคนิค coacervation ได้อนุภาคนาโนไคโตซานมีขนาดในช่วง 150-300 นาโนเมตร และศึกษาผลของความเข้มข้นไคโตซาน และสัดส่วนระหว่างไคโตซานต่อ TPP ต่อขนาดและความคงตัวของอนุภาคนาโนไคโตซาน โดยพบว่า ความเข้มข้นไคโตซานที่เพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคนาโนมีขนาดใหญ่ขึ้น อนุภาคนาโนไคโตซานที่เตรียมได้ ทำไปใช้ในการบรรจุโปรตีนเพื่อใช้เป็นสารยับยั้งยา cycloheximide ที่มีความเป็นพิษ ต่อระบบสืบพันธุ์และระบบทางเดินหายใจในร่างกาย
- Liu และคณะ (2010) เตรียมแผ่นเมมเบรน chitosan/activated carbon fiber/ TiO_2 เพื่อใช้ในการกำจัด 2,4-dichlorophenol (2,4-DCP) ออกจากน้ำเสีย ซึ่งสามารถทำงานได้ดีในช่วงความเข้มข้นของ 2,4-dichlorophenol (2,4-DCP) เท่ากับ 1–50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 6 ครั้ง โดยที่ประสิทธิภาพการทำงานลดลงไม่ถึงร้อยละ 10
- Ignat และคณะ (2012) ได้รายงานผลการวิจัยการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสีย้อมแอททิฟ Reactive Red 3 (RR-3) และ สีย้อมรีแอคทีฟ Direct Brown 95 ของไคโตซาน ว่าเป็นผลมาจากโครงสร้างเคมีของไคโตซาน ระยะเวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยนำไคโตซานมาบดเป็นผงขนาดอนุภาค 0.1-0.15 มิลลิเมตร ใช้การทดลองแบบแบทช์ (batch) พบว่าค่าการดูดซับสูงสุดสำหรับ สีย้อม RR-3 1 และ DB-95 เป็น 151.52 และ 41.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 20 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นแสดงว่าที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้ความสามารถในการดูดซับของไคโตซานลดลง
- Hadi (2013) ได้ใช้ไคโตซานในรูปผงในการกำจัดเมทิลออเรนจ์ (methyl orange, MO) จากน้ำเสียการย้อมสีสิ่งทอ พบว่า ความสามารถในการดูดซับเมทิลออเรนจ์ขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน พื้นที่ผิว (surface area) ปริมาตรรูพรุน (pore volume) ระยะเวลาการดูดซับ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และสัดส่วนสารดูดซับต่อความเข้มข้นสี พบว่า ค่าการกำจัด MO ที่สูงสุด เป็นร้อยละ 80.6 ที่สภาวะความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาดูดซับ 140 นาที ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2

- Tritum และคณะ (2012) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด Ni(II) และ Cd(II) ไอออน ด้วย ปิตไคโตซานผสมอนุภาคเคลย์ (chitosan-clay composite beads) ซึ่งเตรียมปิตผสมไคโตซานและเคลย์โดยมีอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin, ECH) เป็นสารเชื่อมขวาง ในการจำลองสภาวะในการกำจัดโลหะหนักปนเปื้อนในสารละลาย พบว่า ปิตไคโตซานผสมอนุภาคเคลย์ขนาดใหญ่ (500-750 ไมโครเมตร) สามารถดูดซับไอออน Ni(II) และ Cd(II) ได้สูงสุดที่ค่า 32.36 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 72.31 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การนำกลับมาใช้ใหม่ของปิตผสมทำได้โดยการแช่ในสารละลาย 0.1 M HNO₃, หรือ 0.01 M EDTA
- Marija และคณะ (2016) เตรียม ไคโตซาน/พอลิเมทิลอะคริเลต/ไททาเนียมไดออกไซด์ (ch/PMA/TiO₂) และขึ้นรูปเป็นอนุภาคขนาดเล็กระดับไมโครเมตรในการดูดซับสีย้อมงานสิ่งทอ กลุ่มสีสังเคราะห์ตระกูลสีแอซิด พบว่าในสภาวะสารละลายกรดอนุภาคผสม ch/PMA/TiO₂ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกลไกการย่อยสลายด้วยแสงได้ดีกว่าในสภาวะต่าง และสามารถนำอนุภาคผสมกลับมาใช้ใหม่ได้โดยที่ประสิทธิภาพไม่ลดลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในโครงการนี้เกี่ยวข้องกับการสำรวจสถานภาพการใช้สีย้อมในวิสาหกิจชุมชน และการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องับประสิทธิภาพในการตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติ

ขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย

- 3.1 การสำรวจสถานภาพการใช้สีย้อมในวิสาหกิจชุมชน
- 3.2 การเตรียมโคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรต่าง ๆ โดยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของโคโตซานและอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต, NCC
- 3.3 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนและแยกสีจากสารละลายสีย้อมธรรมชาติด้วยโคโตซานนาโนคอมพอสิต
- 3.4 การตรวจสอบและวิเคราะห์โคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ ตลอดจนตะกอนสีย้อมที่ได้จากการบำบัดน้ำทิ้ง โดยการวิเคราะห์ทางกายภาพ (SEM) และการวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปี (UV และ FTIR)
- 3.5 การพัฒนานำสารโคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ นำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียในระบบจริง
- 3.6 การจัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ด้านความปลอดภัยในการใช้สีย้อมผ้า และ จัดกิจกรรมการอบรม/สัมมนา ให้แก่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้า

3.1 การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย

การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยได้เลือกพื้นที่โดยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงในกลุ่มที่สนใจ ทั้งในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีการทอผ้าฝ้ายและผ้าไหมเป็นจำนวนมาก โดยเกณฑ์ในการเลือกคือ

- 1) กลุ่มเส้นใยธรรมชาติ ฝ้ายหรือไหม
- 2) มีการใช้สีย้อมทั้งเคมีและธรรมชาติ
- 3) มีกระบวนการผลิตมากกว่า 1 ขั้นตอน เช่น จัดหาวัตถุดิบ การออกแบบลวดลาย การย้อมสี การทอ การแปรรูป

- 4) มีการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งที่มีที่ มผช. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน) และ/หรือ ได้รับการคิดสรรเป็น “ผลิตภัณฑ์โอท็อป”
- 5) มีการบริหารจัดการกลุ่มอย่างมีระบบ
- 6) มีการบำบัดน้ำเสียเสีย

แหล่งข้อมูลตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ คือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมือง และ/หรือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าไทยในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ และสุรินทร์ และภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน ดังมีรายนามกลุ่มตัวอย่าง ที่ตั้งและ ประเภทกิจการในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายชื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในการศึกษาข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมและประเภทกิจการ

ลำดับ	ชื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชน/ โรงงาน	ที่ตั้ง	ประเภทกิจการ/ผลิตภัณฑ์
1.	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้า ฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ	บ้านโพนเพ็ก อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น	ย้อมเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีธรรมชาติและเคมี ทอ ผ้า จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้า คลุมไหล่)
2.	กลุ่มทอผ้าไหมมัดหมี่บ้าน หัวฝาย	ตำบลโปแตง อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น	ย้อมเส้นด้ายไหม ด้วยสีธรรมชาติและเคมี ทอ ผ้า จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้า คลุมไหล่ กระเป๋า ของที่ระลึก)
3.	หัตถกรรมทอผ้าย้อมสี ธรรมชาติ	ตำบลชีเหล็ก อำเภอปทุมรัตน์ จังหวัดร้อยเอ็ด	ย้อมเส้นด้ายไหม และฝ้าย ด้วยสีธรรมชาติ ทอผ้า จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้าคลุมไหล่)
4.	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าไหม แพรวา	ตำบลโพน อำเภอกำแพง จังหวัดกาฬสินธุ์	ย้อมเส้นด้ายไหม และฝ้าย ด้วยสีธรรมชาติ ทอผ้า จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้าคลุมไหล่)
5.	กลุ่มทอผ้าไหมทองบ้าน กระหม	ตำบลนาบัว อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์	ย้อมเส้นด้ายไหม ด้วยสีเคมี ทอผ้า จำหน่าย ผลิตภัณฑ์ (ผ้านุ่ง ผ้าผืน ผ้าคลุมไหล่ กระเป๋า ผลิตภัณฑ์จากไหม)
6.	กลุ่มทอผ้าไหมบ้านด่าน เจริญ	ตำบลกระเทียม อำเภอสังขะ จังหวัดสุรินทร์	ทอผ้า จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้าคลุมไหล่)

ลำดับ	ชื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชน/ โรงงาน	ที่ตั้ง	ประเภทกิจการ/ผลิตภัณฑ์
7.	นิคมสร้างตนเองเลียงไหม ในพระบรมราชานุเคราะห์	อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์	สาวไหม กรอไหม ขึ้นตะกรอ ย้อมเส้นไหม ด้วยสีเคมี
8.	โรงย้อมสี ดอยตุง มูลนิธิ แม่ฟ้าหลวง ในพระบรมรา ชูปถัมภ์	อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัด เชียงราย	ย้อมเส้นด้ายไหม และฝ้าย ด้วยสีธรรมชาติ ทอผ้า จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้าสำเร็จรูป ผ้าคลุมไหล่ ของที่ระลึก)
9.	กลุ่มทอผ้าพื้นเมืองย้อมสี ธรรมชาติ	ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย	ทอผ้า ตัดเย็บ จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้าสำเร็จรูป ผ้าคลุมไหล่)
10.	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสุกัญญา ผ้าฝ้าย	อำเภอสันป่าตอง จังหวัด เชียงใหม่	ย้อมผ้าฝ้าย ด้วยสีธรรมชาติ ตัดเย็บ จำหน่าย ผลิตภัณฑ์ (ผ้าพันคอ ผ้าผืน ผ้าสำเร็จรูป ผ้า คลุมไหล่ ผ้าขาวม้า ของที่ระลึก)

วิธีจัดเก็บข้อมูล โดยการลงพื้นที่ ทำการสัมภาษณ์ สันทนากับผู้นำกลุ่มและสมาชิก จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการวิเคราะห์จากสภาพการดำเนินงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ตลอดจนศักยภาพการบริหารจัดการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมืองและมีการย้อมสี ที่เป็นเป้าหมายของคณะผู้วิจัยจะเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีผลิตภัณฑ์ผ่านการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตในชุมชน โดยได้ทำการสืบค้นจากฐานข้อมูลไทยตำบลและการสอบถามผู้ประกอบการ ได้กลุ่มเป้าหมายวิสาหกิจชุมชนจำนวน 10 แห่ง และทำการสรุปข้อมูลทั้งส่วนที่เป็นข้อมูลทั่วไปและข้อมูลเชิงเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การออกแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสถานภาพวิสาหกิจชุมชน

ข้อมูลทั่วไปของวิสาหกิจชุมชน	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ
- ที่มาของกลุ่ม - สมาชิกและชุมชน - ประเภทผลิตภัณฑ์	- วัตถุดิบ(เส้นใยฝ้าย ไหม หรือ อื่นๆ) - น้ำในกระบวนการผลิต - สีย้อมและสารเคมีที่เกี่ยวข้อง

- การบริหารจัดการสินค้า - การจัดการความรู้และข้อมูล - มาตรฐานผลิตภัณฑ์/รางวัลที่ได้รับ	- ความรู้พื้นฐานด้านการใช้สีย้อม - น้ำทิ้งและระบบบำบัด
ความต้องการ/ความคาดหวังความช่วยเหลือจากภาครัฐ	
ข้อเสนอแนะอื่นๆ	

3.2 การทดลองเพื่อหาสภาวะในการตกตะกอนสีย้อมด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอลิเมอร์ในระดับห้องปฏิบัติการ

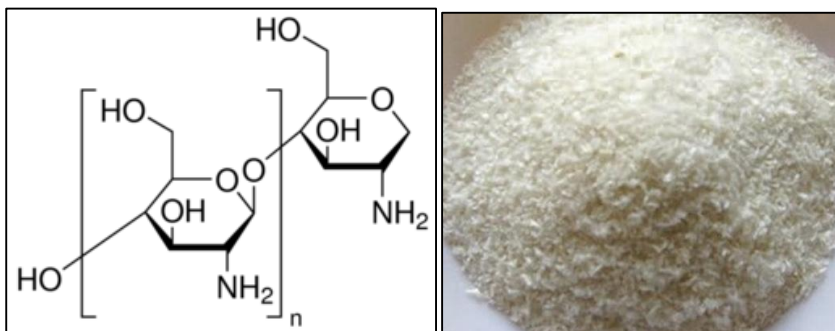
3.2.1 การเตรียมอนุภาคไคโตซานนาโนคอมพอลิเมอร์ต่างๆ

3.2.1.1 การศึกษาสมบัติการจับสีย้อมของไคโตซานและอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต

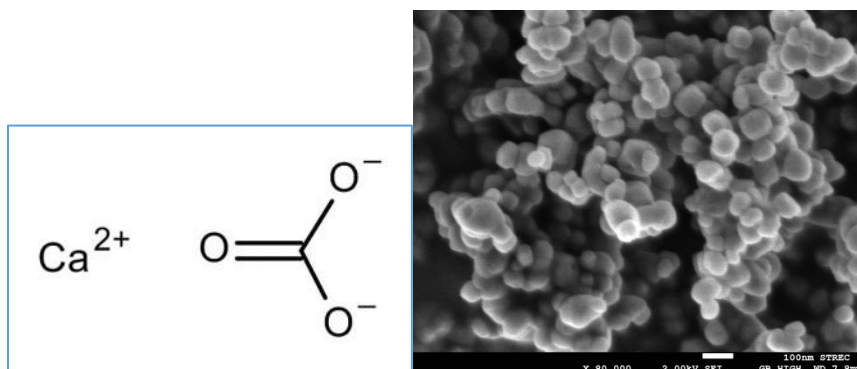
ไคโตซานที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้จากเปลือกกุ้งเป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ผลิตในประเทศไทย (บริษัท พรพล อินสตรูเมนต์ จำกัด ประเทศไทย) มีข้อมูลจำเพาะผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติเฉพาะของไคโตซานที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	ค่าที่ได้	เทคนิคที่ใช้
Source of raw material	Shrimp shell	
Molecular weight, KD	250	GPC
Degree of deacetylation	80-85%	UV spectroscopy
Average Particle Size (mm)	0.5-1	Particle analysis
Appearance	Light yellow	
Density (g/ml)	0.32	
pH	3-6	
Moisture Content (w%)	<0.5	
Viscosity	200-300 cP	1 wt. % in 1% acetic acid (25 °C, Brookfield)(lit.)
Solubility	dilute aqueous acid: soluble	
Ash content(%)	<1	
Heavy metal(ppm)	<20	



รูปที่ 3.1 โครงสร้างทางเคมี (ซ้าย) และลักษณะผงไคโตซาน (ขวา)



รูปที่ 3.2 โครงสร้างทางเคมี (ซ้าย) และ SEM micrograph (ขวา) ของนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (NCC)

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาบทบาทและกลไกการทำงานของไคโตซานและนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (NCC) ในการตกตะกอนสีย้อม โดยได้เลือกน้ำทิ้งที่มีสีแดงจากกระบวนการย้อมด้วยครั่งเป็นสีต้นแบบ โดยเตรียมน้ำทิ้งสีย้อม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และทำการเติมสารละลายร้อยละ 0.5 ไคโตซานและ/หรือสารละลายร้อยละ 1 NCC ลงไปในน้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 100 ppm โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ระบบ ดังนี้

