บทที่ 5

การวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 อิทธิพลของประเภทสีย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

จากผลการทดลองการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมฝ้ายด้วยสีย้อมประเภทต่าง ๆ ด้วยวิธีตกตะกอน เห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม ยกตัวอย่างเช่น แทบจะไม่สามารถกำจัดสีออกจากน้ำเสียอันเกิดจากขบวนการย้อมด้วยสีย้อมรีแอคตีฟได้เลย แม้ว่าจะได้ใช้สารเคมีช่วยตกตะกอนต่างชนิดและด้วยปริมาณมากก็ตาม ในทางตรงกันข้ามน้ำเสียอันเกิดมาจากสีย้อมแวตจะถูกกำจัดสีลงไปได้มากกว่า 90 % โดยใช้ปริมาณสารเคมีเพียงจำนวนน้อย ส่วนน้ำเสียอันเกิดมาจากสีย้อมประเภทอื่น ๆ อันได้แก่สีย้อมซัลเฟอร์ เมททัลลิค ไดเรกท์และอะไซอิค จะถูกกำจัดสีลงไปได้เช่นกัน แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ได้ก็ลดหลั่นกันไปตามประเภทของสีย้อมนั้น ๆ

จากประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสีย้อมแต่ละประเภทที่แตกต่างกันอย่างมากมายนี้ แสดงได้อย่างชัดเจนว่าประเภทของสีย้อมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ดังนั้น ข้อที่ควรพิจารณาเป็นเบื้องต้นในการกำจัดสีจากโรงย้อมควรมุ่งประเด็นไปที่ประเภทของสีย้อมเป็นอันดับแรก แล้วจึงพิจารณาความเข้มของสี สารช่วยย้อม ค่าความเป็นด่าง ฯลฯ เป็นลัดส่วนรองลงมา

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมด้วยสีย้อมไดเรกท์และรีแอคตีฟ (ดูตารางที่ 5.1) ซึ่งจัดว่ากำจัดสีได้ยากกว่าน้ำเสียประเภทอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ประเภทนี้มีสมบัติคล้ายคลึงกันทุกประการทั้งในรูปของค่าสี พีเอช ความเป็นด่าง หรือแม้แต่สารช่วยย้อมหลัก (ซึ่งมีปริมาณสารที่ใกล้เคียงกัน) แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ได้แตกต่างกันอย่างมากโดยเฉพาะการใช้สารส้มเป็นตัวช่วยให้เกิดและตกตะกอน นอกจากนี้สีย้อมรีแอคตีฟยังจำเป็นต้องใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่าสีย้อมไดเรกท์อีกด้วย ประสิทธิภาพการกำจัดสีได้แสดงสรุปไว้ในตารางที่ 5.1 เช่นกัน

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสีย้อมไดเรกท์และรีแอคทีฟ

	น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมด้วยสีย้อม	
	ไดเรกท์ (มีสารช่วยย้อม)	รีแอคทีฟ (มีสารช่วยย้อม)
ค่าสี (เอดีเอ็มไอ)	3,500-5,500	3,000-5,200
ค่าพีเอช	10.5-10.6	10.6-10.7
ความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$)	1,800-1,900	1,500-1,600
ชนิดของสารช่วยย้อมหลัก	1. Na_2SO_4 (5.15 ก./ลบ.ดม.) 2. Na_2CO_3 (2.06 ก./ลบ.ดม.)	1. Na_2SO_4 (5.70 ก./ลบ.ดม.) 2. Na_2CO_3 (1.72 ก./ลบ.ดม.)
ประสิทธิภาพในการกำจัดสี* :		
สารส้ม	90-95 % (180-550)**	0-30% (2,000-5,000)
ปูนขาว	30-80% (600-2,400)	0-17% (2,500-5,200)
ปูนขาว + MCHB	45-88% (450-1,900)	5-40% (1,900-4,800)

* ดูปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.7

** ค่าในวงเล็บคือค่าเอดีเอ็มไอ ที่เหลือในน้ำเสียหลังบำบัด (ซึ่งควรได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 300 เอดีเอ็มไอ)

จากตัวอย่างที่ยกมาแสดงดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าสมควรที่จะให้ความสำคัญของสีย้อมอย่างมาก แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ความรู้เกี่ยวกับสีย้อมเป็นเรื่องที่สลับซับซ้อน โครงสร้างของสีย้อมบางชนิดที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่ทราบอย่างแน่ชัด อีกทั้งเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุตสาหกรรมสิ่งทอก็ยังไม่เป็นที่เปิดเผยกันเท่าที่ควรเนื่องมาจากผลประโยชน์ทางด้านการค้า ดังนั้น การที่จะนำความรู้ด้านคุณสมบัติของสีย้อมมาประยุกต์เข้าสู่ทฤษฎีของขบวนการโคแอกกูเลชันจึงยังทำได้ไม่มากนัก

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาถึงประเภทของสีย้อมซึ่งได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.1.3.3 และจากผลการทดลองที่ได้รับ มีจุดที่น่าจะพิจารณาคือการละลาย (solution) ของสีย้อมในน้ำ สีย้อมแวต ซัลเฟอร์ อะโซอิคและเมททัลลิคไม่สามารถละลายได้ในน้ำ ต้องใช้สารประกอบตัวอื่นมาทำการละลายแล้วจึงนำไปทำการย้อมจากนั้นจึงทำให้ตัวสีย้อมคืนรูปเดิมด้วยการออกซิไดส์ สีย้อมรีแอคตีฟละลายได้อย่างดีในน้ำ ส่วนสีย้อมไดเรกท์ไม่มีการระบุไว้ว่าละลายน้ำหรือไม่[4, 6]

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการกำจัดสีโดยใช้สารเคมีเข้าช่วยในการตกตะกอนสามารถจะกระทำได้ทุกสีย้อม ยกเว้นสีย้อมรีแอคตีฟ เหตุที่เป็นดังนี้น่าจะเป็นเพราะว่าอนุภาคของสีย้อมแวต ซัลเฟอร์ อะโซอิคและเมททัลลิคซึ่งไม่ละลายน้ำมีอนุภาคใหญ่พอสมควรสามารถจัดอยู่ในกลุ่มอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรโฟบิคซึ่งสามารถทำให้ตกตะกอนลงได้โดยใช้สารเคมีปริมาณไม่มากนัก ส่วนสีย้อมรีแอคตีฟซึ่งเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดีน่าจะจัดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรฟิลิค ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรฟิลิคนี้ไม่สามารถจะทำให้ตกตะกอนลงได้อย่างง่าย ๆ นอกจากจะกระทำโดยเปลี่ยนค่าความสามารถในการละลาย (solubility) ของสาร[24] เสียก่อน

สำหรับสีย้อมไดเรกท์ซึ่งไม่ได้ระบุไว้อย่างชัดเจนว่าละลายน้ำหรือไม่ น่าจะจัดเป็นอนุภาคที่มีขนาดก้ำกึ่งกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรโฟบิคและไฮโดรฟิลิค ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การกำจัดสีสามารถกระทำได้แต่จำเป็นต้องใช้สารเคมีค่อนข้างสูง

จากการเปรียบเทียบการละลายหรือไม่ละลายของสีย้อมในน้ำให้เข้าอยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรโฟบิคและไฮโดรฟิลิคนี้ อาจจะทำการคาดเดาถึงผลการกำจัดสีของสีย้อมที่ไม่ได้นำมาทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ อันได้แก่สีย้อมดิสเพอร์ส เอสิดและเบสิค สีย้อมดิสเพอร์ส

เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำน่าที่จะกำจัดสีโดยขบวนการโคแอกกูเลชันได้ง่าย (ซึ่งตรงกับผลการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในรายงานของ EPA[2]) ส่วนสีย้อมเอสิดเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดีจึงไม่น่าที่จะทำการกำจัดสีลงได้ และสำหรับสีย้อมเบสิคซึ่งไม่มีการระบุไว้ว่าละลายน้ำหรือไม่น่าจะจัดเป็นอนุภาคที่ก้ำกึ่งกันระหว่างคอลลอยด์ไฮโดรโฟบิคและไฮโดรฟิลิค อาจจะกำจัดสีลงได้บ้างแต่ไม่น่าจะได้ประสิทธิภาพมากนัก ซึ่งข้อสันนิษฐานนี้น่าที่จะได้มีการทดลองสืบเนื่องต่อไป

5.2 <u>อิทธิพลของโทนสีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี</u>

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในบทที่ 4 เห็นได้ว่าน้ำเสียอันเกิดจากสีย้อมประเภทเดียวกันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ไม่เท่ากันถ้าชนิดของโทนสีที่ใช้แตกต่างกัน ตารางที่ 5.2 แสดงถึงอิทธิพลของโทนสีที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี

ในการใช้สารส้มเป็นตัวกำจัดสี ประสิทธิภาพที่ได้รับแตกต่างกันไปบ้างตามชนิดของโทนสี แต่ไม่อาจสรุปได้ว่าโทนสีใดถูกกำจัดลงได้ง่ายที่สุด เพราะขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

สำหรับการใช้ปูนขาวเป็นตัวกำจัดสี ประสิทธิภาพที่ได้รับแตกต่างกันออกไปมากกว่าการใช้สารส้ม และจุดที่น่าสังเกตคือความยากง่ายในการกำจัดสีแต่ละโทนสีไม่เหมือนกับสารส้ม

เมื่อพิจารณาการใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาว ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในแต่ละโทนสีค่อนข้างที่จะสัมพันธ์กับการใช้ปูนขาวเป็นตัวกำจัดสี กล่าวคือประสิทธิภาพในการกำจัดสีในแต่ละโทนสีแตกต่างกันมากกว่าการใช้สารส้ม และความยากง่ายในการกำจัดสีแต่ละโทนสีคล้ายกับการใช้ปูนขาว

