



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การดูดซับย้อมสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม
ด้วยตะกอนจุลินทรีย์

**SORPTION OF DYES IN TEXTILE WASTEWATER
BY BIOLOGICAL SLUDGE**

ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2547

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยศรีปทุม ประจำปี 2547 ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.รัชนิพร พุกยากรณ์ พุกกะมาน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้การสนับสนุนทุนภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุมเพื่อทำวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิ่มนวล ศรีจาด ประธานคณะกรรมการงานวิจัยของมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่ให้โอกาส และขยายเวลาการดำเนินการวิจัยแก่ผู้วิจัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป ผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาในการอ่าน ตรวจสอบและแก้ไขงานวิจัย ซึ่งเป็นการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ช่วยเหลือ ชี้แนะ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ นอกจากนี้ท่านยังให้ความรู้ใหม่ๆ จากการที่ได้เข้าพบและยังได้เชิญชวนให้เข้าฟังการอบรม สัมมนาและประชุมทางวิชาการ อันเป็นประโยชน์และทำให้รอบรู้ได้กว้างขึ้นเกี่ยวกับมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย อีกทั้งขอขอบคุณบุคคลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือของโรงพยาบาลน้ำเสียวรณสีพระยา และโรงงานไทยฟิลาเมนต์ เท็กซ์ไทล์ จังหวัดสมุทรปราการ ที่ให้ความอนุเคราะห์สีย้อมและน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์ ที่ปรึกษาทางด้านวิชาการให้กับผู้วิจัย จนทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจและสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ไพบุลย์ ปัญญาคะโป และ ดร.ปิยากร หวังมหาพร และอาจารย์นิภาวรรณ พุทธสงกรานต์ ที่สอบถาม ติดตาม และคอยสนับสนุนเกี่ยวกับงานวิจัยครั้งนี้และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สันทัด ศิริอนันต์ไพบุลย์ บุคคลสำคัญของครอบครัวซึ่งเป็นที่ปรึกษาทางด้านวิชาการ คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ

กันยายน 2550

หัวข้อวิจัย : การบำบัดน้ำเสียที่มักนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือกระบวนการ

ผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ

หน่วยงาน : หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สำนักวิชาการศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2550

บทคัดย่อ

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มักนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือกระบวนการ
ดูดซับทางกายภาพและเคมี แต่กระบวนการดังกล่าวข้างต้นยังมีข้อจำกัดมากมาย การเลือกใช้
ตะกอนจุลินทรีย์ในการมาดูดซับทั้งสารอินทรีย์และสีย้อมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าคิดว่า
จะสามารถแก้ไขปัญหาได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของตะกอน
จุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัส ผลของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับ และ
สารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีออกจกจากตะกอนจุลินทรีย์

ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอน
จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความแตกต่างกัน ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสีได้
สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว และยังพบอีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวม
สีพระยาที่มีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม สำหรับ
ตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยาจะใช้ระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมงในขณะที่
ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมใช้ระยะเวลาสัมผัสเพียง 3 ชั่วโมง ความสามารถในการดูดซับ
ที่มากที่สุดเท่ากับ 6.12 มิลลิกรัมต่อกรัม-เซลล์โดยที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับตะกอน
จุลินทรีย์ที่มีชีวิตเท่ากับ 7 ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะพบว่าที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง
เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลง และ 0.1% SDS มีประสิทธิภาพในการชะล้างตะกอน
ได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการดูดซับสีของตะกอน
จุลินทรีย์ พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะแสดงความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดที่ค่าความเป็น
กรด-ด่างเท่ากับ 7 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่ค่าความเป็น
กรด-ด่างเท่ากับ 3

คำสำคัญ : การดูดซับ/ ตะกอนจุลินทรีย์/ สีรีแอกทีฟ/ น้ำเสีย/ บำบัดสีย้อม

Research Title : Sorption of Dyes in Textile Wastewater by Biological Sludge
Name of Researcher : Kanidta Chairattanawan
Name of Insitution : Sripatum University
Year of Publication : B.E. 2550

ABSTRACT

Nowaday, the popular color removal system is the chemical and physical adsorption processes, but the above treatment processes still had some limitations. The dye adsorption by bio-sludge from biological wastewater treatment system was the one of alternative system that might be suitable and could solve the problems above. Then, this research was consisted of the determination of dye adsorption yield of bio-sludge of biological wastewater treatment system, effect of reaction time for dye adsorption, effect of pH on the dye adsorption and the suitable eluent for elution of the dye from the dye adsorbed bio-sludge.