- 1) ไคโตซาน
- 2) NCC
- 3) ไคโตซาน ตามด้วย NCC
- 4) NCC ตามด้วย ไคโตซาน

3.2.2 การเตรียมไคโตซานนาโนคอมพอสิต

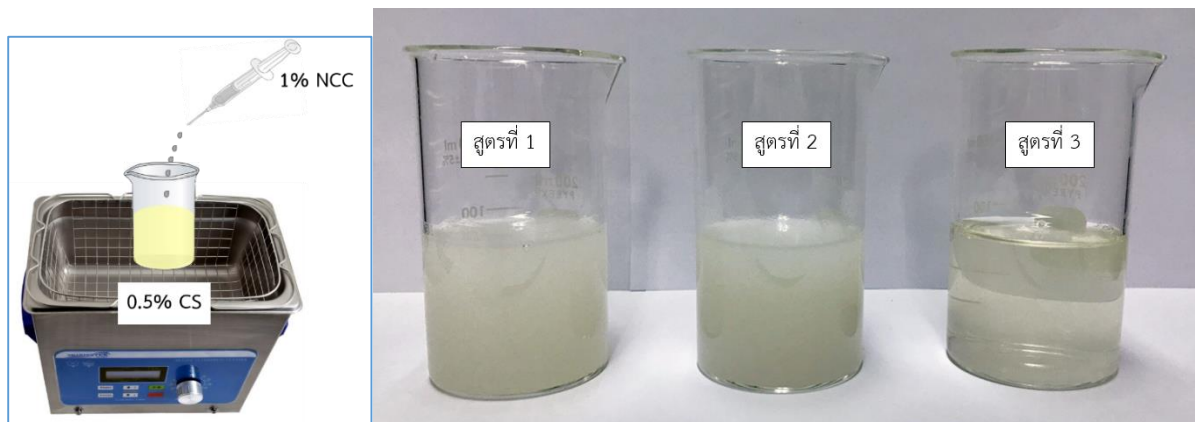
ในการศึกษาบทบาทและหน้าที่ของไคโตซานและ อนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต(NCC) ต่อสมบัติการตกตะกอนสีย้อม ผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของไคโตซานและ NCC ต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของนาโนคอมพอสิตที่ทำการศึกษา

โคโตซานนาโนคอมพอสิต	โคโตซาน (ppm)	NCC (ppm)
สูตรที่ 1	50	50
สูตรที่ 2	50	100
สูตรที่ 3	100	50

หมายเหตุ สารที่ใช้ในการเตรียมคือ 0.5%w/v โคโตซาน ใน 1%v/v กรดอะซิติก และ 1%w/v NCC

โดยในการเตรียมโคโตซานนาโนคอมพอสิตดังกล่าวมีการใช้เครื่องอัลตราโซนิกในการผสม (รูปที่ 3.3ก) เพื่อป้องกันการรวมกลุ่มอนุภาค (agglomeration) ขนาดนาโนของ NCC ในขณะที่รวมกับโคโตซานกลายเป็นนาโนคอมพอสิต ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ผิวจำเพาะของ NCC ได้



(ก) การเตรียมโคโตซานนาโนคอมพอสิต	(ข) ลักษณะสารละลายที่มีอนุภาคโคโตซานนาโนคอมพอสิต สูตรที่ 1, สูตรที่ 2, และสูตรที่ 3
----------------------------------	---

รูปที่ 3.3 การเตรียมโคโตซานนาโนคอมพอสิต (ก) และลักษณะสารละลายที่มีอนุภาคโคโตซานนาโนคอมพอสิต สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 (ข)

3.2.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนโคโตซานคอมพอสิต สีย้อม ตะกอนสีย้อมหลังการตกตะกอน และน้ำสีย้อมก่อนและหลังการตกตะกอน

ในการตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนโคโตซานคอมพอสิต สีย้อม ตะกอนสีย้อมหลังการตกตะกอน และน้ำสีย้อมก่อนและหลังการตกตะกอนตะกอน ได้ใช้วิธีในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สมบัติกายภาพ สมบัติเคมีโครงสร้าง และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

สมบัติที่ตรวจสอบ	เทคนิคที่ใช้
สมบัติกายภาพ	
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content)	โดยการวิเคราะห์สารแขวนลอย
ค่าความเป็นกรด ต่าง	pH meter
ลักษณะที่พื้นผิวสาร	SEM
สมบัติเคมีโครงสร้าง	
โครงสร้างเคมีและรูปแบบการทำปฏิกิริยาระหว่างกัน	FTIR
ค่าร้อยละการบรรจุสีในอนุภาคนาโนโคโตซาน	UV spectrophotometer

3.3 ผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติหลังการย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย

ในการทดลอง ได้นำโคโตซานนาโนคอมพอสิตมาใช้ในการจับและตกตะกอนแยกอนุภาคสีจากน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติ โดยน้ำทิ้งดังกล่าวได้มาจากการเตรียมสีย้อมและผ่านกระบวนการย้อมดังนี้ (ข้อมูลเบื้องต้นจากโรงย้อมสีเส้นด้าย โครงการพัฒนาดอยตุงฯ)

- 1) การเตรียมสีย้อม ทำได้โดย นำวัตถุดิบให้สีย้อมธรรมชาติผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:10 หรือวัตถุดิบให้สี 100 กรัม (ครั้ง ผาง สัก และ เพกา) เติมน้ำกรอง RO (reverse osmosis water) 1 ลิตร แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที รอจนเย็น แล้วจึงนำไปกรองให้เหลือแต่สารละลาย
- 2) การย้อมเส้นด้ายฝ้าย โดยการย้อมเส้นด้าย 1 กิโลกรัม จะใช้น้ำสีย้อมปริมาตร 30 ลิตร และเติมสารส้ม ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ประมาณ 50 กรัม ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

โดยในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติที่มีการใช้งานจริงในโรงงานย้อมสีสิ่งทอโครงการพัฒนาดอยตุง จำนวน 4 ชนิดประกอบด้วย 1) สีแดงจากครั้ง 2) สีแดงจากแก่นฝาง 3) สีแดงจากใบสัก และ 4) สีเขียวอมเหลืองจากเปลือกเพกา โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนสีย้อมประกอบด้วย

- สูตรผสมสารโคโตซานนาโนคอมพอสิต
- ผลค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำสีย้อม

- ปริมาณสารโคโตนานาโนคอมพอสิต

3.4 การตรวจสอบและวิเคราะห์โคโตนานาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ ตลอดจนตะกอนสีย้อมที่ได้จากการบำบัดน้ำทิ้ง โดยการวิเคราะห์ทางกายภาพ (SEM) และการวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปี (UV และ FTIR)

ตะกอนสีย้อมหลังการตกตะกอน นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโคปี

- 1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) HITACHI SU3500 series ตัวอย่างตะกอนที่บดละเอียด ถูกนำมาเตรียมบนวัสดุเตรียมวางชิ้นงานและเคลือบผิวหน้าตัวอย่างให้หน้าไฟฟ้า ก่อนนำมาวิเคราะห์
- 2) เครื่อง FT-IR spectrometer ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Nicolet iZ10 โดยใช้โหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของตะกอน
- 3) เครื่อง UV spectrometer ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 8453 ที่ความยาวคลื่น ช่วง 530-550 nm

3.5 การพัฒนานำสารโคโตนานาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ นำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียในระบบจริง

สูตรสารตกตะกอนโคโตนานาโนคอมพอสิตที่พัฒนาได้ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้นำไปทดสอบการใช้งานจริงกับน้ำเสียตัวอย่าง ณ จุดที่เป็นระบบบำบัดน้ำจากโรงย้อมสี ในพื้นที่โครงการดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) ในพระราชดำริ อำเภอดอยตุง จังหวัดเชียงราย โดยการออกแบบอุปกรณ์ในการตกตะกอนอย่างง่าย ขนาด 50 ลิตร และนำน้ำทิ้งจาก 2 จุด คือ จุดพักน้ำทิ้งจากโรงย้อมก่อนเข้าระบบบำบัด และจุดบ่อกักน้ำสุดท้ายหลังผ่านระบบบำบัดของโครงการดอยตุง มาทำการตรวจสอบและทดสอบการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนโคโตนานาโนคอมพอสิตที่เลือก จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการตกตะกอน ตามมาตรฐานการทดสอบน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมกลุ่มฟอกย้อม

3.6 การจัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ด้านความปลอดภัยในการใช้สีย้อมผ้า และจัดกิจกรรมการอบรมให้แก่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าฝ้าย

คณะผู้วิจัยได้จัดทำเอกสาร “ย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” ซึ่งเรียบเรียงขึ้นจากการรวบรวมข้อมูลเอกสารวิชาการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยฝ้ายและไหม สีและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกย้อม กระบวนการย้อม อันตรายของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการย้อม วิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อม ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยด้านสารเคมีและวิธีปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการย้อมสี เอกสารดังกล่าวได้จัดพิมพ์ขึ้นในรูปแบบขนาด A5 ความยาว 48 หน้า จำนวน 100 เล่ม

โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้เผยแพร่ไปสู่วิสาหกิจชุมชนผู้ประกอบการย้อมสีสิ่งทอ เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สีย้อมในการย้อมเส้นใยธรรมชาติ รวมทั้งสร้างความตระหนักถึงอันตรายจากสารเคมีในกระบวนการย้อมและแนวทางการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยต่อตนเองและสิ่งแวดล้อม

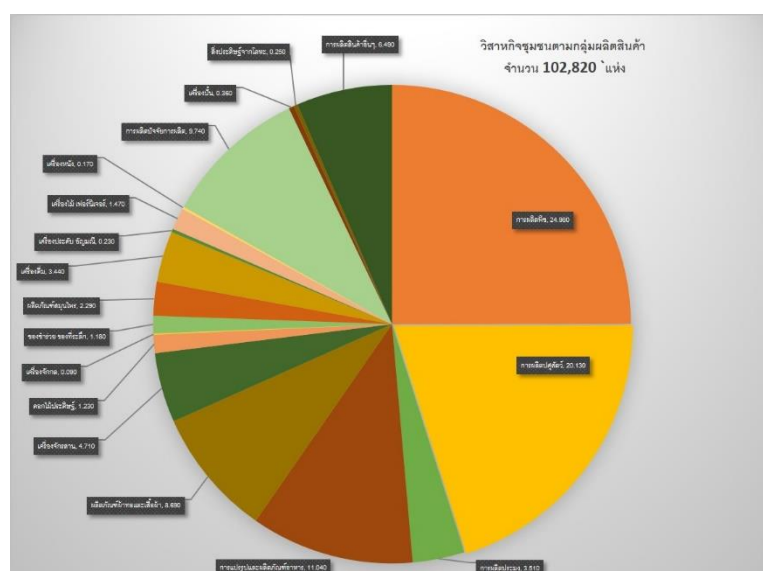
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย

จากการสืบค้นข้อมูลทั่วไปของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอและเสื้อผ้า จากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศของวิสาหกิจชุมชน กองส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน กรมส่งเสริมการเกษตร พบว่ามีจำนวน 8,940 แห่ง จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนประเภทต่าง ๆ จำนวน 102,820 แห่ง ทั่วประเทศ

ในจำนวนนี้เป็นกลุ่มผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายจำนวน 1,364 แห่ง และกลุ่มผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ผ้าไหม 2,494 แห่ง และเป็นผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมืองและย้อมสี จำนวน 733 แห่ง



รูปที่ 4.1 แสดงจำนวนร้อยละของประเภทผลิตภัณฑ์และบริการที่มีการขึ้นทะเบียนเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนทั่วประเทศ (ข้อมูลจาก <http://smce.doae.go.th>)

ทั้งนี้ในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าทอพื้นเมืองและมีการย้อมสี ที่เป็นเป้าหมายของคณะผู้วิจัยจะเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ผ่านการรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตในชุมชน และ/หรือ ผลิตภัณฑ์โอท็อประดับ 3 ดาวขึ้นไป และใช้ฐานข้อมูลจากฐานข้อมูลของไทยตำบลประกอบการพิจารณา ทำให้ได้กลุ่มเป้าหมายวิสาหกิจ

ชุมชนจำนวน 10 แห่ง และทำการสรุปข้อมูลทั้งส่วนที่เป็นข้อมูลทั่วไปของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและข้อมูลเชิงเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปการออกแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสถานภาพวิสาหกิจชุมชน

ข้อมูลทั่วไปของวิสาหกิจชุมชน	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ
- ที่มาของกลุ่ม - สมาชิกและชุมชน - ประเภทผลิตภัณฑ์ - การบริหารจัดการสินค้า - การจัดการความรู้และข้อมูล - มาตรฐานผลิตภัณฑ์/รางวัลที่ได้รับ	- วัตถุดิบ(เส้นใยฝ้าย ไหม หรือ อื่นๆ) - น้ำในกระบวนการผลิต - สีย้อมและสารเคมีที่เกี่ยวข้อง - ความรู้พื้นฐานด้านการใช้สีย้อม - น้ำทิ้งและระบบบำบัด
ความต้องการ/ความคาดหวังความช่วยเหลือจากภาครัฐ	
ข้อเสนอแนะอื่นๆ	

นอกจากนี้ได้ทำการสรุปข้อมูลของแต่ละกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ได้สำรวจสถานภาพการใช้สีย้อมและการบำบัดน้ำทิ้งสีย้อม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนทอผ้าและย้อมสีธรรมชาติ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 7 กลุ่ม

1. วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ บ้านโพนเพ็ก อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น

1.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	คุณวิไลวรรณ โนนมี
จำนวนสมาชิก	55 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าผืน
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการพัฒนา	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

1.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ฝ้าย ไหม
วัสดุให้สี	- เปลือกมะม่วง เปลือกต้นประดู่ ใบหม่อน ครั่ง คราม และโคลน
มอร์แดนต์	สนิมเหล็ก น้ำต้มใบมะขาม สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำฝนและน้ำบาดาล
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการย้อม	30- 50 ลิตรต่อครั้ง หรือประมาณ 100 ลิตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้ - น้ำทิ้งสีเคมี ทำการกรองผ่านชุดกรองบำบัดแบบกายภาพ สนับสนุนโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่กลุ่ม วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ บ้านโพนเพ็ก อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น



เยี่ยมชมผลิตภัณฑ์และสัมภาษณ์ผู้ประกอบการในกิจกรรมออกงานการประชุมเชิงปฏิบัติการการตรวจติดตามผลการดำเนินงานของหน่วยรับตรวจ รายไตรมาส ครั้งที่ 1/2561 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (เขตตรวจราชการที่ 11,12,13 และ14) ณ โรงแรมเจริญธานี จังหวัดขอนแก่น 15-16 มกราคม 2561

2. กลุ่มทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านหัวฝาย ตำบลโปแตง อำเภอนบพ จังหวัดขอนแก่น

2.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	นางสุภาณี ภูแล่นกี
จำนวนสมาชิก	มากกว่า 90 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้ามัดหมี่ลายฟองน้ำหัวฝาย ผ้าไหมแต้มหมี่
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