จากผลที่แสดงในตารางที่ 5.2 จึงสรุปได้ว่า โทนสีที่แตกต่างกันมีผลกระทบต่อการกำจัดสีด้วย ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนด้วย แต่สำหรับการใช้สารส้มกำจัดสีผลกระทบนี้จะมีไม่มากนัก นอกจากนี้ความยากง่ายในการกำจัดสีแต่ละโทนสียังแตกต่างกันออกไปเมื่อใช้สารเคมีที่แตกต่างกันอีกด้วย

สาเหตุที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสีย้อมในแต่ละโทนสีแตกต่างกันไปบ้างอาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลของแต่ละโทนสีมีส่วนประกอบปลีกย่อยที่แตกต่างกันไป

ตารางที่ 5.2 อิทธิพลของไหมสีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี *

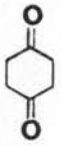
ชนิดของสาร เคมีที่ใช้	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)			ปริมาณสาร ที่ใช้	การกำจัด
	แดง	เหลือง	น้ำเงิน		
1. สีย้อมไดเรกท์					
- สารส้ม (250 มก./ลบ.ดม.)	90(548)**	95(175)	83(670)	ปานกลาง	
- ปูนขาว (750 มก./ลบ.ดม.)	35(3,540)	13(3,030)	76(841)	มาก	ปานกลาง
- ปูนขาว + MCHB	71(1,565)	45(1,920)	94(230)	มาก	
(750มก./ลบ.ดม. + 50มก/ลบ.ดม. Mg^{2+})					
2. สีย้อมแวต					
- สารส้ม (75 มก./ลบ.ดม.)	96 (36)	96(36)	92(101)	น้อย	
- ปูนขาว (37 มก./ลบ.ดม.)	69(306)	74(224)	79(273)	น้อย	ง่าย
- ปูนขาว + MCHB	68(280)	96(36)	93(91)	น้อย	
(375 มก./ลบ.ดม + 10มก./ลบ.ดม. Mg^{2+})					
3. สีย้อมรีแอคตีฟ					
- สารส้ม (750 มก./ลบ.ดม.)	3.3(4,980)	1.2(5100)	30(2080)	มาก	
- ปูนขาว(1000มก./ลบ.ดม.)	6.8(4,800)	0.0(5160)	17(2440)	มาก ๆ	ยาก
- ปูนขาว + MCHB	51(2510)	13(4510)	39(1810)	มาก ๆ	
(1000มก./ลบ.ดม +100มก.ลบ.ดม. Mg^{2+})					

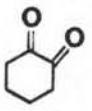
* แสดงเฉพาะสีย้อมที่มีสารช่วยย้อมเจือปน (สีที่เกิดขึ้นจริงในงานสนามทั่วไป)

** ค่าในวงเล็บคือค่า เอดี เอ็มไอที่เหลือในน้ำเสียหลังบำบัด

หมายเหตุ : สีย้อมประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ได้นำมาแสดง เนื่องจากชนิดของไหมสีมีน้อย และชนิดของไหมสีแตกต่างจากไหมสี-ที่นำมาแสดง

ทฤษฎีที่จะให้แง่คิดเกี่ยวกับความแตกต่างของโทนสีนี้เป็นทฤษฎีของ Armstrong[25] ซึ่งแสดงไว้ว่าการเกาะติดของ side chain บางชนิด (ซึ่งก็คือโครโมฟอร์ ในความหมายของ O.N. Witt[7]) บนโมเลกุลของเบนซีนหรือโมเลกุลที่มี conjugate bond จะเป็นตัวทำให้เกิดสีขึ้น และตำแหน่งที่ side chain บางชนิดที่กล่าวนี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับโทนสีที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น โมเลกุลของเบนซีนโดยปกติแล้วไม่มีสี แต่เมื่อเบนซีนถูกเปลี่ยนเป็นควิโนน

p-quinone  มีโทนสีเหลือง

o-quinone  มีโทนสีแดง

จะเกิดสีออกมาทันที และตำแหน่งที่ side chain เข้าไปเกาะติดกับโมเลกุลของเบนซีนในตำแหน่งที่ต่างกันจะทำให้โทนสีที่แสดงออกมาให้เห็นแตกต่างกันตามไปด้วย

ดังนั้น ถ้าพิจารณาตามทฤษฎีของ Armstrong จะกล่าวได้ว่าอนุภาคของสีย้อมในแต่ละโทนสีมีการเกาะติดของโครโมฟอร์ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน อันอาจจะทำให้รูปร่างของโมเลกุลของสีย้อมในแต่ละโทนสีแตกต่างกันออกไป หรืออาจเป็นว่าการเกาะติดของโครโมฟอร์ในตำแหน่งที่แตกต่างกันนี้อาจจะทำให้ประจุไฟฟ้าบนผิวอนุภาคมากน้อยผิดกัน ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในแต่ละโทนสีโดยขบวนการโคแอกกูเลชั่นแตกต่างกันไปบ้าง (ดังแสดงในตารางที่ 5.2)

ส่วนสาเหตุที่ทำให้ความยากง่ายในการกำจัดสีในแต่ละโทนสีโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น สารส้มสามารถกำจัดสีของสีย้อมไดเรกท์ได้ดี แต่โทนสีที่กำจัดได้ง่ายที่สุดคือโทนสีเหลืองและยากที่สุดคือโทนสีน้ำเงิน ในขณะที่สีย้อมประเภทเดียวกันนี้ปูนขาวจะลดสีลงได้น้อย และโทนสีที่กำจัดยากที่สุดคือโทนสีเหลือง ส่วนโทนสีน้ำเงินถูกกำจัดสีได้ง่ายกว่ามาก น่าจะสืบเนื่องมาจากกลไกในการกำจัดสีที่แตกต่างกันของสารเคมีที่ใช้ การศึกษาเกี่ยว

กับความแตกต่างของกลไกในการกำจัดสี คาดว่าจะกินเวลามาก จึงมิได้ครอบคลุมอยู่ในงานวิจัยนี้ซึ่งมีขอบเขตเวลาจำกัด จึงสมควรที่จะได้รับการทดลองวิจัยต่อไป

5.3 อิทธิพลความเข้มของสีในน้ำเสียที่มีต่อค่าสีของน้ำทิ้งหลังบำบัด

ถ้าพิจารณาตามแง่คิดในการลดมวลสารอินทรีย์โดยขบวนการทางชีววิทยาแล้ว ค่าบีโอดีของน้ำเสียจะมีผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดต่อค่าบีโอดีของน้ำทิ้งหลังบำบัด กล่าวคือ ถ้าค่าบีโอดีของน้ำเสียมีค่าสูงมาก โอกาสที่น้ำทิ้งหลังบำบัดจะมีค่าบีโอดีลดลงต่ำจนเป็นที่น่าพอใจก็น้อยลง แต่สำหรับการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงย้อมโดยขบวนการโคแอกกูเลชันแล้ว จะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป ค่าสีของน้ำเสียดูจะไม่มีอิทธิพลเกี่ยวข้องกับค่าสีของน้ำทิ้งหลังบำบัดมากนัก ประสิทธิภาพการกำจัดสีจะขึ้นกับประเภทของสีย้อมที่ละลายอยู่ในน้ำเสียเป็นหลักใหญ่ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือค่าสีของน้ำเสียจากการย้อมด้วยสีย้อมไดเรกท์และสีย้อมรีแอคตีฟซึ่งมีค่าสีสูงใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสีของน้ำหลังบำบัดแตกต่างกันมาก ค่าสีของน้ำหลังบำบัดของสีย้อมไดเรกท์โดยใช้สารส้มอยู่ในเกณฑ์ที่พอจะอนุโลมได้ว่าน่าพอใจ (170-480 เอดีเอ็มไอ) ส่วนค่าสีของน้ำหลังบำบัดของสีย้อมรีแอคตีฟยังมีความน่ารังเกียจอยู่มาก (2000-5000 เอดีเอ็มไอ)

จากค่าที่นำมาแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าแม้ว่าน้ำเสียจะเกิดมาจากสีย้อมประเภทเดียวกันก็ตาม ค่าสีของน้ำเสียก่อนบำบัดอาจมีความแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับโทนสี แต่ความแตกต่างดังกล่าวนี้ดูจะไม่มีผลเกี่ยวกับการลดค่าสีของน้ำมากนัก โทนสีของน้ำเสียและสารเคมีที่ใช้จะมีความเกี่ยวข้องกับค่าสีของน้ำหลังบำบัดมากกว่า

อย่างไรก็ตาม ถ้าน้ำเสียเกิดมาจากสีย้อมประเภทเดียวกัน มีโทนสีเหมือนกัน (อนุภาคของสีย้อมเป็นตัวเดียวกัน) และการกำจัดสีกระทำโดยใช้สารเคมีตัวเดียวกันแล้ว แต่มีค่าสีของน้ำเสียไม่เท่ากัน อาจมีผลกระทบต่อการกำจัดหรือลดสีได้ ซึ่งน่าที่จะได้ทำการทดลองศึกษากันต่อไป เพราะถ้าสามารถจับความสัมพันธ์เหล่านี้ได้จะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการนำไปประยุกต์ใช้งานในภาคสนามได้ โดยพยายามปรับค่าสีของน้ำเสียให้อยู่ในช่วงที่สามารถจะถูกลดสีลงได้ดีที่สุด

ตารางที่ 5.3 ค่าสีของน้ำก่อนและหลังบำบัด

	ค่าสีของน้ำ (เอดีเอ็มไอ) ไทมส์		
	แดง	เหลือง	น้ำเงิน
1. สีย้อมไดเรกท์ :*			
1.1 ค่าสีของน้ำเสีย	5430	3470	3930
1.2 ค่าสีของน้ำหลังบำบัดโดยใช้			
- สารส้ม (250 มก./ลบ.ดม.)	548	175	670
- ปูนขาว(750 มก./ลบ.ดม.)	3540	3030	941
- ปูนขาว + MCHB (750 มก/ลบ.ดม + 50มก/ลบ.ดม.Mg^{2+})	1565	1920	230
2. สีย้อมแวต* :			
2.1 ค่าสีของน้ำเสีย	875	860	1300
2.2 ค่าสีของน้ำหลังบำบัดโดยใช้			
- สารส้ม (75 มก./ลบ.ดม.)	36	35	101
- ปูนขาว(375 มก./ลบ.ดม.)	275	221	273
- ปูนขาว + MCHB (375 มก/ลบ.ดม + 10มก/ลบ.ดมMg^{2+})	18	36	91