The results showed that the capacity of dyes adsorption between the living and dead bio-sludge was different. Dyes adsorption capacity of living bio-sludges were higher than that of dead bio-sludge, showed higher dye adsorption yield than that of the dead bio-sludge. Also, the bio-sludge from domestic wastewater treatment plant (Sripahya central wastewater treatment plant) showed higher dye adsorption yield than that of bio-sludge from textile wastewater treatment plant. For the determination of optimal reaction time on the dye adsorption, it was found that the bio-sludge of Sripahya central wastewater treatment plant required about 6 hours for dye adsorption while bio-sludge of textile wastewater treatment plant required only 3 hours.

The determination do optimal pH for the maximal dye adsorption of bio-sludge was also determined. It was found that the living bio-sludge showed that highest dye adsorption yield at the pH of 7. While the dead bio-sludge showed the highest dye adsorption yield at the pH of 3.

Keywords : Adsorption; bio-sludge; Reactive dye; Wastewater; Treatment of textile dye

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	คำถามการวิจัย	3
	สมมุติฐานการวิจัย	3
	ขอบเขตการวิจัย	4
	นิยามศัพท์	4
2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย	8
	ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย.....	12
	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
	สรุป	50
3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	51
	เครื่องมือและอุปกรณ์.....	51
	สารเคมี	52
	สื่อซ่อม	53
	การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	54
	ตะกอนจุลินทรีย์ (bio-sludge) ที่ใช้ในการทดลอง	55
	วิธีและมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	56
	สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ชะล้างสี.....	57
	วิธีการทดลอง.....	58
	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ.....	62

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	63
ผลการศึกษาลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม.....	63
ผลการศึกษาลักษณะของสีข้อมรีแอกทีฟ.....	64
ผลการศึกษาลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ (bio-sludge).....	65
ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับสี โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living bio-sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)	66
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	89
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	89
สรุปผลการวิจัย.....	89
อภิปรายผล.....	92
ข้อเสนอแนะ	97
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	109
ภาคผนวก ก ข้อมูลความยาวคลื่นของสีข้อมที่ได้จากเครื่องสเปกโตร โฟโตมิเตอร์.....	109
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐานของสารละลายสีข้อม.....	112
ภาคผนวก ค ข้อมูลการศึกษาระยะเวลาสัมผัส.....	115
ภาคผนวก ง ข้อมูลการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีและปริมาณ สารอินทรีย์.....	123
ภาคผนวก จ ข้อมูลการศึกษาผลของค่าความเป็น กรด-ด่าง ต่อกระบวนการ ดูดซับ.....	128
ประวัติย่อผู้วิจัย	142

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ประเภทสีย้อม.....	16
2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสีย้อมที่ใช้.....	18
3 เปรอ์เซ็นต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างทางเคมีของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟที่แบ่งตามโทนสีต่างๆ	22
4 กลุ่มรีแอกทีฟที่สำคัญ.....	24
5 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท monofunctional	27
6 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภท bifunctional	30
7 สมบัติของสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลอง	53
8 แสดงชนิดของสารอาหารที่ใส่น้ำเสียสังเคราะห์	55
9 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	56
10 ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นตัวชะ	57
11 คุณลักษณะของตัวอย่างน้ำจากโรงงานฟอกย้อม.....	64
12 คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์.....	65
13 คุณลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์.....	66
14 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม.....	70
15 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจาก โรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยากับความสามารถในการดูดซับ.....	71
16 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม.....	73
17 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ.....	74

ตาราง	หน้า
18 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอน จุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ....	77
19 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอน จุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ..	79
20 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตใน การดูดซับสีย้อม RR141 กับ สีย้อม RB221.....	81
21 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ในการดูดซับสีย้อม RR141 กับ สีย้อม RB221.....	82
22 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตของ โรงบำบัด น้ำเสียรวมสี่พระยา.....	86
23 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตของ โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา.....	87
24 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตของ โรงงาน ฟอกย้อม.....	88
25 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้างสำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตของ โรงงาน ฟอกย้อม.....	88
ก1 ผลที่ได้จากการหาค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive red 141.....	110
ก2 ผลที่ได้จากการหาค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive blue 221.....	111
ข1 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive red 141 ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	113
ข2 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive blue 221 ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	114
ค1 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีแดงในการดูดซับสี RR141.....	116
ค2 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีแดงในการดูดซับสี RR141.....	116
ค3 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีในการดูดซับสี RR141.....	117
ค4 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีในการดูดซับสี RR141.....	117
ค5 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงินในการดูดซับสี RB221.....	118
ค6 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงินในการดูดซับสี RB221.....	118
ค7 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีในการดูดซับสี RB221.....	119
ค8 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีในการดูดซับสี RB221.....	119