1.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ไหม
วัสดุให้สี	- ผาง ครั่ง เปลือกมะตูม เปลือกเพกา โคลน ดอกดาวเรือง - สีเคมี
มอร์แดนท์	สนิมเหล็ก น้ำต้มใบมะขาม สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำฝนและน้ำบาดาล
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	30- 50 ลิตรต่อครั้ง หรือประมาณ 100 ลิตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้ - น้ำทิ้งสีเคมี ทำการกรองผ่านชุดกรองบำบัดแบบกายภาพ สนับสนุนโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่ กลุ่มทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านหัวฝาย ตำบลปอแดง อำเภอนบพ จังหวัด
ขอนแก่น



ผ้าไหมมัดหมี่ เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของผลิตภัณฑ์ผ้าไหมของกลุ่ม

3. กลุ่มหัตถกรรมหัตถกรรมทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ ตำบลขี้เหล็ก อำเภอบุพมรัตน์ จังหวัดร้อยเอ็ด

3.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	นางบัวลา มัทธะปา
จำนวนสมาชิก	40 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าสไบขิดไหมลายโบราณ
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการพัฒนา	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

1.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ไหม
วัสดุให้สี	- ฝาง ครั่ง เปลือกมะตูม เปลือกเพกา โคลน - สีเคมี
มอร์แดนท์	สนิมเหล็ก น้ำต้มใบมะขาม สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำฝนและน้ำบาดาล
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการย้อม	น้อยกว่า 50 ลิตรต่อครั้ง ย้อมเดือนละ 1 ครั้ง
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่กลุ่ม หัตถกรรมทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ ตำบลชีเหล็ก อำเภอบุพผรัตน์ จังหวัดร้อยเอ็ด



รูปแบบการทอผ้าไหมแบบดั้งเดิมและการใช้สีธรรมชาติในการย้อม

4. กลุ่มอาชีพสตรีทอผ้าแพรวาบ้านโพน ตำบลโพน อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์

4.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	คุณนงค์ลักษณ์ ศรี
จำนวนสมาชิก	มากกว่า 800 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าไหมแพรวา
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

1.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ไหม
วัสดุให้สี	- ผาง ครั่ง เปลือกมะตู เปลือกเพกา โคลน - สีเคมี
มอร์แดนท์	สนิมเหล็ก น้ำต้มใบมะขาม สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำฝนและน้ำบาดาล
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	30- 50 ลิตรต่อครั้ง หรือประมาณ 100 ลิตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้ - น้ำทิ้งสีเคมี ทำการกรองผ่านชุดกรองบำบัดแบบกายภาพ สนับสนุนโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่ที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าไหมแพรวา ตำบลโพธิ์ อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์



รูปแบบและลวดลายอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของผ้าไหมแพรวา ซึ่งเป็นลายท้องถิ่นเฉพาะของชาวภูไท

5. กลุ่มทอผ้าไหมบ้านด่านเจริญ ตำบลกระเทียม อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดสุรินทร์

5.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	นายบันเทิง ว่องไว
จำนวนสมาชิก	มากกว่า 50 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าฝ้าย

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ไหม
วัสดุให้สี	- ฝาง ครั่ง คราม เปลือกมะตูม เปลือกเพกา โคลน - สีเคมี
มอร์แดนท์	สนิมเหล็ก น้ำต้มใบมะขาม สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำฝนและน้ำบาดาล
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	30- 50 ลิตรต่อครั้ง หรือประมาณ 100 ลิตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้ - น้ำทิ้งสีเคมี ทำการกรองผ่านชุดกรองบำบัดแบบกายภาพ สนับสนุนโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่กลุ่มทอผ้าไหมบ้านด่านเจริญ ตำบลกระเทียม อำเภอสงขลา จังหวัดสุรินทร์



กิจกรรมทอผ้าและการมัดหมี่เส้นไหม ซึ่งเป็นภูมิปัญญา ของช่างชาวสุรินทร์ และการย้อมโคลนผ้าผืนหลังการทอ เพื่อเพิ่มความนุ่มให้ผ้ายิ่งขึ้น

6. กลุ่มกลุ่มทอผ้าไหมทองบ้านกระหม ตำบลนาบัว อำเภอมือง จังหวัดสุรินทร์

6.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	กฤษฎิกา ภักดิ์รัตน์
จำนวนสมาชิก	-

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
การผลิต	ทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าไหม และผลิตภัณฑ์จากไหม (สบู่ ครีมบำรุงผิว มาส์กผิวหน้า รังไหมขัดผิว ฯลฯ)
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของกลุ่ม

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์ผ้าทอจากไหม
วัสดุให้สี	-
มอร์แดนต์	-
น้ำที่ใช้	-
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	-
การบำบัดน้ำทิ้ง	-

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่กลุ่มทอผ้าบ้านกระหม ตำบลนาบัว อำเภอเมือง จ.สุรินทร์



หจก.เรือนไหมใบหม่อน เป็นกลุ่มที่รับผลิตภัณฑ์ผ้าไหมจากกลุ่มทอผ้าไหมบ้านด่านเจริญ มาจำหน่าย และรับเส้นด้ายไหมที่ผ่านการย้อมสีแล้วมาจำหน่ายและมีโรงทอผ้าขนาดเล็กเป็นของตัวเอง รวมถึงมีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากรังไหม เช่น สบู่ และครีมบำรุงผิวหน้า

7. นิคมสร้างตนเองเลี้ยงไหม ในพระบรมราชานุเคราะห์ อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์

7.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	นางสาวยุพา เยนกลม ผู้จัดการ
จำนวนสมาชิก	มากกว่า 100 คน
การผลิต	เส้นด้ายไหม
ประเภทผลิตภัณฑ์	เส้นด้ายไหม

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 5 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

7.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	รังไหม
วัสดุให้สี	- สีเคมี
น้ำที่ใช้	น้ำกรอง
ปริมาณน้ำทิ้ง	30-50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- มีระบบบำบัด ภายภาพ และเคมี

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่นิคมสร้างตนเองเลี้ยวใหม่ ในพระบรมราชานุเคราะห์ อำเภอกาบเชิง จังหวัด
สุรินทร์



กลุ่มที่ 2 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนทอผ้าและย้อมสีธรรมชาติ ในพื้นที่ภาคเหนือ จำนวน 3 กลุ่ม

1. กลุ่มทอผ้าพื้นเมืองย้อมสีธรรมชาติ ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย

1.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	นางบุญเลียม ออใจ
จำนวนสมาชิก	80 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าถุงทอมือ ผ้าพันคอ สไบ ผ้าผืน
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 3 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

1.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอ

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ฝ้าย
วัสดุให้สี	- ฝาง ครั่ง เปลือกมะตูม เปลือกเพกา กาบมะพร้าว
มอร์แดนต์	สนิมเหล็ก น้ำต้มใบมะขาม สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำฝนและน้ำบาดาล
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	30- 50 ลิตรต่อครั้ง หรือประมาณ 100 ลิตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่ กลุ่มทอผ้าพื้นเมืองย้อมสีธรรมชาติ ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่สรวย จังหวัด
เชียงราย



2. กลุ่มสุกัญญาผ้าฝ้าย อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

2.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	สุกัญญา อุปธรรม
จำนวนสมาชิก	30 คน
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าฝ้าย
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 4 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของกลุ่ม

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ฝ้าย
วัสดุให้สี	- ฝาง ครั่ง คราม เปลือกมะตู เปลือกเพกา - สีเคมี
มอร์แดนท์	สนิมเหล็ก น้ำซี้เถ้า สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำกรอง น้ำประปา
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	30-50 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- น้ำทิ้งสีธรรมชาติ นำมาใช้รดน้ำต้นไม้ - น้ำทิ้งสีเคมี ทำการกรองผ่านชุดกรองบำบัดแบบกายภาพ สนับสนุนโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ภาพกิจกรรมลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสุกัญญาผ้าฝ้าย อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่



3. โรงย้อมสี ดอยตุง มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์ อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

3.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ผู้ให้ข้อมูล	ดร.ธนพงษ์ ดวงมณี
จำนวนสมาชิก	
การผลิต	ย้อมสีและทอผ้า

ข้อมูล	รายละเอียดสรุป
ประเภทผลิตภัณฑ์	ผ้าฝ้าย
การบริหารจัดการสินค้า (การตลาด)	ขายปลีกและขายส่ง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์	OTOP 5 ดาว
ความรู้และข้อมูลในการ พัฒนากลุ่ม	เข้าร่วมกิจกรรมการอบรมความรู้ที่จัดโดย กรมการพัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน

ข้อมูล	รายละเอียด
วัตถุดิบเส้นด้าย	ฝ้าย
วัสดุให้สี	- ฝาง ครั่ง คราม เปลือกหอม ใบสัก เปลือกเพกา เปลือกขาน้ำมัน - สีเคมี
มอร์แดนท์	สนิมเหล็ก น้ำซี้เถ้า สารส้ม
น้ำที่ใช้	น้ำกรอง
ปริมาณน้ำทิ้งหลังการ ย้อม	20-30 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน
การบำบัดน้ำทิ้ง	- ระบบบำบัด กายภาพ เคมี และชีวภาพ

ภาพกิจกรรมการลงพื้นที่ที่โรงย้อมสี ดอยตุง มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์ฯ ตำบลแม่ฟ้าหลวง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย



กล่าวโดยสรุปภาพรวมของกระบวนการใช้สีย้อม ปริมาณน้ำทั้งต่อวันและวิธีการบำบัดน้ำทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สรุปในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงภาพรวมการใช้สีย้อม ปริมาณน้ำทั้งต่อวันและวิธีการบำบัดน้ำทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

ลำดับ	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน	การใช้สีย้อม	ปริมาณน้ำทั้ง(ลิตร/วัน)	มีการบำบัดน้ำทิ้ง(วิธีบำบัด)	ลักษณะน้ำหลังบำบัด
1	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ	ธรรมชาติ (80%)	50-100	(ระบบกรองบำบัด) กายภาพ	สีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย
2	กลุ่มทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านหัวฝาย	ธรรมชาติ (80%)	50-100	(ระบบกรองบำบัด) กายภาพ	สีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย

ลำดับ	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน	การใช้สีย้อม	ปริมาณน้ำทิ้ง(ลิตร/วัน)	มีการบำบัดน้ำทิ้ง(วิธีบำบัด)	ลักษณะน้ำหลังบำบัด
3	หัตถกรรมทอผ้าย้อมสีธรรมชาติ	ธรรมชาติ (80%)	50-100	(ระบบกรองบำบัด) กายภาพ	สีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย
4	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าไหมแพรวา	ธรรมชาติ (80%)	50-100	(ระบบกรองบำบัด) กายภาพ	สีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย
5	กลุ่มทอผ้าไหมบ้านด่านเจริญ	ธรรมชาติ (80%)	50-100	(ระบบกรองบำบัด) กายภาพ	สีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย
6	กลุ่มทอผ้าไหมทองบ้านกระหม	ธรรมชาติ (80%)	-	-	-
7	นิคมสร้างตนเองเลี้ยงไหม ในพระบรมราชานุเคราะห์	ธรรมชาติ (80%)	2,000	(ระบบกรองแบบกายภาพ และมีระบบบำบัดเคมี และชีวภาพ)	สีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย
8	โรงย้อมสี ดอยตุงมูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์	ธรรมชาติ (80%)	15,000	(ระบบกรองกายภาพ และระบบบำบัดชีวภาพ)	สีเหลืองอ่อนใส
9	กลุ่มทอผ้าพื้นเมืองย้อมสีธรรมชาติ	ธรรมชาติ (80%)	-	-	-
10	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสุกัญญาผ้าฝ้าย	ธรรมชาติ (80%)	1,000	(ระบบกรองบำบัด) กายภาพ	ยังคงมีสีตามชนิดสีย้อมที่ใช้

4.1.1 ข้อสรุปภาพรวมการบริหารจัดการกลุ่ม

ในการเก็บข้อมูลในส่วนข้อมูลทั่วไปทำให้สรุปภาพรวมการบริหารจัดการกลุ่มและการพัฒนากลุ่ม ทั้งกลุ่มผ้าฝ้ายและผ้าไหม โดยรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาเอกสาร การสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วมและการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth Interview) โดยมีผู้ให้ข้อมูลหลัก (Key Informants) เป็นผู้นำกลุ่มและผู้รับผิดชอบงานจากแหล่งข้อมูล รวมจำนวน 10 คน เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุป

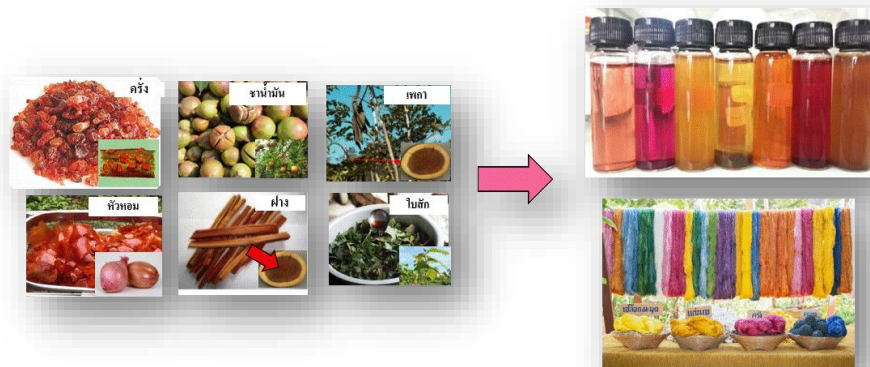
ด้านการบริหารจัดการกลุ่ม กลุ่มที่มีการดำเนินการอย่างเป็นระบบ มีข้อบังคับกลุ่มที่ชัดเจน มีผู้นำกลุ่มที่มีความเป็นผู้นำ รับผิดชอบ เสียสละ สมาชิกในกลุ่มมีความชำนาญ มีทักษะมายาวนาน มีการสืบทอดองค์ความรู้และทักษะจากรุ่นสู่รุ่น มีศูนย์กลางการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถกำหนดราคากลางในการ

จำหน่ายสำหรับกลุ่มนักท่องเที่ยว มีการรับประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์ ผ่านการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ และกระบวนการย้อม ทอ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐาน

โดยกลุ่มที่มีความเข้มแข็งและเห็นศักยภาพกลุ่มอย่างชัดเจน เช่น กลุ่มโครงการนิคมสร้างตนเองเลี้ยงไหม ในพระบรมราชานุเคราะห์ และ กลุ่มทอผ้าไหมบ้านด่านเจริญ จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งมีการบริหารจัดการสมาชิกในกลุ่มมากกว่า 100 ราย สามารถสร้างรายได้ต่อเนื่องแก่สมาชิกได้มากกว่าเดือนละ 9,000 บาท ในส่วนประเด็นของอัตลักษณ์และความนิยมในผลิตภัณฑ์ แต่ละท้องถิ่นมีเอกลักษณ์ ลวดลาย และ รูปแบบการทอที่ต่างกันไปเป็นภูมิปัญญาเฉพาะถิ่นซึ่งสร้างจุดขายงานได้อย่างชัดเจน