* สีย้อมที่มีสารช่วยย้อมเจือปน

5.4 บทบาทของสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

สารช่วยย้อมที่ใช้ในขบวนการย้อมแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท (ดูหัวข้อ 2.1,2.3) แต่ละประเภทจะแบ่งออกเป็นชนิดของสารเคมีต่าง ๆ อีกมากมาย สารเคมีต่าง ๆ เหล่านี้ในแต่ละตัวจะมีความเหมาะสมกับการใช้ร่วมกับสีย้อมบางชนิดเท่านั้น ดังนั้นการที่จะทำความเข้าใจถึงชนิดของสารช่วยย้อมในแต่ละตัวจึงเป็นไปได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามอาจจะสรุปความสำคัญของสารช่วยย้อมได้อย่างหยาบ ๆ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้[2]

- กรดหรือด่าง มักจะใช้ในการปรับค่าพีเอชในระหว่างการย้อม ช่วยให้สีย้อมละลายน้ำได้ดีขึ้น และมักจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย้อม
- เกลือ มักจะใช้เร่งหรือหน่วงปฏิกิริยาในการย้อมซึ่งขึ้นกับระบบที่ใช้ย้อม
- สารรีดิวและสารออกซิไดซ์ใช้กับการย้อมเฉพาะแบบ

บทบาทของสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในบทที่ 4 มีประเด็นที่น่าสนใจดังนี้

5.4.1 ผลกระทบของสารช่วยย้อมที่มีต่อสมบัติของน้ำเสีย

ดูสมบัติของน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองจากตารางที่ 4.1

พิจารณาที่ค่าสีของน้ำเสียชนิดไม่มีสารช่วยย้อมเปรียบเทียบกับชนิดที่มีสารช่วยย้อม จะเห็นว่าสีของตัวอย่างน้ำทุกประเภทที่มีสารช่วยย้อมจะมีค่าสีสูงกว่าตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อมยกเว้นสีย้อมแวต ที่เป็นเช่นนี้ควรจะเนื่องมาจากชนิดของสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียมีอิทธิพลต่อค่าสีของน้ำ สารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ในสีย้อมทุกประเภทยกเว้นสีย้อมแวต ส่วนใหญ่จะเป็นสารประเภทเกลือ (ดูสูตรสังเคราะห์หัวข้อ 3.2) มีกรดและด่างเจือปนอยู่ปริมาณน้อย ดังนั้นจึงน่าจะสรุปได้ว่าสารช่วยย้อมที่เป็นสารประเภทเกลือจะเป็นตัวทำให้สีของน้ำเสียมีค่าสูงขึ้น ส่วนสีย้อมแวตเมื่อมีสารช่วยย้อมค่าสีกลับลดลง เป็นเพราะว่ามีสารรีดิวซิงเจือปนอยู่อันได้แก่ Sodium hydrosulfite ($Na_2S_2O_4$) สารรีดิวซิงนี้มีคุณสมบัติในการฟอกสี[26] จึงทำให้ค่าสีของสีย้อมแวตที่มีสารช่วยย้อมต่ำกว่าชนิดที่ไม่มีสารช่วยย้อม

จากค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่าโทนสีเขียวของสีย้อมซัลเฟอร์ขัดแย้งกับข้อความที่กล่าวไว้ข้างบน คือโทนสีเขียวของสีย้อมซัลเฟอร์ชนิดมีสารช่วยย้อมน่าจะมีค่าสีมากกว่าชนิดไม่มีสารช่วยย้อมซึ่งผลการวัดสีที่ได้กลับมีค่าขัดแย้งกัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ควรจะเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนในการวัดสีซึ่งสำหรับการวัดสีย้อมซัลเฟอร์นี้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงมากดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 4.4

จากค่าที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 อีกเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่าพีเอชและความเป็นด่าง ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อมจะมีค่าพีเอชและความเป็นด่างมากกว่าตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างที่แตกต่างกันระหว่างตัวอย่างน้ำที่มีและไม่มีสารช่วยย้อมนี้มากน้อยต่างกันไปตามปริมาณสารเคมีที่เจือปนอยู่ในน้ำ จากผลการทดลองที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 4 จะสังเกตได้ว่ายิ่งค่าความเป็นด่างมีค่าสูงมาก ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีก็จะมากตามไปด้วย (ประสิทธิภาพลดลง) ส่วนสีย้อมที่มีค่าความเป็นด่างต่ำ ๆ เช่นสีย้อมแวต จะสังเกตเห็นผลกระทบของสารช่วยย้อมไม่ชัดเจน

5.4.2 <u>ผลกระทบของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี</u>

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1-4.27 เห็นได้ว่าการใช้ปูนขาวร่วมกับ MCHB หรือปูนขาวแต่เพียงอย่างเดียว เป็นสารเคมีช่วยในการตกตะกอน จะได้รับผลกระทบเนื่องมาจากสารช่วยย้อมอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือเมื่อตัวอย่างน้ำมีสารช่วยย้อมประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลง ประสิทธิภาพที่ลดลงนี้มากน้อยแตกต่างกันไปตามปริมาณสารช่วยย้อมที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่างของน้ำเสีย ตัวอย่างน้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงได้แก่ ตัวอย่างน้ำของสีย้อมไดเรกท์และรีแอคตีฟจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง ส่วนตัวอย่างน้ำประเภทอื่น ๆ มีค่าความเป็นด่างไม่มากนัก ทำให้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีไม่รุนแรงมาก เช่นน้ำที่มีความเป็นด่างมาก

สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ลดลงเนื่องจากอิทธิพลสารช่วยย้อมนั้นไม่อาจที่จะระบุเจาะจงเป็นค่าตัวเลขออกมาได้ ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ลดลงเนื่องจากสารช่วยย้อมขึ้นกับประเภทของสีย้อมเป็นอย่างมากและนอกจากนี้ยังขึ้นกับชนิดของโทนสีอีกด้วย พิจารณาที่ตัวอย่างน้ำของสีย้อมไดเรกท์และรีแอคตีฟ ตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ประเภทมีสารช่วยย้อมเจือ

ปนอยู่ใกล้เคียงกันมากทั้งชนิดและปริมาณ (ดูตารางที่ 5.1) ทำให้มีค่าความเป็นด่างของน้ำเสียใกล้เคียงกัน แต่ผลกระทบอันเนื่องมาจากสารช่วยย้อมที่ได้รับแตกต่างกัน สีย้อมไดเรกท์มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการลดสีน้อยกว่าสีย้อมรีแอคตีฟ (ดูรูป 4.3, 4.4, 4.5 เปรียบเทียบกับรูป 4.13, 4.14 และ 4.15) และโทนสีน้ำเงินของสีย้อมไดเรกท์มีผลกระทบน้อยที่สุด ในขณะที่โทนสีน้ำเงินและเหลืองของสีย้อมรีแอคตีฟจะมีผลกระทบอันเนื่องมาจากสารช่วยย้อมมาก

สำหรับผลกระทบของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยใช้สารส้มเป็นตัวช่วยในการตกตะกอนสังเกตได้ไม่ชัดเจนนัก ถ้าพิจารณาจากผลการทดลองกำจัดสีของสีย้อมแวต ซัลเฟอร์และรีแอคตีฟจะไม่สามารถระบุได้ว่าสารช่วยย้อมทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงหรือเพิ่มขึ้น เพราะผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโทนสีของสีย้อมแต่ละประเภท ผลการทดลองที่ให้ค่าสัมพันธ์กับทุกโทนสีเป็นผลการทดลองของสีย้อมไดเรกท์ซึ่งสามารถระบุได้ว่าสารช่วยย้อมทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าสารช่วยย้อมทำให้จำเป็นต้องใช้ปริมาณสารเคมีในการกำจัดสีมากขึ้น แต่ปริมาณสารที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นก็ไม่จัดว่ามากนัก ดังนั้นข้อสรุปของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยใช้สารส้มเป็นตัวช่วยให้เกิดตะกอนจึงอาจกล่าวได้ว่า สารช่วยย้อมไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยสารส้มมากนัก ซึ่งแตกต่างไปจากการใช้ MCHB และปูนขาวเป็นตัวทำให้เกิดตะกอน

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้รับโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อมจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้อยลง ทั้งนี้ควรจะเนื่องมาจากสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียอาจจะไปเพิ่มอัตราการละลายของตัวสีย้อม (ดูหัวข้อ 2.1.3 เรื่องสีย้อมและการจำแนกสีย้อม) ทำให้สมบัติของอนุภาคสีย้อมเพิ่มแนวโน้มในการที่จะเป็นอนุภาคไฮโดรฟิลิคมากขึ้นหรืออาจจะเป็นเพราะว่าสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่จะเป็นตัวทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคสีย้อมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง

ดังนั้น สำหรับงานกำจัดสีของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงย้อม ถ้าสามารถแยกเอาน้ำเสียสีย้อมกับสารช่วยย้อมออกจากกันได้ จะทำให้สามารถออกแบบระบบกำจัดสีให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้ การแยกเอาสารช่วยย้อมกับสีย้อมออกจากกันนี้ถือได้ว่าเป็นขบวนการบำบัดแบบภายใน (Internal treatment) วิธีหนึ่ง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับขบวนการฟอกย้อมเข้ามาช่วยในการพิจารณา

5.5 พฤติกรรมของสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสี

5.5.1 สารส้ม

พฤติกรรมของสารส้มอาจจะพิจารณาเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