4.1.2 ข้อมูลเชิงสถานะภาพการใช้สีย้อม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้สีย้อมของกลุ่มตัวอย่าง มีการใช้สีย้อมธรรมชาติควบคู่กับการใช้สีเคมี โดยมีสัดส่วนการใช้สีย้อมธรรมชาติที่มากกว่าเกินร้อยละ 90 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่เลือกเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้สีย้อมธรรมชาติเป็นหลัก มีเพียงกลุ่มเดียวคือ กลุ่มนิคมสร้างตนเองเลี้ยงไหม ในพระบรมราชานุเคราะห์ ที่อำเภออาเภอบางช้าง จังหวัดสุรินทร์ ที่มีการใช้สีเคมีในการย้อมเส้นไหมเนื่องจากการผลิตเพื่อจำหน่ายในทางการค้าแก่กลุ่มผู้ทอผ้าไหมในพื้นที่เขตอีสานตอนใต้เกือบทั้งหมด ในภาพรวมการใช้สีเคมี สำหรับกลุ่มวิสาหกิจมีการใช้ในปริมาณที่น้อยมากในสัดส่วนประมาณ 3-5 กิโลกรัม สีเคมี ต่อ 100 กิโลกรัม เส้นใยไหม/ฝ้าย มีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้น ประมาณ 30-50 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน ในขณะที่การใช้สีย้อมธรรมชาติย้อมเส้นด้ายหรือฝืนผ้า น้ำทิ้งที่เกิดมีปริมาณต่อเดือนประมาณ 100-300 ลิตร เนื่องจากใช้วิธีหมักวัตถุดิบทำน้ำสีย้อมไว้เป็นเวลานานมากกว่า 60 วันก่อนการใช้ย้อมเส้นด้ายมีทั้งกระบวนการย้อมเย็นและย้อมร้อน (อุณหภูมิไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส) และน้ำสีย้อมหลังการย้อม จะถูกนำไปใช้รดน้ำต้นไม้หรือเททิ้งในพื้นที่บริเวณรอบพื้นที่ทำงานที่เป็นสวน เกือบทั้งหมด



รูปที่ 4.2 แสดงวัตถุดิบให้สีธรรมชาติจากการใช้งานจริงของกลุ่มตัวอย่าง

ในประเด็นของการบำบัดน้ำทิ้งได้รับการสนับสนุนระบบบำบัดน้ำทิ้ง โดยสำนักงานอุตสาหกรรม จังหวัดและกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ให้การสนับสนุนแก่กลุ่ม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเก็บน้ำเสียได้ไม่เกิน 300 ลิตร (ดังรูป 4.3) ซึ่งเพียงพอและรองรับปริมาณน้ำทิ้งในแต่ละเดือนสำหรับกลุ่มวิสาหกิจขนาดเล็กได้



รูปที่ 4.3 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียที่ย้อมสีที่ทางสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดและกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม จัดหาให้

ในขณะที่นิคมสร้างตนเองเลี้ยวใหม่ ในพระบรมราชานุเคราะห์ ที่อำเภอคาบเชิงสุรินทร์ ซึ่งมีขนาดใหญ่ มีปริมาณน้ำเสียจากการย้อมสีเคมี มากกว่า 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีการสร้างระบบบำบัดขนาดใหญ่และมีบ่อกักน้ำตกตะกอนอย่างเป็นระบบ



รูปที่ 4.4 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อมของนิคมสร้างตนเองเลี้ยงไหม ที่ อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์

ในขณะที่ทางภาคเหนือ โครงการมูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ดอยตุง ในพระบรมราชูปถัมภ์ มีระบบบำบัดน้ำทิ้งจากส่วนงานมือ (ประกอบด้วยน้ำทิ้งจากโรงกระดาษสาและโรงย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย) ซึ่งมีน้ำทิ้งผสมระหว่างน้ำสีย้อมธรรมชาติและสีเคมี โดยเป็นการบำบัดร่วมกันระหว่างวิธีทางกายภาพและชีวภาพด้วยจุลินทรีย์



รูปที่ 4.5 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อม (ระบบบำบัดชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ (ซ่าย) และบ่อกักน้ำหลังการบำบัด (ขวา)) จากส่วนงานมือของโครงการมูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ดอยตุง ในพระบรมราชูปถัมภ์

โดยภาพรวมระบบบำบัดสีย้อมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนไม่พบปัญหาทั้งการบริหารจัดการและการร้องเรียนจากชุมชนโดยรอบ เนื่องจากยังมีขนาดเล็ก ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อภาพรวมและต้นทุนในกระบวนการ

ทำงาน และในประเด็นของการระงับอันตรายจากการใช้สีเคมีในการย้อม กลุ่มตัวอย่างได้เข้าร่วมอบรมเรื่องของการใช้สีย้อม สูตร วิธีการย้อม และการระงับอันตรายจากการใช้สีย้อม

จากนั้นในประเด็นของการเสนอรูปแบบการนำกลับมาใช้ประโยชน์ของสีย้อมด้วยการตกตะกอนและนำกลับมาใช้ใหม่ ได้รับความสนใจมากกว่า ร้อยละ 70 และยินดีที่จะให้เข้ามาลองใช้ในระบบ ในส่วนที่เหลือร้อยละ 30 ยังมองไม่เห็นประโยชน์ของการนำกลับมาใช้ใหม่

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีย้อมด้วยอนุภาคนาโนไคโตซานคอมพอสิตในระดับห้องปฏิบัติการ

จากโครงสร้างไคโตซานที่แสดงดังรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างดังกล่าวจะถูกโปรโตเนตและแสดงประจุบวกที่หมู่เอมีน เมื่ออยู่ภายใต้ภาวะที่สารละลายมีค่า pH ต่ำกว่า pKa 6.5 ซึ่งทำให้สามารถจับกับสารให้สีที่มีประจุตรงข้ามได้ดีด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ นอกจากนี้ยังมีหมู่ไฮดรอกซิลที่อาจจับสีย้อมที่มีประจุตรงข้ามได้เช่นกัน ไคโตซานจึงเป็นสารที่สามารถให้สมบัติในการรวมตะกอน (coagulant) ในระบบการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งได้

สำหรับนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (NCC) (IP pending 1501002870) ที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดอนุภาคในช่วง 30-70 นาโนเมตร รูปทรงผลึกเป็นลูกบาศก์ และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) สูงถึง 52.5 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับโครงสร้างทางเคมีและ SEM micrograph ของ NCC แสดงดังรูปที่ 3.2 ทั้งนี้อนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวสูงของ NCC จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการตกตะกอน (flocclants) ของสารที่แขวนลอย จึงส่งผลให้การกำจัดสีย้อมด้วยวิธีการตกตะกอนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลการศึกษาบทบาทและกลไกการทำงานของไคโตซานและ NCC ในการตกตะกอนสีย้อม โดยการเลือกน้ำทิ้งที่มีสีแดงจากครั้งเป็นสีต้นแบบ ได้ผลการตกตะกอนของสีย้อมในตัวอย่างน้ำทิ้งในแต่ละระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไคโตซานมีความสามารถในการจับสีย้อมเกิดเป็นตะกอนแขวนลอยภายใน 2 นาที แต่การตกตะกอนต้องใช้เวลาจนถึง 24 ชั่วโมง ในขณะที่หากมีการเติม NCC ร่วมด้วย ตะกอนสีย้อมดังกล่าวจะสามารถเริ่มเกิดการตกตะกอนได้ภายในเวลา 2 นาที สำหรับ NCC นั้นไม่สามารถจับสีย้อมได้แม้จะใช้ระยะเวลานานถึง 24 ชั่วโมงก็ตาม ในขณะที่ระบบที่เติม NCC ก่อน แล้วจึงเติมไคโตซานนั้น จะเริ่มเกิดการตกตะกอนได้ภายใน 2 นาทีเช่นกัน แต่ประสิทธิภาพในการจับสีย้อมยังคงต่ำกว่า

ผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า การใช้ไคโตซานร่วมกับ NCC ให้ผลในการตกตะกอนแยกชั้นได้สารละลายใสกว่า และใช้ระยะเวลาในการจับและตกตะกอนสีที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานเรื่องบทบาทในการทำงานร่วมกันระหว่างสารทั้งสอง ที่ไคโตซานทำหน้าที่ในการจับสีย้อม ส่วนอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีพื้นที่ผิวมากนั้นมีบทบาทในการช่วยเร่งการตกตะกอนให้เร็วขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลของการใช้ไคโตซานและอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตในการตกตะกอนสีจากสารละลายครั่ง

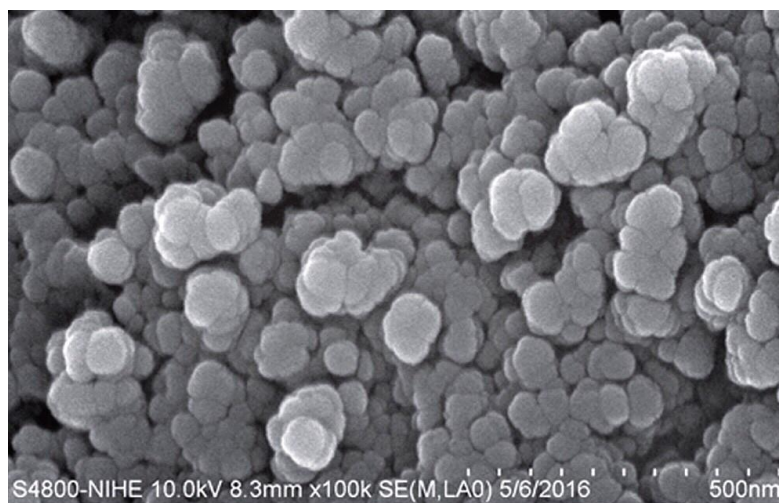
ชนิดสารตกตะกอน (ความเข้มข้น)	ลักษณะการแยกชั้นตะกอนที่ระยะเวลาต่าง ๆ			
	0 นาที	2 นาที	30 นาที	24 ชั่วโมง
ไคโตซาน (100ppm)				
NCC (100 ppm)				
ไคโตซาน → NCC (100+100 ppm)				
NCC → ไคโตซาน (100+100 ppm)				

4.2.1 การเตรียมไคโตซานนาโนคอมพอสิต

จากข้อมูลข้างต้น พบว่าการใช้ไคโตซานร่วมกับอนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (NCC) ให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนสีย้อมที่ดีกว่าการใช้ไคโตซานหรืออนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (NCC) เพียงอย่างเดียว เมื่อได้ลองเตรียมในรูปไคโตซานนาโนคอมพอสิต สูตรต่าง ๆ สัดส่วนของไคโตซานและ NCC ต่าง ๆ กัน (สูตร 1, สูตร 2, และสูตร 3, ตารางที่ 3.4) พบว่า ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 1 และ 2 มีลักษณะสารละลายผสมสีขาวอมเหลือง และ ชุ่น ส่วนสารผสมสูตรที่ 3 มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน มีความขุ่นเล็กน้อยและมีความหนืดมากกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ทั้งนี้พบว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง สูตรที่ 1 และ 2 เริ่มมีการแยกชั้นโดยสูตรที่ 2 เกิดการแยกชั้นเร็วกว่า ในขณะที่สูตรที่ 3 ไม่เกิดการแยกชั้น

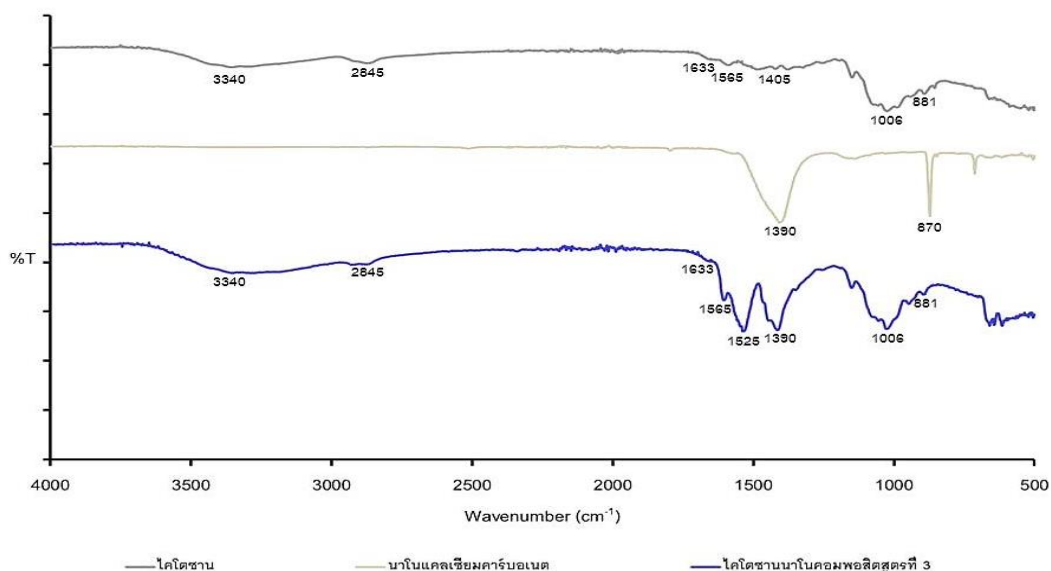
การพิสูจน์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้

สารโคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลม เมื่อนำอนุภาคที่ได้มาวิเคราะห์รูปทรง ลักษณะด้วยเทคนิค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือ SEM พบว่ามีขนาดอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 100-200 นาโนเมตร และมีการกระจายขนาดสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 SEM micrograph แสดงลักษณะอนุภาคโคโตซานนาโนคอมพอสิตที่กำลังขยาย 100,000 เท่า