ก. พฤติกรรมเกี่ยวกับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสี

จากผลการทดลองโดยใช้สารส้มเป็นตัวกำจัดสี จะเห็นได้ว่าในตัวอย่างน้ำเกือบทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีที่สุดก็ต่อเมื่อค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาอยู่ในช่วงระหว่าง 5.0-5.5 ค่าที่ได้นี้แตกต่างจากการใช้สารส้มในการกำจัดความขุ่นอันเนื่องมาจากตะกอนดินในน้ำโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งมักจะอยู่ในช่วง 6.5-7.5 [27]

คงเป็นการยากที่จะระบุสาเหตุแห่งความแตกต่างของค่าพีเอชที่เหมาะสมให้กระจ่างชัด แต่ประเด็นที่น่าจะหยิบยกมาพิจารณาในเบื้องต้นนี้คือ อนุภาคของสีย้อมกับอนุภาคของความขุ่นมีลักษณะที่แตกต่างกัน กล่าวคือ อนุภาคของสีย้อมโดยปกติแล้วจะมีขนาดเล็ก [7] ขนาดของอนุภาคน่าจะจัดอยู่ในช่วงระหว่างกลุ่มอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรฟิลิคและไฮโดรโฟบิค ในขณะที่อนุภาคของความขุ่นจัดว่าเป็นอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรโฟบิคโดยแท้จริง [27]

นอกจากความแตกต่างของขนาดอนุภาคแล้ว อนุภาคความขุ่นและอนุภาคของสียังจะมีความแตกต่างกันในด้านประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคอีกด้วย กล่าวคือ ประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคความขุ่นส่วนใหญ่เกิดมาจากการดูดติด (adsorption) และการแลกเปลี่ยนอิออนต่าง ๆ ในสารละลายเข้ามาที่ผิวของอนุภาค [28] ในขณะที่ประจุบนอนุภาคของสีส่วนใหญ่เกิดมาจากการแตกตัวของกลุ่มเคมีบางชนิดซึ่งเป็นส่วนประกอบย่อยของอนุภาค กลุ่มเคมีเหล่านี้ได้แก่กลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) กลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ฯลฯ ทำให้ผิวของอนุภาคเกิดประจุไฟฟ้าขึ้น ค่าประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคของสีจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลำดับในการแตกตัว (degree of ionization) ของกลุ่มเคมีดังกล่าวว่ามีมากน้อยเช่นไร ลำดับในการแตกตัวนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำเป็นอย่างมาก [27]

ความแตกต่างกันระหว่างอนุภาคของสีกับอนุภาคของความขุ่น อันเนื่องมาจากขนาดของอนุภาคและประจุบนผิวของอนุภาคนี่เองควรจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน และจากความแตกต่างกันนี้ Josse M. Cohen และคณะ[27] ได้เสนอว่ากลไกในการกำจัดสีควรจะเป็นกลไกแบบ precipitation มากกว่า coagulation กล่าวคือ Cohen เชื่อว่า อนุภาคของสีที่ลอยกระจัดกระจายอยู่ในน้ำตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะเป็นอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรฟิลิค การกำจัดสีโดยใช้สารส้มจะไม่ได้เกิดจากกลไกในการดูดติดและการลดเสถียรภาพ (adsorption and destabilization) หรือการจมตัวแบบกวาดเหมือนอย่างการกำจัดอนุภาคความขุ่น แต่กลไกในการกำจัดสีจะเป็นว่า อนุมูลของเกลืออลูมิเนียมบางส่วนจะเข้าไปจับตัวกับกลุ่มเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดบนโมเลกุลของสี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำอันมีฤทธิ์เป็นด่างขึ้นมา ทำให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคของสี ซึ่งกลไกแบบนี้ถือว่าเป็นกลไกแบบ precipitation และเนื่องจากว่าสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดขึ้นมาใหม่มีค่าของการละลายอยู่เล็กน้อยจึงทำให้การกำจัดสีไม่สามารถทำได้ 100 % ซึ่งก็ตรงกับผลการทดลองที่ได้รับเป็นส่วนใหญ่

แนวความคิดของ Cohen และคณะนี้น่าจะใช้ได้กับการกำจัดสีของสีย้อมหลายประเภท แต่กับสีย้อมบางประเภทแล้วเช่นสีย้อมซัลเฟอร์ยังไม่น่าจะใช้ได้ เพราะโดยปกติแล้วสีย้อมชนิดนี้เมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน ตัวสีก็สามารถจับตัวกันตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำได้ด้วยตัวเอง อนุภาคของสีย้อมชนิดนี้จึงไม่ควรเป็นอนุภาคคอลลอยด์ไฮโดรฟิลิค กลไกในการกำจัดสีของสีย้อมซัลเฟอร์จึงไม่ควรเป็นกลไกแบบ precipitation ดังนั้นอาจจะสรุปได้ว่าการที่จะพิจารณาว่ากลไกในการกำจัดสีเป็นแบบใดควรจะต้องพิจารณาถึงประเภทของสีย้อมเป็นสำคัญ และไม่อาจระบุอย่างลอย ๆ โดยปราศจากการอ้างถึงประเภทของสีย้อมได้

ข. <u>พฤติกรรมเกี่ยวกับค่าพีเอชที่ลดลงหลังปฏิกิริยา</u>

จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารส้มที่ได้แสดงผลไว้ในบทที่ 4 ตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมดจะถูกปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 5.0-8.0 ค่าใดค่าหนึ่งเสียก่อนจึงค่อยเติมสารส้มลงไปทำปฏิกิริยา ค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาที่วัดได้จะมีค่าลดลงจากเดิม และค่าพีเอชที่ลดลงจากเดิมนี้ขึ้นกับปริมาณของสารส้มที่เติมลงไปในปฏิกิริยากับ

ค่าความเป็นด่างของน้ำเสีย[35,36] กล่าวคือ ในตัวอย่างน้ำเดียวกัน ค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาจะลดลงตามปริมาณของสารส้มที่เพิ่มขึ้น ส่วนในตัวอย่างน้ำต่างชนิดกัน ค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำมีแนวโน้มในการลดลงของค่าพีเอชมากกว่าตัวอย่างน้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูง เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารส้มที่เท่ากัน

ค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาที่ลดลงหลังจากเติมสารส้มมีสาเหตุเนื่องมาจากสารส้มมีฤทธิ์เป็นกรด เพราะสามารถให้โปรตอน (H^+) แก่น้ำได้ สารส้มเมื่อเติมลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนของ Al^{3+} และ SO_4^{2-} ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำดังสมการ[29]

$$Al^{3+} + H_2O = Al(OH)^{2+} + H^+ \quad .....(1)$$

$$Al^{3+} + 2H_2O = Al(OH)_2^{+} + 2H^+ \quad .....((2)$$

$$7Al^{3+} + 17H_2O = Al_7(OH)_{17}^{4+} + 17H^+ \quad .....(3)$$

$$Al^{3+} + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3H^+ \quad .....(4)$$

$$Al^{3+} + 4H_2O = Al(OH)_4^{-} + 4H^+ \quad .....(5)$$

สมการใดจะเป็นสมการหลักที่เกิดขึ้นมากที่สุดขึ้นกับค่าพีเอชของน้ำ และโปรตอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเป็นตัวทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลง ค่าพีเอชที่ลดลงจะมากน้อยขึ้นกับค่าความเป็นด่างของน้ำ ค่าความเป็นด่างจะเป็นตัวบัฟเฟอร์ที่พยายามรักษาค่าพีเอชของน้ำเอาไว้ ถ้าค่าความเป็นด่างสูงผลกระทบอันเนื่องมาจากโปรตรอนก็จะน้อยซึ่งตรงกันข้ามกับน้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำ ดังนั้น ถ้ารู้ปริมาณของสารส้มที่เติมเข้าไปในถังปฏิกิริยาและรู้ค่าความเป็นด่างพร้อมทั้งค่าพีเอชของน้ำก่อนเติมสารส้มก็น่าที่จะรู้ค่าพีเอชของน้ำหลังปฏิกิริยาได้โดยการคิดคำนวณ แต่โดยความเป็นจริงแล้วกลับไม่สามารถกระทำได้ ทั้งนี้เพราะอนุมูลต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถที่จะเปลี่ยนรูปไปมาได้[29] ทำให้ไม่สามารถคาดเดาจำนวนโปรตอนที่เกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้การทำนายค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาเป็นไปได้ยาก

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้การทดลองซึ่งได้เสนอผลไว้ในบทที่ 4 ไม่สามารถที่จะควบคุมค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาของตัวอย่างน้ำได้ ซึ่งจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารส้มเกิดความคลาดเคลื่อนไปบ้าง ทั้งนี้เพราะสารส้มจะทำการกำจัดสีได้ดีที่สุดในช่วงค่าพีเอชหนึ่ง ๆ เท่านั้น ขณะที่เพิ่มปริมาณสารส้มลงไปในน้ำสารส้มจะไปทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลง อันอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีเท่าที่ควร

อย่างไรก็ตามปัญหาที่กล่าวนี้จะหมดไป เมื่อนำสารส้มไปใช้กับงานสนามเพราะระบบบำบัดโดยส่วนใหญ่จะเป็นแบบต่อเนื่องซึ่งผิดกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ ค่าพีเอชของปฏิกิริยาสามารถควบคุมได้โดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติ

ค. <u>พฤติกรรมเกี่ยวกับการจมตัวของตะกอนฟล็อค</u>

ปัญหาในการใช้สารส้มกำจัดสีของน้ำเสียคล้ายคลึงกับการใช้สารส้มกำจัดความขุ่นโดยทั่วไป กล่าวคือตะกอนฟล็อคที่เกิดจากสารส้มมีลักษณะค่อนข้างเบาเมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนฟล็อคอันเกิดจาก MCHB ร่วมกับปูนขาวหรือปูนขาวเพียงอย่างเดียว ความเบาของตะกอนฟล็อคที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดปัญหาในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ถังตกตะกอนที่ใช้อาจจะต้องขยายใหญ่เพิ่มขึ้นหรืออาจจะต้องลดปริมาณน้ำเข้าสู่ระบบบำบัด หรือต้องออกแบบถังตกตะกอนด้วยเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น tube settler เป็นต้น

จากการสังเกตในขณะทำการทดลองพบว่าความเบาของตะกอนฟล็อคที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับประเภทของสีย้อมที่นำมาบำบัดด้วย สีย้อมแวต ไดเรกท์และเมทัลลิคจะไม่พบปัญหาเรื่องตะกอนเบา ตะกอนฟล็อคที่เกิดขึ้นสามารถจมตัวได้ดีก่อนเวลาที่กำหนดเอาไว้ (45 นาที) ในขณะที่สีย้อมอะโซอิคโดยเฉพาะโทนสีแดงอมส้ม (สีย้อม Fast Bordeaux GP Salt) เกิดปัญหาเรื่องตะกอนเบาเป็นอย่างมาก ตะกอนฟล็อคที่เกิดขึ้นสามารถดูดซับอนุภาคของสีเข้าไว้ในตัวได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถจะจมตัวลงได้แม้ว่าจะได้ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วก็ตาม ส่วนตะกอนฟล็อคที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของสีย้อมซัลเฟอร์ก็มีลักษณะค่อนข้างเบาแต่ก็ยังสามารถที่จะจมตัวลงได้ในเวลาที่กำหนด

ปัญหา เรื่องตะกอนเบานี้ควรที่จะได้รับการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป แต่ใคร่ที่จะกล่าวเตือนไว้ ณ ที่นี้ว่าควรจะได้คำนึงถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นด้วย กล่าวคือการวัดอัตราเร็วในการจมตัวของตะกอนจะกระทำได้ยาก เนื่องมาจากความเข้มของสีของตัวอย่างน้ำที่นำมาทดลองจะรบกวนการสังเกตการจมตัวของตะกอนฟล็อคเป็นอย่างมาก

5.5.2 <u>ปูนขาว</u>

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในบทที่ 4 เห็นได้ว่าการใช้ปูนขาวเพื่อทำการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงย้อมมีประสิทธิภาพต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม ปูนขาวแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดสีของน้ำเสียให้ต่ำลงเป็นที่น่าพอใจได้เลยแม้ว่าจะได้ใช้ปริมาณของปูนขาวเป็นจำนวนมากแล้วก็ตาม ยกเว้นตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมด้วยสีย้อมแวตที่ปูนขาวสามารถกำจัดสีลงได้ดีแต่ก็จำเป็นต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มากกว่าสารส้มเกือบเท่าตัว

ข้อเสียของปูนขาวนอกจากจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้อยแล้วยังจะไปเพิ่มค่าความเป็นด่างในน้ำซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหากับระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต่อไป นอกจากนี้การเติมปูนขาวลงในน้ำด้วยปริมาณน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมยังอาจทำให้เกิดสีในตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นด้วยโดยเฉพาะกับตัวอย่างน้ำที่มีค่าพีเอชหรือความเป็นด่างต่ำ ๆ

อย่างไรก็ตามข้อดีของปูนขาวก็ยังพอมีอยู่บ้าง กล่าวคือตะกอนฟล็อคที่เกิดจากปูนขาวจมตัวได้ดีผิดกับตะกอนฟล็อคอันเกิดจากสารส้ม จากการทดลองที่ผ่านมา การใช้ปูนขาวเพื่อการกำจัดสีไม่เกิดปัญหาเรื่องตะกอนเบาเลย

ถ้าต้องการนำปูนขาวไปใช้งาน สิ่งที่ควรจะคำนึงถึงคือการเตรียมสารละลายสต๊อกเป็นสำคัญ คือควรเตรียมความเข้มข้นของปูนขาวสำหรับเติมลงในน้ำประมาณ 5-10 % ทั้งนี้เพราะจะได้มีปูนขาว 1-3 % อยู่ในรูปของสารละลาย (ปูนขาวละลายน้ำได้ 1500 มก./ลบ.ดม) เตรียมพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับ HCO_3 ในน้ำ ซึ่งเชื่อว่าน่าจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด[30]

5.5.3 <u>แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรต เบสิค</u> (MCHB)

ผลการทดลองกำจัดสีของน้ำเสียโดยใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาว แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีกว่าการใช้ปูนขาวแต่เพียงอย่างเดียว น้ำเสียที่ถูกกำจัดสีลงได้อย่างน่าพอใจแม้ว่าจะมีเพียงประเภทเดียวคือน้ำเสียอันเกิดจากการย้อมด้วยสีย้อมแวตก็ตาม แต่น้ำเสียประเภทอื่น ๆ ก็มีแนวโน้มว่าจะสามารถถูกกำจัดสีลงไปได้อีกถ้าเพิ่มปริมาณของ MCHB หรือปูนขาวอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างเข้าไป

จุดที่น่าสนใจสำหรับการใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาวในการกำจัดสีคือ ประสิทธิภาพที่ได้รับจากการกำจัดสีของตัวอย่างน้ำชนิดที่มีและไม่มีสารช่วยย้อมมีความแตกต่างกันอยู่มาก โดยเฉพาะตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อมเจือปนอยู่ในปริมาณสูง ดังเช่นตัวอย่างน้ำของสีย้อมไดเรกท์และรีแอคตีฟ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดในกรณีของตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม (ดูรูป 4.3-4.5 และ 4.13-4.15) ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อมเจือปนเป็นจำนวนน้อย เช่นตัวอย่างน้ำของสีย้อมแวต และซัลเฟอร์ (ดูรูป 4.8-4.10 และ 4.18-4.20)

ในการพิจารณาเฉพาะสีย้อมรีแอคตีฟแต่เพียงประเภทเดียว (ดูรูป 4.11-4.15) พบว่าไม่ว่าตัวอย่างน้ำจะมีสารช่วยย้อมหรือไม่ก็ตาม การใช้สารส้มเพื่อทำการลดสีลงแทบจะไม่สามารถกระทำได้เลยแม้ว่าจะได้เพิ่มปริมาณสารส้มถึง 1000 มก./ลบ.ดม. แล้วก็ตาม ในขณะที่การใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาวด้วยปริมาณ 50 มก./ลบ.ดม.Mg^{2+} และ 600 มก./ลบ.ดม. ตามลำดับ สามารถลดค่าสีในน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อมได้มากกว่า 90 % (ยกเว้นโทนสีเหลือง) ค่าสีของน้ำหลังบำบัดมีค่าต่ำกว่า 300 เอดีเอ็มไอ แต่การใช้ MCHB และปูนขาวด้วยปริมาณดังกล่าวนี้เพื่อลดสีของตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อมจะกระทำได้เพียง 20-30 % เท่านั้น

สีย้อมรีแอคตีฟจัดว่าเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำ[7]ได้เพียงประเภทเดียวในจำนวนสีย้อมทั้งหมดที่นำมาใช้ในการทดลอง ดังนั้นอนุภาคของสีย้อมชนิดนี้จึงควรเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับอนุภาคของสีย้อมประเภทอื่น ขนาดของอนุภาคที่เล็กมากนี้เล็กเกินขีดความสามารถของสารส้มในการที่จะใช้กลไกใดกลไกหนึ่งทำการจับตัวอนุภาคของสีให้

แยกออกจากน้ำได้ ในขณะที่กลไกของ MCHB ร่วมกับปูนขาวสามารถแยกตัวอนุภาคของสีออกจากน้ำได้เป็นอย่างดี แต่นั่นต้องหมายความว่าน้ำนั้นไม่มีสารช่วยย้อมเจือปนหรือเจือปนอยู่น้อย

สำหรับตัวอย่างน้ำที่เกิดจากสีย้อมอื่น ๆ ที่ไม่ใช่สีย้อมรีแอคทีฟ การใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาวมีแนวโน้มว่าจะสามารถลดค่าสีลงได้เป็นที่น่าพอใจในทุกประเภทของสีย้อม

สรุปได้ว่ากลไกในการกำจัดสีของการใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาวสามารถจะดึงแยกอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำได้ดีกว่ากลไกในการกำจัดสีโดยใช้สารส้มมาก แต่กลไกอันเกิดจากการใช้ MCHBร่วมกับปูนขาวดังกล่าวมี "ความรู้สึกไว" ต่อปริมาณสารช่วยย้อม (ความเป็นด่าง) ที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียมาก กล่าวคือประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ขึ้นกับปริมาณของเนื้อสารของสารช่วยย้อมที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลกระทบดังกล่าวนี้จะปรากฏไม่ชัดเจนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ากลไกในการกำจัดสีของสารส้มเป็นแบบตะกอนกวาด (sweep floc) ส่วนกลไกของ MCHB + ปูนขาวเป็นกลไกแบบ precipitation ซึ่งความเป็นด่างในสารช่วยย้อมนี้จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการก่อรูปของ $Mg(OH)_{2ppt.}$ อย่างมาก กล่าวคือ พีเอช จะต้องมากกว่า 11.0 ขึ้นไป[33] $Mg(OH)_{2ppt.}$ จึงจะมีสมรรถนะในการสามารถก่อรูปขึ้นได้

ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกในการกำจัดสีโดยการใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาวยังไม่เป็นที่กระจ่างชัด จากการศึกษาเบื้องต้น[23] พบว่า MCHB เมื่อทำปฏิกิริยากับปูนขาวแล้วจะให้ตะกอนออกมาด้วยกัน 3 ชนิด ดังสมการ

$$3MgCO_3.Mg(OH)_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 3Mg(OH)_{2ppt.} + Mg(OH)_2 \text{ solids}$$

$$+3CaCO_{3ppt.} + 3H_2O \quad ....(6)$$

ตะกอนที่เกิดจากปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดคือ $Mg(OH)_{2ppt.}$, $Mg(OH)_2$ solids และ $CaCO_{3ppt.}$ โดยให้คำจำกัดความของคำว่า ppt. หรือ precipitate เป็นสารประกอบหรือผลึกที่เกิดจากการรวมตัวของอนุมูลประจุบวกและลบเข้าด้วยกันในระหว่างเกิดปฏิกิริยา ส่วน

solids เป็นผลึกของแข็งที่มีอยู่ในสารละลายแต่เดิม เพียงแต่แยกตัวออกจากสารประกอบนั้นมาอยู่ในสารละลายเท่านั้น