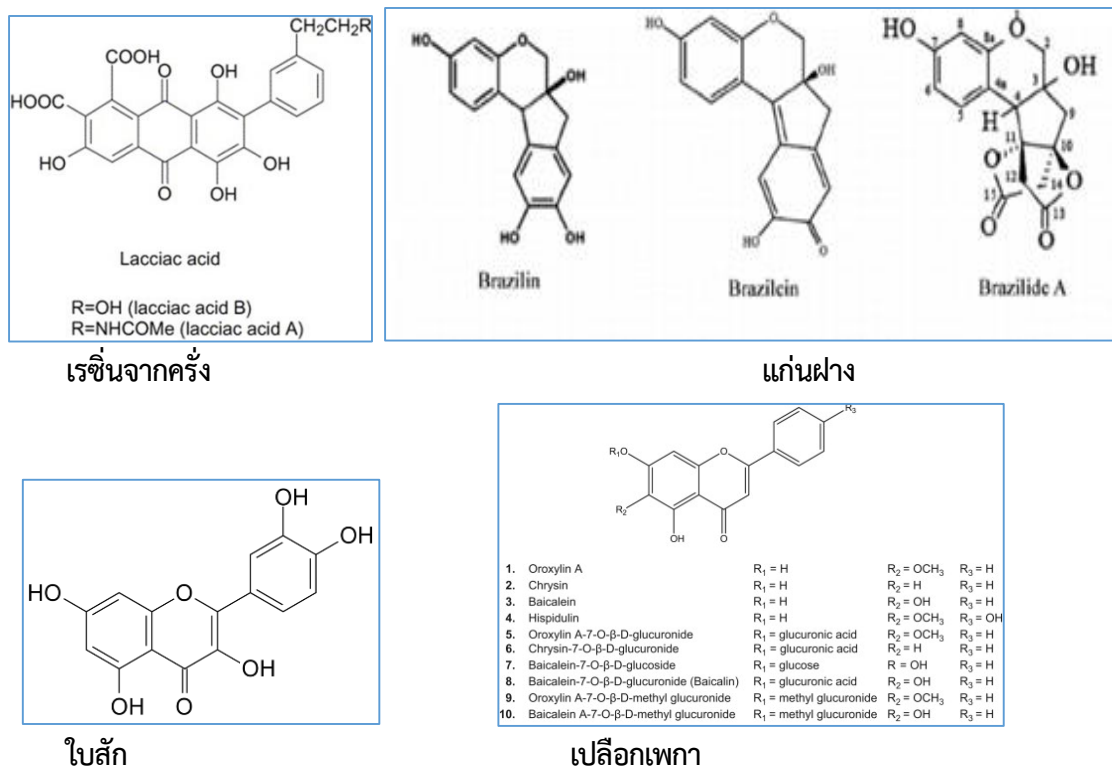
โครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต และโคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ศึกษาจากเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Nicolet iZ10 โหมด Attenuated total reflection (ATR) จำนวนรอบที่ใช้ในการสแกนคือ 256 รอบ โดยตรวจสอบสเปกตรัมในช่วงการดูดกลืนที่ $4000-500\text{ cm}^{-1}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จาก FTIR สเปกตรัมของโคโตซานที่ตำแหน่งพิกัด 3340 cm^{-1} และ 2845 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ -OH และ -CH_3 ตามลำดับ และที่ตำแหน่งพิกัด 1633 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C=O สำหรับพิกัดที่ตำแหน่ง 1565 cm^{-1} และ 1405 cm^{-1} แสดงถึง NH-group bending vibration และ -OH group vibration ของ primary alcohol groups ตามลำดับ (Sionkowska et al., 2004) นอกจากนี้พิกัดที่ตำแหน่ง 1006 cm^{-1} แสดงถึง C-O-H , C-O-C และ CH_2CO และพิกัดที่ตำแหน่ง 881 cm^{-1} แสดงถึง C-H จากโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ (Negrea et al., 2015) สำหรับสเปกตรัมของนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงพิกัดเด่นที่ตำแหน่ง 1390 cm^{-1} และ 870 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง $\text{C-O stretching vibration}$ ของคาร์บอเนต และ bending vibration ตามลำดับ (Dabbas et al., 2014) ส่วนสเปกตรัมของโคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 แสดงพิกัดที่ตำแหน่ง 3340 cm^{-1} 2845 cm^{-1} 1633 cm^{-1} 1565 cm^{-1} 1129 cm^{-1} 1006 cm^{-1} และ 881 cm^{-1} เช่นเดียวกับสเปกตรัมของโคโตซาน ส่วนพิกัดที่ตำแหน่ง 1390 cm^{-1} ปรากฏเช่นเดียวกับสเปกตรัมของนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต ทั้งนี้พิกัดที่ตำแหน่ง 1525 cm^{-1} ที่ปรากฏในสเปกตรัมของโคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 แต่ไม่พบพิกัดดังกล่าวในสเปกตรัมของทั้งโคโตซานและนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่ามีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีเกิดขึ้นในคอมพอสิตสูตรนี้ ซึ่งคาดว่าจะอาจเกิดพันธะ C-C กับ C และ/หรือ พันธะ C-N (George, 2001)



รูปที่ 4.7 FTIR สเปกตรัมของโคโตซาน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต และโคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3

4.2.2 ผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติ

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติที่มีการใช้งานจริงในโรงงานย้อมสีสิ่งทอโครงการพัฒนาอยุ่ ตุง จำนวน 4 ชนิดประกอบด้วย 1) สีแดงจากครั่ง 2) สีแดงจากแก่นฝาง 3) สีเขียวอมเหลืองจากไผ่ต้นสัก และ 4) สีเขียวอมเหลืองจากเปลือกเพกา ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติที่ใช้ แสดงดังรูปที่ 4.8

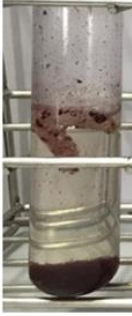


รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างเคมีสารให้สีจากธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิด

4.2.3 ผลของการตกตะกอนน้ำที่สีย้อมธรรมชาติด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่มีอัตราส่วนระหว่างไคโตซานและ NCC ที่ระดับต่าง ๆ

ในการทดลองตกตะกอนน้ำที่สีย้อมธรรมชาติต่าง ๆ ด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตทั้ง 3 สูตร ซึ่งมีสัดส่วนของไคโตซานและ NCC ต่าง ๆ กัน ได้ผลทดลอง ลักษณะการตกตะกอนดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลักษณะการตกตะกอนสีย้อมต่าง ๆ ที่มีการใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตทั้ง 3 สูตร

สีย้อม	ก่อนบำบัด	ปริมาณ ไคโตซาน : NCC (ppm)		
		สูตรที่ 1 50 : 50	สูตรที่ 2 50 : 100	สูตรที่ 3 100 : 50
ครั่ง				
ฝาง				

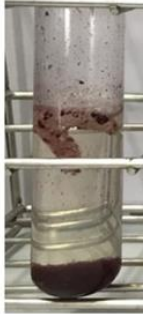
การทดลองครั้งนี้ได้นำไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนระหว่างไคโตซานและ NCC ที่แตกต่างกันมาใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการตกตะกอนสีย้อม โดยในการนำสารดังกล่าวมาใช้ตกตะกอนสีย้อมครั่งและฝางนั้นจะมีความเข้มข้นไคโตซาน : NCC ในน้ำที่เท่ากับ 50 : 50, 50 : 100 และ 100 : 50 ppm ตามลำดับ จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ไคโตซานนาโนคอมพอสิตทั้ง 3 สูตรสามารถตกตะกอนสีย้อมทั้ง 2 ชนิดได้ โดยน้ำหลังบำบัดสีย้อมครั่งให้สีที่ใสกว่าฝางอย่างเห็นได้ชัดแม้จะใช้สารสูตรที่ 1 ซึ่งมีความเข้มข้นของนาโนคอมพอสิตต่ำที่สุดก็ตาม ซึ่งขณะทำการตกตะกอนครั้งจะสังเกตเห็นการรวมตะกอนของสีย้อมและเริ่มเกิดการตกตะกอนได้เร็วกว่าฝาง นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าน้ำสีย้อมครั่งก่อนการบำบัดมีสีที่เจือจางกว่าสีย้อมฝาง จึงให้สีย้อมในน้ำที่ถูกลบตกตะกอนได้เกือบหมด และจากการทดลองพบว่าสารสูตรที่ 2 กรณีของครั่งให้ผล

การตกตะกอนที่ไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 แต่ประสิทธิภาพการจับสีย้อมมีแนวโน้มลดลงในกรณีที่ใช้กับผง แต่สำหรับการตกตะกอนด้วยนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 พบว่า สามารถจับและตกตะกอนสีย้อมครั้งและผงได้ดีขึ้น โดยได้น้ำหลังบำบัดที่ใสขึ้นกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากการที่สารสูตรที่ 3 มีปริมาณไคโตซานมากกว่าสูตรอื่นจึงมีโอกาสเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางประจุระหว่างหมู่เอมีนกับโมเลกุลสีย้อมได้มากขึ้น โดยเฉพาะสีย้อมครั้งซึ่งมีประจุลบจากการมีหมู่คาร์บอกซิลิกอยู่ภายในโครงสร้าง

4.2.4 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การศึกษาปัจจัยด้านค่า pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอน ทำได้โดยนำไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 2 มาใช้ตกตะกอนสีย้อมครั้งและผง โดยทำการปรับค่า pH ที่ 5 และ 8 ก่อนที่จะทำการตกตะกอน เปรียบเทียบกับการตกตะกอนในภาวะที่ไม่ได้ปรับค่า pH ของน้ำทิ้ง (ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 6-7) จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า การปรับ pH 5 กรณีของสีย้อมครั้งนั้นให้ผลการตกตะกอนสีย้อมที่ไม่ต่างจากเดิม ส่วนกรณีของผงจะเห็นว่าสีย้อมจะถูกจับตกตะกอนได้ดีขึ้น สังเกตได้จากน้ำที่อ่อนลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการปรับ pH 8 นั้น พบว่าประสิทธิภาพในการจับสีย้อมลดลงทั้งสีย้อมครั้งและผง ทั้งนี้ น่าจะอธิบายได้ว่า หมู่เอมีนของไคโตซานถูกโปรตอนได้มากขึ้นในภาวะสภาวะละลายเป็นกรด จึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอน (coagulant) ด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามสมมติฐานการเป็น coagulant ที่ตั้งไว้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.5 ผลของการปรับ pH น้ำทิ้งสีย้อมก่อนการตกตะกอนด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 2

สีย้อม	ก่อนบำบัด	สูตรที่ 2		
		pH 6.5	pH 5	pH 8
ครั้ง				
ผง				

4.2.5 อิทธิพลของปริมาณไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่ใช้ในการตกตะกอนสีย้อมชนิดต่าง ๆ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาซึ่งพบว่า สารไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนสีย้อมได้ดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำเลือกไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 มาใช้ในการหาสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดในการตกตะกอนสีย้อมทั้ง 4 ชนิด โดยผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการตกตะกอนสีย้อมของสีแต่ละชนิด (ปริมาตรน้ำทิ้ง 20 ml) คือ

- ครั้ง : ใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ด้วยความเข้มข้นไคโตซาน : NCC ในน้ำทิ้ง เท่ากับ 100 : 50 ppm (ปริมาตร 0.5 ml) โดยไม่ต้องมีการปรับ pH
- ฝาง : ใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ด้วยความเข้มข้นไคโตซาน : NCC ในน้ำทิ้ง เท่ากับ 200 : 100 ppm (ปริมาตร 1.0 ml) โดยไม่ต้องมีการปรับ pH
- เพกา : ใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ด้วยความเข้มข้นไคโตซาน : NCC ในน้ำทิ้ง เท่ากับ 500 : 250 ppm (ปริมาตร 2.5 ml) โดยปรับ pH 5 ก่อนเติมนาโนคอมพอสิต
- ใบสัก : ใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ด้วยความเข้มข้นไคโตซาน : NCC ในน้ำทิ้ง เท่ากับ 500 : 250 ppm (ปริมาตร 2.5 ml) โดยปรับ pH 5 ก่อนเติมนาโนคอมพอสิต
-

ตารางที่ 4.6 ผลของการตกตะกอนจากน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด ด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3

สีย้อม	ก่อนบำบัด	ปริมาตรไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้ง 20 ml			
		0.5 ml ไม่ปรับ pH	1.0 ml ไม่ปรับ pH	2.5 ml ไม่ปรับ pH	2.5 ml ปรับ pH 5
ครั้ง					
ฝาง					

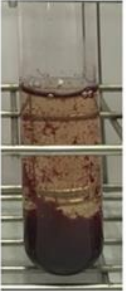
สีย้อม	ก่อนบำบัด	ปริมาตรไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้ง 20 ml			
		0.5 ml ไม่ปรับ pH	1.0 ml ไม่ปรับ pH	2.5 ml ไม่ปรับ pH	2.5 ml ปรับ pH 5
เพกา					
ไบสีก					

จากผลการตกตะกอนสีย้อมจะเห็นได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนสีย้อมแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก สีย้อมแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน จึงมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของไคโตซานนาโนคอมพอสิตได้ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ปริมาณสีย้อมในน้ำทิ้งแต่ละชนิดยังมีความเข้มข้นที่ต่างกันออกไป ดังนั้นปริมาณนาโนคอมพอสิตที่ต้องการใช้ในการตกตะกอนจึงแตกต่างกันไปด้วย

4.2.6 การทดลองขยายสเกลทดสอบการตกตะกอนเป็นปริมาตร 500 มิลลิลิตร

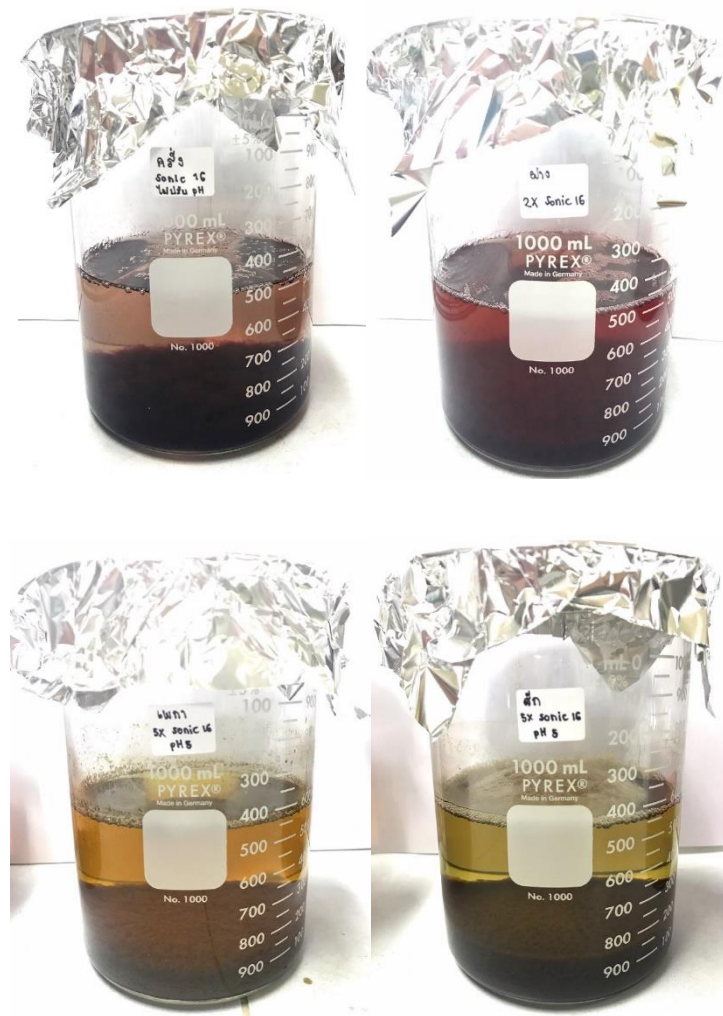
หลังจากที่ได้สภาวะการทดลองที่ดีที่สุดในการตกตะกอนสีย้อมทั้ง 4 ชนิด ผู้วิจัยจึงได้ทดลองเพิ่มปริมาตรของน้ำทิ้งสีย้อมจาก 20 มิลลิลิตร เป็น 500 มิลลิลิตร เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขยายสเกลของการตกตะกอนสีย้อมก่อนที่จะนำไปปรับใช้งานจริงในโรงงานย้อมสีสิ่งทอโครงการพัฒนาद्यตุง โดยใช้สภาวะการตกตะกอนสีย้อมแต่ละชนิดตามที่สรุปไว้ในข้อ 4.3.3 และดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลของการตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ (ปริมาตร 20 ml) ด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิต สูตร 3

	ครึ่ง	ฝาง	เพกา	ใบสัก
ก่อน ตกตะกอน				
หลัง ตกตะกอน				

จากนั้นเมื่อได้ทำการขยายสเกลการทดลองโดยเพิ่มปริมาตรน้ำสีย้อมเป็น 500 มิลลิลิตร ได้ผลการทดลองตกตะกอนน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ด้วยไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตร 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.9