กลไกในการกำจัดสีคาดว่าน่าจะเป็นกลไกแบบ precipitation ก่อน หลังจากนั้นจึงเกิดการดูดติดและการลดเสถียรภาพ (adsorption and destabilization) ตามมา กล่าวคือ ปูนขาวที่ใส่ลงไปในน้ำ บางส่วนจะไปทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างเกิดผลึกของ $CaCO_{3ppt.}$ ซึ่งเป็นการลดความเป็นด่างที่เป็นตัวคอยขวางกั้นไม่ให้พีเอชเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชเขยิบสูงขึ้นมากกว่า 11.0 แล้ว ผลึกของ $Mg(OH)_{2ppt.}$ จึงจะเกิดขึ้น[33] ทั้งผลึกของ $CaCO_{3ppt.}$ และ $Mg(OH)_{2ppt.}$ จะดึงเอาโมเลกุลของสีมายึดติดกับผลึกของตัวเองในช่วงระหว่างการก่อตัวเป็นรูปผลึก และเนื่องจากว่า $CaCO_{3ppt.}$ และ $Mg(OH)_{2ppt.}$ มีประจุต่างกันโดยผลึกตัวแรกเป็นประจุลบ ประจุตัวหลังเป็นประจุบวก[31] รวมทั้งผลึกของ $Mg(OH)_{2ppt.}$ มีความสามารถเป็น gelatinous[22] ทำให้สามารถดึงเอาผลึก $CaCO_{3ppt.}$ มารวมกันเป็นผลึกใหญ่จมตัวลงได้ดีขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงอาจสรุปได้ว่าส่งเสริมกันและกันในการกำจัดสี ทำให้สีลดลงมากกว่าสมรรถนะของ $Mg(OH)_{2ppt.}$, $Mg(OH)_2$ solids, $Ca(OH)_2$ และ $CaCO_{3ppt.}$ ที่ทำหน้าที่โดยเอกเทศเป็นอย่างมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและทำหน้าที่ส่งเสริมกันนี้คาดว่าผลึกของ $CaCO_{3ppt.}$ น่าจะมีบทบาทมากกว่า $Mg(OH)_{2ppt.}$ ทั้งนี้เพราะมีปริมาณผลึกเกิดขึ้นมากกว่า (ผลึกของ $CaCO_{3ppt.}$ เกิดจากการที่ปูนขาวทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างรวมทั้งที่เกิดจากสาเหตุตามสมการที่ 6 ส่วนผลึกของ $Mg(OH)_2$ เกิดมาจากสมการที่ 6 เพียงอย่างเดียว)

5.6 การประมาณราคาค่าสารเคมีสำหรับการกำจัดสีแต่ละประเภท

ก่อนที่จะพิจารณาถึงค่าสารเคมีที่ต้องใช้จ่ายในการกำจัดสีแต่ละประเภท ควรจะคำนึงถึงปัจจัยอันจะมีผลต่อค่าที่จะประเมินได้เสียก่อน กล่าวคือ ค่าใช้จ่ายที่จะทำการประเมินนี้เป็นผลมาจากการทดลองที่ได้ศึกษา ผลการทดลองดังกล่าวนี้ขึ้นกับตัวอย่างน้ำที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นอย่างมาก แม้ว่าตัวอย่างน้ำที่สังเคราะห์ขึ้นจะได้ถูกคัดคิดมาจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจากโรงย้อมของบริษัทยูเนียนอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งจัดได้ว่าเป็นโรงย้อมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยแห่งหนึ่งแล้วก็ตาม ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวนี้ก็ยังคงเป็นเฉพาะตัวแทนเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกมาจากโรงย้อมเฉพาะแห่งเท่านั้นและตัวอย่างน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นนี้ไม่ได้นำน้ำเสียอันเกิดจากการเตรียมวัสดุสิ่งทอเข้ามาเจือปนทำให้ค่าสีของน้ำเสียสูงกว่าที่ควรจะเป็นอยู่บ้าง แต่อย่างไรก็ตามค่าที่จะประเมินได้นี้จะเป็นแนวทาง

อันสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับโรงงานทั่วไปได้เป็นอย่างดี ถ้าผู้นำไปใช้เข้าใจภาวะการณ์ที่แตกต่างกันของน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานแต่ละแห่ง

ราคาของสารเคมีแต่ละชนิดพร้อมทั้งความบริสุทธิ์ของสารที่นำไปใช้กับงานในภาคสนามแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 และราคาของสารเคมีที่ต้องใช้จ่ายในการกำจัดสีของน้ำเสียแต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 5.5-5.10

ตารางที่ 5.4 ราคาและความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์, พ.ศ. 2525

ชนิดของสาร	ความบริสุทธิ์		ราคา
	แสดงในเทอมของธาตุ	แสดงในเทอมสารประกอบ	
กรดซัลฟูริก*	-	95-97 %	6.50 บาท/ลิตร
สารส้ม*	8 % Al	85-90 %	7.00 บาท/กก.
ปูนขาว*	45 % Ca	80-85 %	4.50 บาท/กก.
MCHB**	20 % Mg	75 %	25 บาท/กก.

* ข้อมูลได้มาจาก บ. ศรีกรุง จำกัด เป็นราคาที่ซื้อขายกันในปริมาณมาก

** ข้อมูลได้มาจาก บริษัทที่ขายสารเคมีหลายแห่ง ราคาที่ได้รับแตกต่างกันมาก ค่าที่นำมาแสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้รับ

รายละเอียดในการคำนวณเพื่อหาราคาของสารเคมีที่ใช้กันในเชิงพาณิชย์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

<u>กรดซัลฟูริก</u>

กรดซัลฟูริกที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีความเข้มข้น = 0.2 N.

เมื่อใช้ 1 ลบ.ซม. ของกรดต่อน้ำ 1 ลบ.ดม. = 1000 ลบ.ซม./ลบ.เมตร

= 9.8 กรัม H_2SO_4/ลบ.เมตร

กรดซัลฟูริกที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ 1000 ลบ.ซม. มีเนื้อสาร

= 36X49X0.96 = 1675 กรัม ราคาเท่ากับ 6.50 บาท

ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

สีย้อม ไดเรกท์

	NA	A	
ค่าของสี	3000 - 5000	3500 - 5500	เอดีเอ็มไอ
pH	7.4-7.8	10.5-10.6	
ค่าความเป็นด่าง	75-85	1800 - 1900	มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$

Parameter	สารส้ม + H_2SO_4 (0.2N) * (มก./ลบ.ดม) (ลบ.ซม./ลบ.ดม)		$Ca(OH)_2$ (มก./ลบ.ดม)		MCHB+$Ca(OH)_2$** (มก./ลบ.ดม Mg^{2+}) (มก./ลบ.ดม)	
	NA	A	NA	A	NA	A
ปริมาณสาร เคมีที่ใช้	(75-125) + (0 - 7)	(250-500) + (160-180)	500-1000	750-1000	(20) + (250-750)	(20) + (750-1000)
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	90 - 95	90 - 95	85 - 95	30 - 80	85 - 97	45 - 88
สีของน้ำหลังบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	170-480	180-550	230-480	600-2400	130-430	450-1900
ราคาสาร เคมีที่ใช้ในการบำบัด (บาท/ม.^{3})	0.50-1.20	8.00-10.70	2.25-4.50	3.40-4.50	3.70-5.90	5.90-7.00
ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อค	ค่อนข้างเบา	ค่อนข้างเบา	ดี	ดี	ดี	ดี
pH ของน้ำเสียดิบ	7.4-7.8	10.5-10.6	7.4-7.8	10.5-10.6	7.4-7.8	10.5-10.6
pH หลังปฏิกิริยา	5.0-6.0	4.8-5.9	11.3-11.7	11.8-11.9	11.3-11.8	11.7-11.9
pH ที่เหมาะสม	5.0-6.0	4.8-5.9	-	-	-	-
ค่าความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$)	10-60	30-100	400-900	1700-1900	200-700	1700-1850
ผลของไทนสีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	สีแดงบำบัดยากกว่าสีอื่น		สีเหลืองบำบัดยากที่สุด			
ผลของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง เมื่อตัวอย่างน้ำมีสารช่วยย้อม โดยเฉพาะเมื่อใช้ MCHB และปูนขาวเป็นตัวกำจัดสี ประสิทธิภาพและจะลดลงอย่างมาก					

หมายเหตุ 1. NA = ตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม; A = ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม

2. ปริมาณสาร เคมีที่ใช้ในช่อง " * " วงเล็บบนหมายถึงปริมาณสารส้ม ส่วนวงเล็บล่างหมายถึงปริมาณ H_2SO_4 ทำนองเดียวกันกับช่อง " ** "

ตารางที่ 5.6 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

สีย้อม แวต

	NA	A	
ค่าของสี	1000-1600	850-1300	เอดีเอ็มไอ
pH	7.3-7.5	8.4-9.6	
ค่าความเป็นด่าง	75-85	135-185	มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$

Parameter	สารส้ม + H_2SO_4(0.2N)* (มก./ลบ.ดม) (ลบ.ซม./ลบ.ดม)		$Ca(OH)_2$ (มก./ลบ.ดม)		MCHB+$Ca(OH)_2$ ** (มก./ลบ.ดม Mg^{2+}) (มก./ลบ.ดม)	
	NA	A	NA	A	NA	A
ปริมาณสารเคมีที่ใช้	(30-90) + (0-6)	(50-75) + (10-15)	200-250	375-500	(10) + (200-250)	(10) + (200-250)
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	85-95	90-96	80-90	75-85	95-98	90-98
สีของน้ำหลังบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	90-200	35-120	130-200	140-280	15-70	15-90
ราคาสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด (บาท/$ม^3$)	0.20-0.90	0.75-1.10	0.90-1.10	1.70-3.50	2.20-2.40	2.20-2.40
ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อค	ค่อนข้างเบา	ค่อนข้างเบา	ดีพอใช้	ดีพอใช้	ดี	ดี
PH ของน้ำเสียดิบ	7.3-7.5	8.4-9.6	7.3-7.5	8.4-9.6	7.3-7.5	8.4-9.6
pH หลังปฏิกิริยา	5.2-6.3	5.1-5.6	10.9-11.1	11.4-11.6	10.9-11.0	11.1-11.2
pH ที่เหมาะสม	5.2-6.3	5.1-5.6	-	-	-	-
ค่าความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$	10-30	10-15	150-250	300-500	170-175	160-250
ผลของโทนสีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	สีเหลืองบำบัดยากกว่าสีอื่น		สีน้ำเงินบำบัดยากกว่าสีอื่น			
ผลของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	ไม่ค่อยมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี เนื่องมาจากปริมาณสารช่วยย้อมมีเหลือปนอยู่น้อย					

หมายเหตุ 1. NA = ตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม A= ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม

2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในช่อง" * "วงเล็บบนหมายถึงปริมาณสารส้ม ส่วนวงเล็บล่างหมายถึงปริมาณ H_2SO_4 ทำนองเดียวกันกับช่อง " * * "

ตารางที่ 5.7 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

สีย้อม รีแอคทีฟ

	NA	A	
ค่าของสี	3000 - 5000	3000- 5200	เอดีเอ็มไอ
P^H	7.5 - 7.9	10.6-10.7	
ค่าความเป็นด่าง	75- 125	1500-1600	มก./ลบ.ดม. $CaCo_3$

Parameter	สารส้ม + H_2SO_4(0.2N)* (มก./ลบ.ดม) (ลบ.ซม./ลบ.ดม)		$Ca(OH)_2$ (มก./ลบ.ดม.)		MCHB + $Ca(OH)_2$ (มก./ลบ.ดม Mg^{2+}) (มก/ลบ.ดม)	
	NA	A	NA	A	NA	A
ปริมาณสารเคมีที่ใช้	(100-250) + (2-5)	(500-800) + (70-140)	1000-1250	500-750	(50) + (750-1000)	(50) + (750-1000)
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	13-20	0-30	0-50	0-17	50-96	5-40
สีของน้ำหลังบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	2500-4300	2000-5000	1200-500	2500-5200	200-2400	1900-4800
ราคาสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด (บาท/ม.^{3})	0.80-1.85	6.30-11.20	4.50-5.60	2.25-3.40	9.80-1080	9.80-10.90
ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อค	ดีพอใช้	ดีพอใช้	ดี	ดี	ดี	ดี
P^H ของน้ำเสียดิบ	7.5-7.9	10.6-10.7	7.5-7.9	10.6-10.7	7.5-7.9	10.6-10.7
P^H หลังการบำบัด	5.0-5.3	5.1-7.9	11.6-11.9	11.5-11.7	11.5-11.7	11.7-11.9
P^H ที่เหมาะสม	5.0-5.3	5.1-7.9	-	-	-	-
ค่าความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดบ. $CaCO_3$)	5-10	50-1100	1000-1300	900-1400	800-900	1200-1400
ผลของไทนสีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	บำบัดแทบไม่ได้เลย เหมือนกันทุกไทนสี		สีน้ำเงินถูกบำบัดง่ายที่สุด ส่วนสีเหลืองบำบัดยากที่สุด			
ผลของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	ก. ในกรณีของสารส้ม เห็นผลไม่ชัดเจน ข. ในกรณีของปูนขาวและ MCHB ผลของสารช่วยย้อมทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดด้อยลงไปมาก					

หมายเหตุ : 1. NA = ตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม A = ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม

2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในช่อง " * " วงเล็บบนหมายถึงปริมาณสารส้ม ส่วนวงเล็บล่างหมายถึงปริมาณ H_2SO_4 ทำนองเดียวกันกับช่อง " ** "

ตารางที่ 5.8 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

สีย้อม ซัลเฟอร์

	NA	A	
ค่าของสี	2900-3500	3400-4200	เอดีเอ็มไอ
P^H	8.5-9.3	10.4-10.7	
ค่าความเป็นด่าง	140-150	380-520	มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$

Parameter	สารส้ม + H_2SO_4(0.2N)* (มก./ลบ.ดม) (ลบ.ซม./ลบ.ดม)		$Ca(OH)_2$ (มก./ลบ.ดม)		MCHB+$Ca(OH)_2$** (มก./ลบ.ดม Mg^{2+}) (มก/ลบ.ดม)	
	NA	A	NA	A	NA	A
ปริมาณสารเคมีที่ใช้	(0-80) + (13-20)	(0-20) + (43-50)	400-600	150-500	(10) + (400-600)	(10) + (150-500)
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	>90 % ยกเว้นสีเขียว ≃85 %	>90 % ยกเว้นสีเขียว ≃55 %	10-70	40-65	50-75	60-75
สีของน้ำหลังบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	<300 ยกเว้นสีเขียว	<300 ยกเว้นสีเขียว	900-3000	1300-2200	700-1400	1000-1500
ราคาสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด (บาท/ม.^{3})	0.50-1.40	1.70-2.10	1.80-2.70	0.70-2.25	3.00-4.00	2.00-3.50
ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อค	ค่อนข้างเบา	ค่อนข้างเบา	ดี	ดี	ดี	ดี
P^H ของน้ำเสียดิบ	8.5-9.3	10.4-10.7	8.5-9.3	10.4-10.7	8.5-9.3	10.4-10.7
P^H หลังปฏิกิริยา	4.7-5.3	4.7-5.3	11.3-11.6	11.4 -11.6	11.4-11.6	11.4-11.6
P^H ที่เหมาะสม	4.7-5.3	4.7-5.7	-	-	-	-
ค่าความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดม.$CaCO_3$)	10-20	10-30	300-600	700-900	360-580	600-850
ผลของไหนสีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	สีเขียวบำบัดยากกว่าสีอื่นอย่างเห็นได้ชัด		สีเขียวบำบัดยากกว่าสีอื่น แต่ไม่เห็นความแตกต่างชัดเจน			
ผลของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	ไม่ชัดเจน เนื่องมาจากปริมาณของสารช่วยย้อมมีน้อย					

หมายเหตุ :

1. NA= ตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม ; A= ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม
2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในช่อง " * " วงเล็บบนหมายถึงปริมาณสารส้ม ส่วนวงเล็บล่างหมายถึงปริมาณ H_2SO_4 ทำนองเดียวกันกับช่อง " ** "

ตารางที่ 5.9 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

สีย้อม อะไซอิค

	NA	A	
ค่าของสี	-	1300-2200	เอดีเอ็มไอ
P^H	—	7.1-7.7	
ค่าความเป็นด่าง	—	70-105	มก./ลบ.ดม.$CaCO_3$

Parameter	สารส้ม + H_2SO_4(0.2N)* (มก./ลบ.ดม) (ลบ.ซม./ลบ.ดม)		$Ca(OH)_2$ (มก/ลบ.ดม)		MCHB+$Ca(OH)_2$** (มก/ลบ.ดม Mg^{2+}) (มก/ลบ.ดม)	
	NA	A	NA	A	NA	A
ปริมาณสารเคมีที่ใช้	- -	(20-25) + (5-7)	-	0-750	-	(5) + (60-500)
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	-	78-87	-	65-70	-	70-75
สีของน้ำหลังบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	-	170-470	-	410-690	-	390-550
ราคาสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด (บาท/ม.^{3})	-	0.30-0.50	-	0.0-3.30	-	0.90-2.90
ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อค	-	ตะกอนเบามาก ไม่จมตัวในเวลาที่กำหนด	-	ดี	-	ดี
P^H ของน้ำเสียดิบ	-	7.1-7.7	-	7.1-7.7	-	7.1-7.7
P^H หลังปฏิกิริยา	-	5.1-5.2	-	7.5-11.8	-	9.9-11.5
P^H ที่เหมาะสม	-	5.1-5.2	-	-	-	-
ค่าความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$)	-	10-15	-	80-730	-	125-420
ผลของไพนสีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	สีส้มมีปัญหาในเรื่องการตกตะกอน		สีแดงบำบัดได้ดีกว่าสีส้มมาก			
ผลของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	สีย้อมชนิดนี้ไม่มีตัวอย่างน้ำชนิดไม่มีสารช่วยย้อม ทำให้ไม่สามารถทราบผลกระทบอันเนื่องมาจากสารช่วยย้อมได้					

หมายเหตุ : 1. NA = ตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม ; A = ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม

2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในช่อง " * " วงเล็บบนหมายถึงปริมาณสารส้ม ส่วนวงเล็บล่างหมายถึงปริมาณ H_2SO_4 ทำนองเดียวกันกับช่อง " ** "

ตารางที่ 5.10 สรุปผลการทดลองและประเมินราคา

สีย้อม เมทัลลิค

	NA	A	
ค่าของสี	935	918	เอดีเอ็มไอ
P^H	8.7	9.8	
ค่าความเป็นด่าง	250	770	มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$