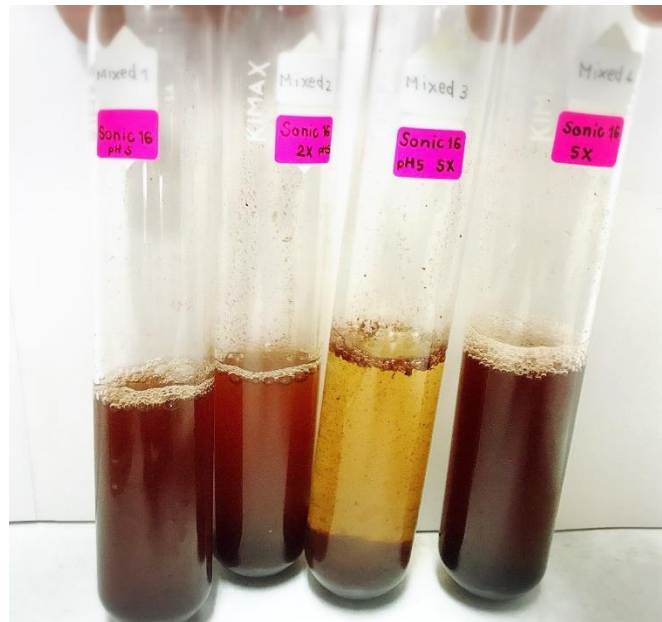
จากรูปที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สภาวะที่เลือกไว้มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งที่มีปริมาตรสูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมอาจไม่สมบูรณ์เทียบเท่าการทดลองในสเกลเล็ก (20 มิลลิลิตร) ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากปริมาณไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่ต้องการใช้ไม่ได้มีความสัมพันธ์อย่างเป็นเส้นตรงกับสีย้อมที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงยังจำเป็นต้องศึกษาปริมาณของนาโนคอมพอสิตที่เหมาะสมก่อนที่จะนำระบบเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานย้อมสีสิ่งทอต่อไป



รูปที่ 4.9 ลักษณะน้ำสีขุ่นหลังการตกตะกอนด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูตรที่ 3

4.2.7 การทดลองตกตะกอนสีขุ่นผสม

เนื่องจากการนำระบบการกำจัดสีขุ่นไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรมการย้อมสีสิ่งทอ มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีสีขุ่นมากกว่าหนึ่งชนิดปนกันอยู่ในน้ำทิ้ง ทีมวิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูตรที่ 3 ได้พัฒนาขึ้น (สูตรที่ 3) ไปใช้ในการตกตะกอนของน้ำทิ้งที่มีสีขุ่นทั้ง 4 ชนิดปนกันในปริมาตรที่เท่ากับชนิดละ 5 มิลลิลิตร โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10

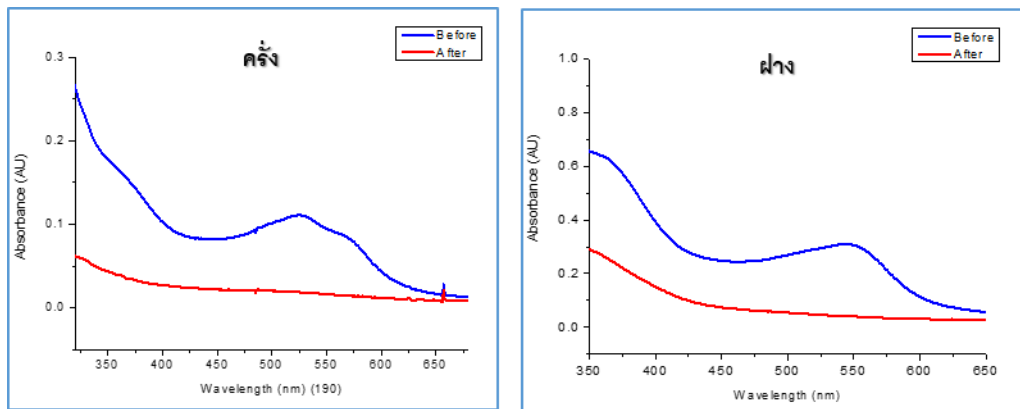


รูปที่ 4.10 ลักษณะการเกิดตะกอนน้ำสีส้มรวมหลังการตกตะกอนด้วยไคโตซานคอมพอสิตสูตรที่ 3 โดยทำการทั้งปรับและไม่ปรับ pH รวมถึงการเพิ่มปริมาณไคโตซานคอมพอสิต 2 เท่า และ 5 เท่า หลังจากปรับและไม่ปรับ pH

จากรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีส้มผสมคือ ภาวะที่ใช้นาโนคอมพอสิต สูตรที่ 3 ด้วยความเข้มข้นไคโตซาน : NCC ในน้ำทิ้ง เท่ากับ 500 : 250 ppm (ปริมาตร 2.5 มิลลิตร) โดยปรับ pH 5 ก่อนเติมนาโนคอมพอสิตดังแสดงในหลอดที่ 3 (รูปที่ 4.10)

4.3 การพิสูจน์ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของนาโนคอมพอสิตเบื้องต้น

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสีส้มครั้งและฝางของนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ภายใต้สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดของสีแต่ละชนิด ด้วยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำทิ้งที่มีสีส้มก่อนและหลังการตกตะกอน (เจือจาง 10 เท่า) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11



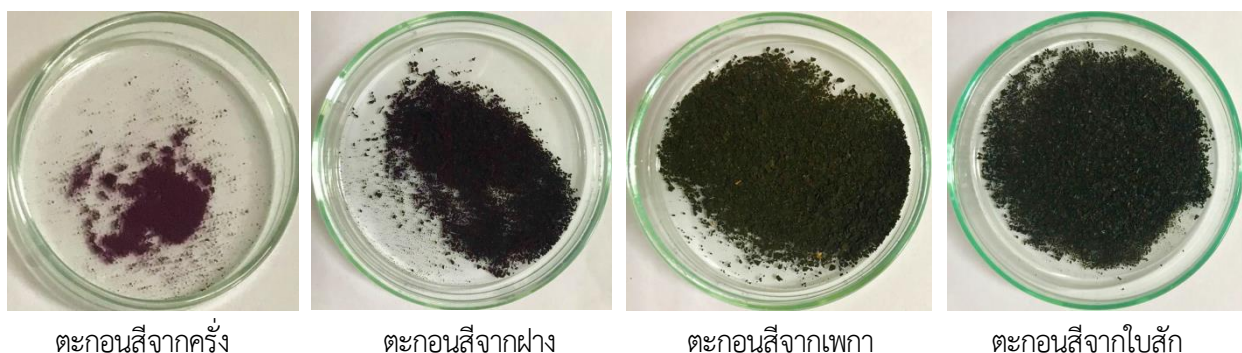
รูปที่ 4.11 UV absorption ของสารละลายสีตัวอย่างและสารละลายหลังแยกตะกอนสีออกไป โดยใช้อนุภาคนาโนโคโตซานคอมพอสิตสูตรที่ 3

จากค่าการดูดกลืนแสง (λ max) ของสารละลายสีตัวอย่างก่อนและหลังการตกตะกอน (ครึ่ง = 520 นาโนเมตร , ผาง = 550 นาโนเมตร) พบว่า ภายหลังตกตะกอนความเข้มของสีลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อพิสูจน์เบื้องต้นได้ว่า นาโนคอมพอสิตดังกล่าวสามารถกำจัดสีของครึ่งและผางออกจากน้ำสีตัวอย่างได้จริง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองเบื้องต้นที่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสีได้ด้วยตาเปล่า

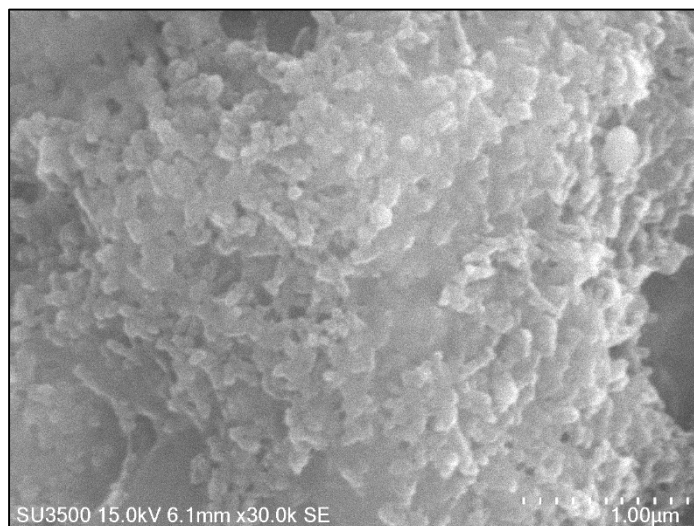
4.4 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนสีที่ย้อมที่ตกตะกอนด้วยอนุภาคนาโนโคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3

4.4.1 ลักษณะตะกอนสีที่ย้อมหลังการตกตะกอนด้วยอนุภาคนาโนโคโตซานนาโนคอมพอสิต

ตะกอนสีจากน้ำสีที่ย้อมหลังการใช้โคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ในการตกตะกอนแยก มีลักษณะเป็นผงอนุภาคขนาดเล็ก ละเอียดเป็นผงคล้ายแป้ง (รูปที่ 4.12) อนุภาคสีถูกกักเก็บในคอมพอสิตและไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการบดจนมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์และรูปทรงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะอนุภาคตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ลักษณะตะกอนสีหลังการตกตะกอนด้วยอนุภาคนาโนโคโตซานคอมพอสิตสูตรที่ 3



รูปที่ 4.13 SEM micrograph แสดงลักษณะตะกอนสีจากครั้งเมื่อใช้ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

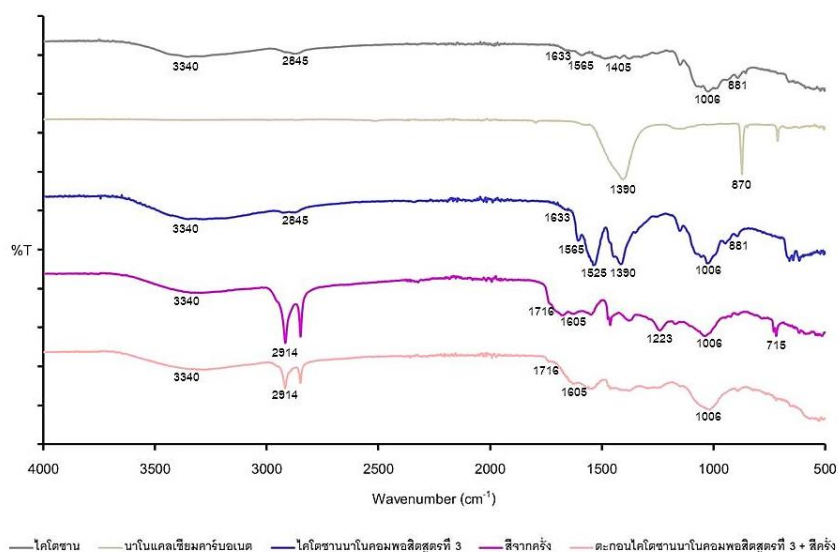
4.4.2 โครงสร้างทางเคมีศึกษาโดยใช้เทคนิคทางฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

โครงสร้างทางเคมีของสีจากครั้ง และตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้งศึกษาโดยใช้เทคนิค FTIR เช่นเดียวกับการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต และไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดย FTIR สเปกตรัมของสีจากครั้ง และตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้งแสดงดังรูปที่ 4.14

สเปกตรัมของสีจากครั้งแสดงพีคที่ตำแหน่ง 3340 cm^{-1} 1605 cm^{-1} และ 1716 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง stretching vibration ของหมู่ -OH หรือ หมู่ -NH และ หมู่ C=O และ/หรือหมู่ COOH สำหรับพีคที่ตำแหน่ง 2914 cm^{-1} แสดงถึง C-H ของหมู่เอลิฟาติกและอะโรมาติก และพีคที่ตำแหน่ง 1223 cm^{-1} แสดงถึง C-O stretching vibration ของหมู่คาร์บอกซิลิก นอกจากนี้พีคที่ปรากฏในช่วงระหว่าง 675 cm^{-1} และ 1006 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของวงอะโรมาติก (C-H bending vibration) (Deb et al., 2017; Wongwad et al., 2012)

สำหรับสเปกตรัมของตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้ง พบว่ามีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของสีจากครั้ง แต่สเปกตรัมของตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้ง ไม่ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 1223 cm^{-1} และ 715 cm^{-1} ซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 ที่ใช้ในการตกตะกอน และสองพีคดังกล่าวไม่ปรากฏเด่นชัดในสเปกตรัมของไคโตซานนาโนคอมพอสิตดังกล่าว นอกจากนี้ปริมาณของไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่ใช้นั้น มีปริมาณไม่มากนัก เมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนของสี

ครั้ง จึงทำให้สเปกตรัมของตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้ง มีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของสีจากครั้ง



รูปที่ 4.14 FTIR spectrum ของไคโตซาน นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต ไคโตซานนาโนคอมพอสิตสูตรที่ 3 สีจากครั้ง และตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตรวมกับสีครั้ง

4.5 การพัฒนานำสารไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ นำไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจริงในระบบ

ในการดำเนินงาน นำสูตรสารตกตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิตที่พัฒนาได้ในระดับปฏิบัติการ มาทดสอบการใช้งานจริงกับน้ำทิ้งตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสีย ในพื้นที่โครงการดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) ในพระราชดำริ อำเภอดอยตุง จังหวัดเชียงราย มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

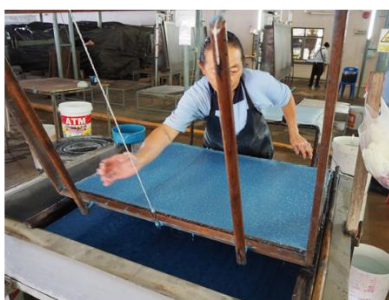
1. การออกแบบอุปกรณ์เพื่อการตกตะกอนน้ำทิ้งขนาดความจุ 50 ลิตร และการทดสอบการตกตะกอนน้ำทิ้งด้วยสารตกตะกอนไคโตซานนาโนคอมพอสิต



ชุดอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนของสารไคโตซานนาโนคอมพอสิต ปฏิบัติงาน ณ ส่วนบำบัดน้ำทิ้ง ในพื้นที่โครงการดอยตุงฯ

รูปที่ 4.15 ชุดอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนของไคโตซานนาโนคอมพอสิต

น้ำทิ้งในระบบที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ มาจากส่วนงาน 2 ส่วนคือ ส่วนโรงกระดาษา และส่วนโรงย้อมสีเส้นด้ายของทางโครงการพัฒนาดอยตุง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย



น้ำทิ้งจากส่วนโรงย้อมกระดาษสา



น้ำทิ้งจากส่วนโรงย้อมสีเส้นด้าย

รูปที่ 4.16 แสดงส่วนงานในโครงการดอยตุง ประกอบด้วย โรงกระดาษสา และโรงย้อมสีเส้นด้ายที่มีการนำน้ำทิ้งในระบบมาทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนด้วยโคไตซานนาโนคอมพอสิต

ระบบบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ของโครงการพัฒนาดอยตุงฯ มีการใช้วิธีการบำบัดร่วมกันระหว่างวิธีทางกายภาพ เคมี และการใช้จุลินทรีย์บำบัดในบ่อสุดท้าย มีปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ระบบต่อวันประมาณ 30-40 ลูกบาศก์เมตร เริ่มจาก จุดที่ 1 บ่อพักน้ำทิ้ง จากนั้น จุดที่ 2 ปรับค่าพีเอช ก่อนปล่อยลงสู่ จุดที่ 3 บ่อที่มีการบำบัดด้วยการใช้จุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศ และตามด้วย จุดที่ 4 บ่อพักเติมอากาศหรือบึงประดิษฐ์เติมอากาศ สุดท้ายเป็น จุดที่ 5 บ่อพักน้ำหลังการบำบัด ซึ่งผ่านเกณฑ์คุณภาพตามมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม น้ำจากส่วนนี้มีการนำไปใช้รดน้ำต้นไม้ ในแปลงสาธิตการเพาะปลูกผัก ของทางโครงการ แสดงถึงคุณภาพของน้ำทิ้งดังแสดงในรูปที่ 4.17



ระบบบำบัดน้ำเสียจากแหล่งน้ำทิ้ง ส่วนโรงย้อมกระดาษสา และโรงย้อมสีเส้นใยฝ้ายของทางโครงการพัฒนาออยตุง

รูปที่ 4.17 แสดงระบบบำบัดน้ำเสีย โดย “ใช้ธรรมชาติ ช่วยธรรมชาติ” ของโครงการพัฒนาออยตุงฯ



จุดเก็บน้ำ บ่อพักน้ำทิ้งก่อนนำเข้าระบบบำบัดของโรงงานฯ



จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง บ่อพักสุดท้ายของระบบบำบัดโรงงาน

รูปที่ 4.18 แสดงจุดที่เลือกเก็บน้ำทิ้งตัวอย่างในระบบมาทดสอบการตกตะกอนด้วยโคโคซานนาโนคอมพอสิต

ในการทดสอบการตกตะกอนด้วยสารโคโตซานนาโนคอมพอสิต ได้เลือกใช้น้ำทิ้งที่จุดแรกและจุดสุดท้าย คือบ่อกัก น้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ ซึ่งมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างแล้ว ซึ่งน้ำดังกล่าวมีลักษณะ ขุ่น มีสีน้ำตาล มีตะกอนมาก และมีกลิ่นเหม็น นำน้ำทิ้งจาก 2 จุดนี้จำนวน 20 ลิตร เติมสารตกตะกอนปริมาตร 125 มิลลิลิตร หรือคิดเป็นปริมาณใช้สารตกตะกอนเท่ากับ 150 ppm ทำการผสมด้วยการใช้การเติมอากาศ และทิ้งให้ตกตะกอน จากนั้นสังเกตผลการทดลอง เก็บข้อมูลเบื้องต้น ทั้งส่วนน้ำหลังการตกตะกอนและตะกอน โดยมีกิจกรรมการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20



โคโตซานนาโนคอมพอสิต



ระหว่างการตกตะกอน

รูปที่ 4.19 การทดลองตกตะกอนน้ำทิ้งตัวอย่างในระบบด้วยโคโตซานนาโนคอมพอสิต



น้ำทิ้งตัวอย่าง



วัดค่าพีเอช ได้ 7.68



น้ำทิ้งหลังการตกตะกอน วัดค่าพีเอช ได้ 7.4

รูปที่ 4.20 ลักษณะน้ำทิ้งก่อนและระหว่างการตกตะกอนด้วยโคโตซานนาโนคอมพอสิต



ลักษณะการเกิดตะกอนเมื่อเติมสารตกตะกอน
โคโตซานนาโนคอมพอสิต



เปรียบเทียบน้ำก่อนและหลังการตกตะกอน

รูปที่ 4.21 ลักษณะการเกิดตะกอนและการเปรียบเทียบลักษณะน้ำทิ้งก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยโคโตซานนาโนคอมพอสิต

ลักษณะน้ำทิ้งหลังการตกตะกอน มีลักษณะใส มีสีเหลืองอ่อน มีตะกอนน้อย ไม่มีกลิ่น ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำต่อไป

2. การตรวจสอบสมบัติน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการตกตะกอน ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการตกตะกอน ได้นำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตามมาตรฐานการทดสอบน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และมาตรฐานโรงฟอกย้อมได้ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งตัวอย่างที่จุดก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังการตกตะกอน เปรียบเทียบโดยอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงฟอกย้อม และน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ^{1/}	หน่วยระบุ	ตัวอย่างน้ำ		มาตรฐานอ้างอิง ^{2/}	
		น้ำทิ้งจุดแรก	น้ำหลังการตกตะกอน	Paper Mill	Total Waste Water Treatment Plant
Color (ADMI)	ADMI	325	42	350	350
Color (at pH 7)	ADMI	310	40	350	350
Biochemical Oxygen Demand	mg/l	80	24	30	20
Chemical Oxygen Demand	mg/l	105	54	270	270
Arsenic	mg/l	0.0005	<0.0005	-	
Cadmium	mg/l	<0.002	<0.002	-	

^{1/} Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, 2012.

^{2/} Notification of the Ministry of Industry, B.E.2561 (2018), issued under Factory Act B.E.2560 (2017), published in the Royal Government Gazette No.135 Part 279D dated November 5, B.E.2561 (2018).

ในตารางที่ 4.9 กรณีสืบค่า BOD ของน้ำหลังการตกตะกอน ที่มีค่าสูงกว่า น้ำทิ้งก่อนตกตะกอน สาเหตุมาจาก ช่วงเวลาในการนำน้ำทิ้งตัวอย่างส่งทดสอบ โดยน้ำทิ้งก่อนทดสอบเป็นน้ำตัวอย่างใหม่ที่ส่งวิเคราะห์ ภายหลังจากการนำทดลองจริงที่โครงการฯ ในขณะที่น้ำตัวอย่างหลังการตกตะกอน เป็นตัวอย่างน้ำจริงหลังการทดลองในพื้นที่ ซึ่งมีช่วงเวลาในการเก็บทิ้งไว้ก่อนส่งทดสอบ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งตัวอย่างที่จุดก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำทิ้งหลังการตกตะกอน เปรียบเทียบโดยอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงฟอกย้อม และน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ^{1/}	หน่วยระบุ	ตัวอย่างน้ำ		มาตรฐานอ้างอิง ^{2/}	
		น้ำทิ้งที่จุดบ่อกักสุดท้าย	น้ำทิ้งหลังการตกตะกอน	Paper Mill	Total Waste Water Treatment Plant
Color (ADMI)	ADMI	39	21	350	350
Color (at pH 7)	ADMI	36	19	350	350
Biochemical Oxygen Demand	mg/l	2.0	5.2	30	20
Chemical Oxygen Demand	mg/l	83	42	270	270
Arsenic	mg/l	0.0005	<0.0005	-	-
Cadmium	mg/l	<0.002	<0.002	-	-

^{1/} Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, 2012.

^{2/} Notification of the Ministry of Industry, B.E.2561 (2018), issued under Factory Act B.E.2560 (2017), published in the Royal Government Gazette No.135 Part 279D dated November 5, B.E.2561 (2018).

จากผลการทดลอง พบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งที่กำหนดไว้โดยกรมโรงงานของประเทศไทย และในเรื่องของลักษณะสีของน้ำทิ้งก่อนและหลังผ่านการตกตะกอนด้วยโคโคซานนาโนคอมพอสิต พบว่า สามารถลดความเข้มข้นน้ำทิ้งได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ

4.6 การจัดทำเอกสาร “ย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” และการจัดกิจกรรมอบรมให้ความรู้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนทอผ้าฝ้ายในพื้นที่อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย

ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำเอกสาร “ย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” ซึ่งเรียบเรียงขึ้นจากการรวบรวมข้อมูลเอกสารวิชาการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยฝ้ายและไหม สีและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกย้อม กระบวนการย้อม อันตรายของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการย้อม วิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อม ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยด้านสารเคมีและวิธีปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการย้อมสี เอกสารดังกล่าวได้จัดพิมพ์ขึ้นในรูปแบบขนาด A5 ความยาว 48 หน้า จำนวน 100 เล่ม ดังแสดงในรูปที่ 4.22 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้เผยแพร่ไปสู่วิสาหกิจชุมชนผู้ประกอบการย้อมสีสิ่งทอ เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สีย้อมในการย้อมเส้นใยธรรมชาติ รวมทั้งสร้างความตระหนักถึงอันตรายจากสารเคมีในกระบวนการย้อมและแนวทางการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยต่อตนเองและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4.22 เอกสาร “ย้อมสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย”

การจัดอบรมเรื่อง “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” ให้แก่วิศาสหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าใน ตำบลพระบาทนาสิงห์ อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย

ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดอบรมให้ความรู้เรื่อง “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” ณ วัดพระบาทนาหงส์ ตำบลพระบาทนาสิงห์ อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย (แสดงดังรูปที่ 4.15) เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2561 เวลา 10.00 – 12.00 น. เพื่อให้ความรู้แก่วิศาสหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าและย้อมผ้าในพื้นที่ตำบลพระบาทนาสิงห์และคนในชุมชนที่สนใจ ทั้งนี้การประกอบอาชีพทอผ้าในพื้นที่ดังกล่าวเป็นการผลิตผ้าฝ้ายทอมือซึ่งใช้เส้นด้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้สีสังเคราะห์ (สีเคมี) และยังไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งภายหลังการย้อมอย่างเหมาะสม คณะผู้วิจัยและหน่วยงานภาครัฐในพื้นที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ที่คนในชุมชนจะได้รับจากการอบรมในครั้งนี้ ทางโครงการฯ จึงได้จัดกิจกรรมนี้ขึ้น โดยได้รับความร่วมมือจาก คุณอัญชนิดา กมลเพชร หัวหน้ากลุ่มงานส่งเสริมการพัฒนาชุมชน สำนักงานพัฒนาชุมชน จังหวัดหนองคาย และ คุณรังสรรค์ โทสาลี นักวิชาการพัฒนาชุมชนชำนาญการ รักษาการแทนพัฒนาการอำเภอรัตนวาปี ในการประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้คนในชุมชนที่เกี่ยวข้องได้เข้ารับการอบรมดังกล่าว



รูปที่ 4.23 การจัดอบรมเรื่อง “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” ณ วัดพระบาทนาหงส์ ตำบลพระบาทนาสิงห์ อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย

สำหรับผู้เข้ารับการอบรมในครั้งนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 29 คน โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทอผ้า (คิดเป็นร้อยละ 90) ย้อมเส้น และทำนา ซึ่งมาจากกลุ่มต่าง ๆ ในพื้นที่ของตำบลพระบาทนาสิงห์ ดังนี้

- กลุ่มทอผ้าบ้านพระบาทนาหงส์ จำนวน 10 คน
- กลุ่มทอผ้าบ้านพรสวรรค์ จำนวน 11 คน
- กลุ่มทอผ้าบ้านหงสาวดี จำนวน 4 คน
- กลุ่มทอผ้าบ้านนาหงส์คำ จำนวน 4 คน

ในการอบรมคณะผู้วิจัยได้ให้ความรู้ในรูปแบบการบรรยายและการสาธิตในหัวข้อต่อไปนี้

- ความรู้เรื่องสีเคมีที่ใช้ในการย้อมเส้นใยธรรมชาติ
- อันตรายของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกย้อม
- ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกัน สัญลักษณ์ความปลอดภัยสำหรับสารเคมี และวิธีปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการฟอกย้อมผ้า

- วิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการย่อยอย่างง่าย

ในระหว่างการอบรมยังได้มีการจัดกิจกรรมเพื่อให้ผู้เข้าร่วมอบรมได้ฝึกปฏิบัติ อาทิ การฝึกปฏิบัติสำหรับวิธีการใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองเพื่อความปลอดภัยในการย่อย (รูปที่ 4.24) การฝึกทำชุดกรองน้ำทิ้งหลังการย่อยอย่างง่าย (รูปที่ 4.25) การแข่งขันการอ่านสัญลักษณ์ความปลอดภัยบนฉลากสารเคมี (รูปที่ 4.26) นอกจากนี้ยังมีการแจกเอกสาร“การย่อยสีเส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” (รูปที่ 4.27) ให้กับผู้เข้ารับการอบรม และหัวหน้ากลุ่มงานส่งเสริมการพัฒนาชุมชน สำนักงานพัฒนาชุมชน จังหวัดหนองคายด้วย เพื่อเป็นการเผยแพร่ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้สีย้อมและชุมชน



รูปที่ 4.24 การฝึกปฏิบัติสำหรับวิธีการใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองเพื่อความปลอดภัยในการย่อย



รูปที่ 4.25 การฝึกทำชุดกรองน้ำทิ้งหลังการย่อยอย่างง่าย



รูปที่ 4.26 การแข่งขันการอ่านสัญลักษณ์ความปลอดภัยของสารเคมี



รูปที่ 4.27 การแจกเอกสาร “การข่มขี่เส้นใยธรรมชาติอย่างไรให้ปลอดภัย” ให้กับผู้เข้ารับการอบรม

จากการประเมินผลการอบรมโดยการใช้แบบสอบถามพบว่า มีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 20 ราย ซึ่งในจำนวนนี้เป็นผู้ประกอบอาชีพทอผ้าจำนวน 18 คน (เป็นผู้ทำในขั้นตอนการทอผ้าจำนวน 13 คน ย้อมผ้าจำนวน 2 คน และตัดเย็บจำนวน 3 คน) โดยผลคะแนนที่ได้รับ (จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน) แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินการอบรม “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” ณ วัดพระบาทนาหงส์ ตำบลพระบาทนาสิงห์ อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนนที่ได้รับ (คะแนนเต็ม 5 คะแนน)
1. ความน่าสนใจของหัวข้อการอบรม	4.6
2. ความเหมาะสมของเนื้อหา	4.7
3. การสื่อสารให้เกิดความเข้าใจ	4.4
4. ความเหมาะสมของระยะเวลา	4.0
5. การตอบคำถามของวิทยากร	4.5
6. ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม	4.6
7. สถานที่จัดอบรม	4.2
8. อาหาร-เครื่องดื่ม	4.5
9. โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจต่อการอบรมครั้งนี้เพียงใด	4.7

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยการนำโคโตซานนาโนคอมพอสิตมาใช้ในการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายแบบ zero-waste โดยวิธีตกตะกอน ครั้งนี้ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. สถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มตัวอย่างวิสาหกิจชุมชนผ้าไทยทั้ง 10 กลุ่ม จากพื้นที่ภาคเหนือซึ่งมีการใช้เส้นด้ายจากฝ้าย และภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีการใช้เส้นด้ายจากไหม พบว่ามีการใช้สีย้อมธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการย้อมเส้นด้ายมากกว่าร้อยละ 85 ซึ่งมีเฉพาะกลุ่มที่มีการใช้สีเคมี (ร้อยละ 15) ในการย้อมสีเส้นด้ายที่มีการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบบำบัดแบบง่ายซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเภทผ้าและสิ่งทอ
2. การพัฒนานำสูตรผสมโคโตซานนาโนคอมพอสิตและปรับให้เหมาะสมกับน้ำทิ้งสีย้อมในการวิจัย (อ้างอิงสูตรจากเลขที่คำขอสิทธิบัตรที่ 1501002870) โดยการทดลองในระดับปฏิบัติการ สามารถตกตะกอนหรือแยกสีธรรมชาติในน้ำสีย้อมได้มากกว่าร้อยละ 90 คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม และกลุ่มสีธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยสีแดงจากครั่ง แก่นฝาง และใบสัก และสีเขียวอ่อนจากเปลือกเพกา และพบว่าตะกอนสีจากครั่ง และ ฝาง สามารถนำกลับมาละลายน้ำได้ใหม่ มีโอกาสในการนำกลับมาใช้เป็นสีสำหรับงานตกแต่ง สีนผ้าหรือวัสดุอื่นๆ ได้
3. ในการปรับปรุงสูตรตกตะกอนโคโตซานนาโนคอมพอสิตเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้งตัวอย่างจากระบบบำบัดของโครงการพัฒนาต่างๆ โดยการนำน้ำตัวอย่างมาทดลองในระดับปฏิบัติการและนำไปประยุกต์ใช้จริง ณ พื้นที่ คือโรงบำบัดน้ำทิ้งของโครงการพัฒนาต่างๆ พบว่า สารตกตะกอนที่พัฒนาสามารถบำบัดน้ำทิ้งตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั่วไป และกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกย้อมกระดาษและสิ่งทอ โดยมีค่าสี หรือ ADMI อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
4. ในการเผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยในการใช้สีย้อม ได้จัดทำเอกสารคู่มือ “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” และถ่ายทอดความรู้ดังกล่าวในการอบรมให้แก่ กลุ่มวิสาหกิจ