Parameter.	สารส้ม+H_2SO_4(0.2N)* (มก./ลบ.ดม) (ลบ.ซม./ลบ.ดม)		$Ca(OH)_2$ (มก./ลบ.ดม)		MCHB +$Ca(OH)_2$** (Mg^{2+} มก./ลบ.ดม) (มก/ลบ.ดม.)	
	NA	A	NA	A	NA	A
ปริมาณสารเคมีที่ใช้	(0) + (22)	(25) + (35)	0	500	-	(5) + (500)
ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)	91	72	87	67	-	70
สีของน้ำหลังบำบัด (เอดีเอ็มไอ)	83	260	116	306	-	278
ราคาสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด(บาท/$ม.^3$)	0.80	1.50	-	2.25	-	2.90
ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อค	ดี	ดี	ดี	ดี	-	ดี
P^H ของน้ำเสียดิบ	8.7	9.8	8.7	9.8	-	9.8
P^H หลังปฏิกิริยา	5.5	7.7	8.7	11.2	-	11.2
P^H ที่เหมาะสม	5.5	7.7	-	-	-	-
ค่าความเป็นด่าง (มก./ลบ.ดม. $CaCO_3$)	45	50	250	800	-	675
ผลของไพนลีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	—		—			
ผลของสารช่วยย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด	เห็นได้ชัดเจน ในกรณีที่ไม่มีสารช่วยย้อม ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเข้าช่วยในการกำจัดสีเลย					

หมายเหตุ 1. NA = ตัวอย่างน้ำที่ไม่มีสารช่วยย้อม ; A = ตัวอย่างน้ำที่มีสารช่วยย้อม

2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในช่อง " * " วงเล็บบนหมายถึงปริมาณสารส้ม ส่วนวงเล็บล่างหมายถึงปริมาณ H_2SO_4 ทำนองเดียวกันกับช่อง " ** "

เนื้อสาร 9.8 กรัม ราคา = $\frac{6.50 \times 9.8 \times 100}{1675}$ = 4 สตางค์

ดังนั้นเมื่อใช้กรดซัลฟุริกในห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.2 N

ปริมาณ 1 ลบ.ซม.ต่อน้ำ 1 ลบ. ดม. จะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4 สตางค์ต่อน้ำ 1 ลบ.เมตร

<u>สารส้ม</u>

สารส้มที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ $[Al_2(SO_4)_3.16\ H_2O]$ ปริมาณ 1 มก./ลบ.ดม.

= 0.94 มก./ลบ.ดม. คิดในเทอม $Al_2(SO_4)_3.\ 14\ H_2O$

แต่ความบริสุทธิของสารส้มที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ = 90 %

1 มก./ลบ.ดม. ของสารส้มที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

= $\frac{0.94}{0.90}$ = 1.04 มก./ลบ.ดม. ของสารส้มที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

= 1.04 กรัม/ลบ.เมตร ของสารส้มที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

สารส้มที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ 1000 กรัม ราคา = 7 บาท

1.04 " " = $\frac{7 \times 100 \times 10.4}{1000}$ สตางค์

= 0.7 สตางค์

ดังนั้นเมื่อใช้สารส้มในห้องปฏิบัติการ 1 มก./ลบ.ดม. จะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ

0.7 สตางค์ ต่อน้ำ 1 ลบ.เมตร

<u>ปูนขาว</u>

ปูนขาวที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ = 1 มก/ลบ.ดม.

= 1 กรัม/ลบ.เมตร

ปูนขาวที่ต้องใช้ในเชิงพาณิชย์ (4.50 บาท/กก.) = 1.25 กรัม/ลบ.เมตร

= 0.45 สตางค์/ลบ.เมตร

MCHB

MCHB ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ = 1 มก./ลบ.ดม.Mg^{2+}

= 1 กรัม/ลบ.เมตร Mg^{2+}

= 3.83 กรัม/ลบ.เมตร MCHB

MCHB ที่ต้องใช้ในเชิงพาณิชย์ (25 บาท/กก.) = 5.1 กรัม/ลบ.เมตร MCHB

= 12.75 สตางค์/ลบ.เมตร

5.7 แนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้สารเคมีในการกำจัดสี

อาจจะเป็นการลำบากถ้าจะด่วนสรุปว่าสารเคมีตัวใดน่าที่จะนำมาใช้ในการกำจัดสีของน้ำเสียอันเกิดจากการย้อมฝ้ายมากที่สุด เพราะสารเคมีแต่ละตัวที่นำมาใช้ในการทดลองมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป การที่จะเลือกสารเคมีตัวใดไปใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นหรือดำรงค์อยู่ในภาวะนั้น ๆ ดังนั้น การพิจารณาจึงจำเป็นต้องเลือกจากข้อดีและข้อเสียของสารเคมีแต่ละตัวไป ซึ่งอาจจะสรุปประเด็นที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้

5.7.1 สารส้ม

ข้อดี

ก. ราคาถูก

ข. ประสิทธิภาพในการลดสีสูงสำหรับสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สีย้อมเวตชัลเฟอร์ เมททัลลิค เป็นต้น

ค. ผลกระทบของสารช่วยย้อมมีน้อย ทำให้สะดวกแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน กล่าวคือ สารช่วยย้อมที่ใช้ย้อมสีประเภทเดียวกันในแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไปทั้งชนิดสารและปริมาณสาร การใช้สารส้มเป็นตัวกำจัดสีจะลดปัญหาผลกระทบในด้านนี้ได้อย่างมากและแม้ว่าการย้อมสีประเภทเดียวกันในโรงงานแห่งเดียวกันก็ตามจำจะต้องมีการ

เปลี่ยนแปลงปรับปรุงชนิดของสารช่วยย้อมอยู่ตลอด เวลาซึ่ง เป็นผลสืบเนื่องมาจากการพัฒนาทางด้าน เทคนิคการผลิต อันจะทำให้ลักษณะสมบัติของสารช่วยย้อม เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่การใช้สารส้มในการกำจัดสีก็ยังสามารถประ เมินประสิทธิภาพได้จากข้อมูล เดิมที่มีอยู่

ง. กลไกในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์โดยใช้สารส้มในขบวนการโคแอกกูเลชั่น เป็นที่รู้กันอย่างกว้างขวางอันผิดกับสาร เคมีตัวอื่น ทำให้การนำสารส้มไปประยุกต์ใช้งานง่ายขึ้น

<u>ข้อเสีย</u>

ก. จากการสัง เกตพบว่าตะกอนฟล็อคที่ เกิดจากสารส้มมีลักษณะ เบา การจมตัวของตะกอนขึ้นกับอนุภาคของสีย้อมแต่ละประ เภทที่ เจือปนอยู่ในน้ำ ตะกอนฟล็อคที่ เกิดจากการกำจัดสีย้อมบางประ เภทจะไม่จมตัวหรือจมตัวช้ามากอันจะก่อให้ เกิดปัญหาในการแยกตะกอนออกจากน้ำ

ข. สารส้มจะทำการกำจัดสีได้ดีก็ต่อ เมื่อตัวอย่างน้ำมีค่าพี เอชระหว่าง 5.0-5.5 ดังนั้น จำต้องปรับสภาพน้ำ เสียซึ่งมักจะมีค่าพี เอชสูงให้ค่าพี เอชลดต่ำลงมาอยู่ในช่วงที่ เหมาะสมดังกล่าวด้วยกรด เสียก่อน ในกรณีตัวอย่างน้ำที่มีค่าความ เป็นด่างสูงๆ เช่นตัวอย่างน้ำของสีย้อมไดเรกท์จะทำให้ เปลืองกรดมาก ค่าใช้จ่ายส่วนที่ เพิ่มขึ้นนี้จะมีราคาแพงกว่าปริมาณสารส้มหลาย เท่า ทำให้ราคาสาร เคมีที่ใช้ในการบำบัดทั้งหมดสูงขึ้นตามไปด้วย

5.7.2 <u>ปูนขาว</u>

<u>ข้อดี</u>

1. ราคาถูก
2. ตะกอนฟล็อคที่ เกิดขึ้นจมตัวดี ไม่มีปัญหา เรื่องตะกอน เบา

ข้อ เสีย

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำ สามารถกำจัดสีของสีย้อมแวต ได้เพียงประ เภท เดียวโดยให้ผล เป็นที่น่าพอใจ แต่ เนื่องจากต้อง ใช้ปริมาณมากทำให้ค่าใช้จ่ายยังสูงกว่าการใช้สารส้มอยู่ดี
2. ผลกระทบอัน เนื่องมาจากสารช่วยย้อมสูง
3. เพิ่มค่าความ เป็นด่างให้กับน้ำ อันจะก่อให้ เกิดปัญหาในระบบบำบัด ขบวนการต่อไป (ถ้ามี)

5.7.3 แมกนี เซียมคาร์บอ เนตไฮ เดรต เบสิค

ข้อดี

ก. ในกรณีที่ไม่มีสารช่วยย้อม เจือปนหรือ เจือปนอยู่ในบริมาณน้อย ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะสูง สามารถดึงแยกอนุภาคของสี ที่มีขนาด เล็กออกจากน้ำได้ซึ่งในกรณีของสารส้มจะ ไม่สามารถ กระทำได้

ข. ตะกอนฟล็อคที่ เกิดขึ้นจมตัวได้ดี

ค. ตะกอนที่ เกิดขึ้นสามารถนำมาทำให้คืนรูปได้โดยไม่ยากนัก [20,22,38,40]

ง. ในกรณีที่ต้องการแก้ปัญหา เฉพาะหน้าอัน เกิดมาจากปัญหา เรื่องสี การใช้ MCHB ร่วมกับปูนขาวมีแนวโน้มว่าพึงจะกระทำได้โดย เพิ่ม ปริมาณสาร เคมีให้สูงขึ้น อันผิดกับสาร เคมีตัวอื่นที่ไม่สามารถจะกระทำได้

ข้อ เสีย

ก. ราคาแพง เนื่องมาจาก เป็นสาร เคมีตัวใหม่ ยังไม่ เคยมีการนำ มาใช้ในงานวิศวกรรมสุขาภิบาลใน เชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลาย

ข. มีความไวต่อสารช่วยย้อมที่ เจือปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง

ค. เพิ่มค่าความ เป็นด่างให้แก่น้ำ แต่ค่าที่ เพิ่มขึ้นจะน้อยกว่าการใช้ ปูนขาวแต่ เพียงอย่าง เดียวในปริมาณสารที่ เท่ากัน

เพื่อความสะดวกในการหยิบยกผลการทดลองไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน ได้สรุปผลการทดลองและประเมินราคาไว้ในตารางที่ 5.5-5.10