ชุมชนกลุ่มทอผ้า ในตำบลพระบาทนาสิงห์ จังหวัดหนองคาย มีจำนวนผู้เข้ารับการอบรมประมาณ 20 คน และผลการอบรมได้รับความพึงพอใจในระดับดีถึงดีมาก

รายการเอกสารอ้างอิง

1. Agarwal B J and Patel B H (2000), The reincarnation of natural colourants: A review, *Chemical Weekly* , 45 , 139–146.
2. B. H. Patel, 2014 Handbook of Textile and Industrial Dyeing; Principles, Processes and Types of dyes, Edition: 1, Chapter: Natural Dyes, Publisher: Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, Editors: Matthew Clark, pp.395-421.
3. Ashis Kumar Samanta and Adwaita Konar (2011). Dyeing of Textiles with Natural Dyes, Natural Dyes, Dr. Emriye Akcakoca Kumbasar (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/21341. Available from: <https://www.intechopen.com/books/natural-dyes/dyeing-of-textiles-with-natural-dyes>
4. Hadi, A. G. (2013). Dye removal from colored textile wastewater using synthesized chitosan. *International Journal of Science and Technology*, 2(4), 359–364.
5. Ignat, M.-E., Dulman, V., & Onofrei, T. (2012). Reactive red 3 and direct brown 95 dyes adsorption onto chitosan. *Cellulose Chemistry and Technology*, 46(5-6), 357–367.
6. Piccin, J. S., Vieira, M. L. G., Gonc, alves, J. O., Dotto, G. L., & Pinto, L. A. A. (2009). Adsorption of FD&C Red No. 40 by chitosan: Isotherms analysis. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 16–20.
7. Jana, S., Saha, A., Nayak, A. K., Sen, K. K., & Basu, S. K. (2013). Aceclofenac-loaded chitosan-tamarind seed polysaccharide interpenetrating polymeric network microparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 105(0), 303–309.
8. Sorlier, P., Denuzière, A., Viton, C., & Domard, A. (2001). Relation between the degree of acetylation and the electrostatic properties of chitin and chitosan. *Biomacromolecules*, 2(3), 765–772.
9. Cárdenas, G., Anaya, P., von Plessing, C., Rojas, C., & Sepúlveda, J. (2008). Chitosan composite films. Biomedical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(6), 2397–2405.
10. Gupta, V. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal—A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342.
11. Piron, E., Accominotti, M., & Domard, A. (1997). Interaction between chitosan and uranyl ions. Role of physical and physicochemical parameters on the kinetics of sorption. *Langmuir*, 13(6), 1653–1658.

12. Aranaz, I., Mengibar, M., Harris, R., Panos, ~ I., Miralles, B., Acosta, N., Galed, G., & Heras, Á. (2009). Functional characterization of chitin and chitosan. *Current Chemical Biology*, 3(2), 203–230.
13. Guibal, E. (2004). Interactions of metal ions with chitosan-based sorbents: A review. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 43–74.
14. Hamdine, M., Heuzey, M.-C., & Bégin, A. (2005). Effect of organic and inorganic acids on concentrated chitosan solutions and gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 37(3), 134–142.
15. Crini, G., & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solution by adsorption process using batch studies: A review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, 33, 399– 447.
16. Zubieta, C. E., Messina, P. V., Luengo, C., Dennehy, M., Pieroni, O., and Schulz, P. C. (2008). Reactive dyes remotion by porous TiO₂-chitosan materials. *Journal of Hazardous Materials* 152, 765-777.
17. Zainal, Z., Hui, L. K., Hussein, M. Z., Abdullah, A. H., and Hamadneh, I. R. (2009). Characterization of TiO₂-Chitosan/Glass photocatalyst for the removal of a monoazo dye via photodegradation-adsorption process. *Journal of Hazardous Materials* 164, 138-145.
18. Mandeep Kaloti a, H.B. Bohidar Kinetics of coacervation transition versus nanoparticle formation in chitosan–sodium tripolyphosphate solutions *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 81 (2010) 165–173.
19. Liu, L. F., Zhang, P. H., and Yang, F. L. (2010). Adsorptive removal of 2,4-DCP from water by fresh or regenerated chitosan/ACF/TiO₂ membrane. *Separation and Purification Technology* 70, 354-361.
20. Merzouk, B.; Gourich, B.; Madani, K.; Vial, C.; Sekki, A. Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study. *Desalination* 2011, 272, 246.
21. Golob, V., Vinder, A., Simonic, M., 2005. Efficiency of coagulation/flocculation method for treatment of dye bath effluents. *Dyes and Pigments* 67, 93-97.
22. Szygula, A.; Guibal, E.; Ariño Palacín, M.; Ruiz, M.; Sastre, A. M. Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation-flocculation using chitosan. *J. Environ. Manage.* 2009, 90, 2979.
23. Mishra, A., Bajpai, M., 2005. Flocculation behaviour of model textile wastewater treated with a food grade polysaccharide. *Journal of Hazardous Materials* B118, 213-217.

24. Beltran-Heredia, J.; Sánchez Martín, J. Azo dye removal by Moringa Oleifera seed extract coagulation. *Color. Technol.* 2008, 124, 310.
25. Beltran-Heredia, J.; Sánchez Martín, J.; Delgado-Regalado, A. Removal of Carmine Indigo Dye with Moringa Oleifera seed extract. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009, 48, 6512.
26. Oladoja, N. A.; Aliu, Y. D.; Ofomaja, A. E. Evaluation of snail shell as a coagulant aid in the alum precipitation of aniline blue from aqueous solution. *Environ. Technol.* 2011, 32, 639.
27. Fang, R.; Cheng, X.; Xu, X. Synthesis of lignin-base cationic flocculant and its application in removing anionic azo-dyes from simulated wastewater. *Bioresour. Technol.* 2010, 101, 7323.
28. Georgiou, D., Aivazidis, A., Hatiras, J., Gimouhopoulos, K., 2003. Treatment of cotton textile wastewater using lime and ferrous sulfate. *Water Research* 37, 2248-2250.
29. Bidhendi, GR. N., Torabian, A., Ehsani, H., Razmkhah, N., 2007. Evaluation of industrial dyeing wastewater treatment with coagulants and polyelectrolyte as a coagulant aid. *Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering* 4, 29-36.
30. Kim, T. H., Park, C., Yang, J., Kim, S., 2004. Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and fenton oxidation. *Journal of Hazardous Materials* 112 (1-2). 95-103.
31. Moghaddam, S. S.; Moghaddam, M. R. A.; Arami, M. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: Optimization through response surface methodology. *J. Hazard. Mater.* 2010, 175, 651.
32. Riera-Torres, M.; Gutiérrez-Bouzán, C.; Crespi, M. Combination of coagulation-flocculation and nanofiltration techniques for dye removal and water reuse in textile effluents. *Desalination* 2010, 252, 53.
33. Tan, B. H., Teng, T. T., Omar, A. K. M. 2000. Removal of dyes and industrial dye wastes by magnesium chloride. *Water Research* 34, 597-601.
34. Gao, B. Y., Yue, Q. Y., Wang, Y., Zhou, W. Z., 2007. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. *Journal of Environmental Management* 82, 167-172.
35. Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., Singh, V., 2006. *Ipomoea dasysperma* seed gum: An effective natural coagulant for the decolorisation of textile dye solutions. *Journal of Environmental Management* 81, 36-41.
36. Lancy, L.E. 1977. Treatment of dye wastes. U.S. Patent No. 4,045,171.

37. Weber, O.W. 1994. Process for color reduction of dye wastewater. EP 0618176 B1
38. Shepperd, P.W. et al. 1998. Process for dye removal. U.S. Patent 5,750,035.
39. Pacifici, J.A. et al. 2000. Method of removing colorants from wastewater. U.S. Patent No. 6,059,978.
40. Sastre Requena, A.M. et al. 2010. Use of biopolymer chitosan for the removal of colour from wastewater using a combined coagulation-flocculation and adsorption process. WO 2010/133734 A1.
41. Sionkowska, A., Wisniewski, M., Skopinska, J., Kennedy, C.J. & T.J. Wess (2004). Molecular interactions in collagen and chitosan blends. *Biomaterials*, 25, 795-801.
42. Negrea, P., Caunii, A., Sarac, I. & Butnariu, M. (2015). The study of infrared spectrum of chitin and chitosan extract as potential sources of biomass. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 10(4), 1129-1138.
43. Dabbas, M.A., Eisa, M.Y. & Kadhim, W.H. (2014). Estimation of gypsum-calcite percentages using a Fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR), in Alexandria Gypsiferous soil – Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 55(4B), 1916-1926.
44. George, S. (2001). *Infrared and Raman characteristic group frequencies-Tables and Charts*. John Wiley & Sons, Ltd.
45. Deb, A.K., Shaikh, M.A., Sultan, M.Z. & Rafi, M.I.H. (2017). Application of lac dye in shoe upper leather dyeing. *Revista de Pielarie Încăltăminte*, 17, 97-106.
46. Wongwad, E., Jimtaisong, A., Saewan, N. & Krisadaphong, P. (2012). Preparation of lake pigment from Thai lac dye. *2nd International Conference on Biomedical Engineering and Technology, IPCBEE, IACSIT Press, Singapore*, 34, 73-78.

ภาคผนวก

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. เพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมสีเส้นด้ายโดยการตกตะกอนด้วยสารโคโคซานคอมพอลิท์ 2. เพื่อตรวจสอบสมบัติตะกอนสีย้อมที่ได้และคุณภาพน้ำทิ้งหลังตกตะกอน และประเมินคุณภาพในการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ 3. เพื่อคุณภาพน้ำทิ้งหลังตกตะกอน และประเมินคุณภาพในการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ งานที่เพิ่มเติมจากข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ	1. การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย (จำนวนแหล่งข้อมูลไม่น้อยกว่า 10 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) 2. การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตกตะกอนสีย้อมธรรมชาติ โดยมีค่าที่ต้องตรวจวัดในระดับปฏิบัติการประกอบด้วย - สูตรและสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน	การลงพื้นที่สำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย จำนวน 10 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การทดลองในระดับปฏิบัติการเพื่อหา 1. สูตรและสภาวะในการตกตะกอนสีย้อมจากน้ำสีตัวอย่างที่เป็นวัตถุดิบใช้จริงในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายและไหม 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง สารตกตะกอนตะกอนสีหลังการตกตะกอนจากน้ำสี	1. รายงานการวิจัยผลการนำสารโคโคซานคอมพอลิท์ไปใช้ในการตกตะกอนสีย้อมธรรมชาติจากน้ำทิ้งสีย้อมธรรมชาติในระดับปฏิบัติการ และแนวทางการใช้ประโยชน์จากตะกอนสีที่แยกได้ 2. การนำเทคโนโลยีการตกตะกอนด้วยสารโคโคซานคอมพอลิท์ไปใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้งจากส่วนงานโรงกระดาษสาและโรงย้อมสีเส้นด้าย ในโครงการพัฒนาออยดุงฯ 3. รายงานสถานภาพการใช้สีย้อมทั้งธรรมชาติและเคมีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตัวอย่าง

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
- การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย และการเผยแพร่ให้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการใช้สีย้อมสิ่งทอต่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชน	- ร้อยละการตกตะกอน ค่าที่เกี่ยวข้อง อาทิ ร้อยละของตะกอน ความชื้น และคุณภาพน้ำหลังการตกตะกอน (พีเอช) - การวิเคราะห์สมบัติตะกอนและประเมินแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์	และคุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนทั้งทางกายภาพและเคมี	4. เอกสารเผยแพร่ “คู่มือ “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” 5. กิจกรรมอบรมถ่ายทอดความรู้ดังกล่าวในการอบรมให้แก่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าในตำบลพระบาทนาสิงห์ จังหวัดหนองคาย
	3. การนำสูตร วิธีการไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจริงในโครงการพัฒนาอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) ในพระราชดำริ อำเภออยตุง จังหวัดเชียงราย	การนำสูตรที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจริงในระบบจากส่วนโรงย้อมสีเส้นด้ายและโรงกระดาษสาและทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัด	
	4. จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ด้าน “สีย้อมธรรมชาติและสี ส้มเคราะห์ สำหรับผ้าทอพื้นเมือง ความปลอดภัยและการเลือกใช้ที่ถูกต้อง” และ/หรือ การเข้าร่วมกิจกรรมเป็น วิทยากรในการอบรมให้ความรู้	จัดทำเอกสารคู่มือ “ความปลอดภัยกับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ” และถ่ายทอดความรู้ดังกล่าวในการอบรมให้แก่ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอผ้าในตำบลพระบาทนาสิงห์ จังหวัดหนองคาย	

1.10 แบบฟอร์ม ตาราง Output

สัญญาเลขที่ RDG61T0046

การพัฒนาวิธีบำบัดสีย้อมจากกระบวนการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายแบบ zero-waste โดยวิธีตกตะกอนด้วยอนุภาค

นาโนไคโตซานคอมพอสิต

สรุปรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3

ตาราง เปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ดำเนินการได้จริงในรอบ 12 เดือน

Output		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่านระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. การสำรวจข้อมูลสถานภาพการใช้สีย้อมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผ้าทอพื้นเมืองและ/หรือผ้าไทย (จำนวนแหล่งข้อมูลไม่น้อยกว่า 10 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)	100%	
2. การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการถึง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตกตะกอนสีย้อมธรรมชาติ โดยมีค่าที่ต้องตรวจวัดในระดับปฏิบัติการ	100%	-
3. การนำสูตร วิธีการไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจริงในโครงการพัฒนาออยดุง (พื้นที่ทรงงาน) ในพระราชดำริ อำเภอออยดุง จังหวัดเชียงราย	100%	-
4. จัดทำเอกสารเผยแพร่ความรู้ด้าน “สีย้อมธรรมชาติ และสีสังเคราะห์ สำหรับผ้าทอพื้นเมือง ความปลอดภัยและการเลือกใช้ที่ถูกต้อง” และ/หรือ การเข้าร่วมกิจกรรมเป็นวิทยากรในการอบรมให้ความรู้	100%	
5. สรุป และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	100%	

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.กฤษณา ศิริเลิศมุกุล)

วันที่.....

1.11 แบบฟอร์ม ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

☒ ประชุมคณะผู้วิจัย จำนวน 12 ครั้ง

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล)

วันที่.....