ตาราง	หน้า
ค9 ระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RR141.....	120
ค10 ระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RR 141.....	120
ค11 ระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RB221.....	121
ค12 ระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RB221.....	121
ง1 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้น, COD, BOD ₅ ที่ผ่านการดูดซับสำหรับตะกอน จุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา.....	124
ง2 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้น, COD, BOD ₅ ที่ผ่านการดูดซับสำหรับตะกอน จุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม.....	127
จ1 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา).....	129
จ2 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา).....	133
จ3 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ โรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิต.....	137
จ4 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์โรงงาน ฟอกย้อมที่ไม่มีชีวิต.....	140

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แผนผังกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จ.....	10
2 ตัวอย่างปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Substitution.....	23
3 ตัวอย่างปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Addition.....	23
4 สีที่ปรากฏเมื่อมีการดูดกลืนคลื่นแสงแต่ละความยาวคลื่น.....	34
5 การวัดสีโดยใช้วิธี Space Unit(S.U).....	37
6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	44
7 การเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ.....	45
8 โครงสร้างสีย้อมรีแอคทีฟ reactive red 141	53
9 โครงสร้างสีย้อมรีแอคทีฟ reactive blue 221	54
10 สูตรโครงสร้างของ SDS	57
11 สูตรโครงสร้างของ triton X-100	58
12 สูตรโครงสร้างของ tween-80.....	58
13 สูตรโครงสร้างของ cholic acid	58
14 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์(จากโรงบำบัด น้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อม).....	68
15 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์(จากโรงบำบัด น้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ไม่มีสีย้อม).....	68
16 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงาน ฟอกย้อม.....	69
17 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อประสิทธิภาพการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มี ชีวิตและไม่มีชีวิต(ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อม).....	84
18 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อประสิทธิภาพการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มี ชีวิตและไม่มีชีวิต(ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์).....	84
19 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จาก โรงงานฟอกย้อม.....	85
ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม reactive red 141.....	113
ข2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม reactive blue 221.....	114

ภาพประกอบ

หน้า



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมนับทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและการแข่งขันที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพที่แปรเปลี่ยนไปที่เราเรียกว่าน้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตายเนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจนและผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมคือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วย สี, ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี, กรด-ด่าง, สารแขวนลอย, ความร้อน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ มลสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี(dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ(finishing) โดยส่วนมากแล้วมลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ทั่วๆ ไป แต่มีสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ซึ่งสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอทีฟ, สีเอซิค, สีเบสิก, สีไดเรกต์, สีแวกซ์, สีดิสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลดอัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้ สัตว์น้ำอาจตายได้ ดังนั้นการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานจึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิดและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

และจากที่ทราบกันในเบื้องต้นแล้วว่า สีที่อยู่ในน้ำทิ้งแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ยังสามารถมองเห็นได้ชัดเจนและทำความรำคาญให้ผู้ใช้แหล่งน้ำ สีที่อยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลาย

ชนิดและแต่ละชนิดยากต่อการย่อยสลายโดยธรรมชาติ ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีทั้งกระบวนการทางกายภาพและเคมีซึ่งบำบัดสีได้น้อย รวมทั้งมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ค่าใช้จ่ายในการบำบัด ตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัด โดยการศึกษาที่ได้ทำการทดลองวิจัยจากการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีการศึกษา 2540 เรื่อง “การบำบัดสีของน้ำทิ้งโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีทางเคมี” พบว่ามีสารเคมีหลายชนิดที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารตกตะกอนสีในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมรวมทั้งได้พัฒนาถึงปฏิกรณ์ในระดับนำร่อง (pilot scale) ที่ใช้ในการบำบัดสี แต่จากผลการศึกษาพบว่ายังมีปัญหาหลายประการที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเคมี กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการบำบัดรวมถึงตะกอนที่เกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีปริมาณมาก และต้องมีวิธีการกำจัดที่เฉพาะ

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ที่จะใช้กระบวนการทางชีวภาพ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ซึ่งกระบวนการทางชีววิทยา เช่น ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) แบ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบการไหลต่อเนื่อง (AS; Activated Sludge) และแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (SBR; Sequencing Batch Reactor) ทั้งสองแบบแตกต่างกันที่ระบบ SBR ไม่มีถังตกตะกอนใช้ถังเดิมอากาศเพียงใบเดียวทำหน้าที่เดิมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอน ในขณะที่หยุดเครื่องเดิมอากาศเมื่อพิจารณากับโรงงานฟอกย้อมทั่วไปซึ่งมีพื้นที่จำกัดแล้วพบว่าระบบ SBR มีความเหมาะสมมากกว่ากระบวนการทางเคมี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical precipitation), การออกซิเดชัน (oxidation), การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon adsorption) ทั้งนี้พบว่ากระบวนการทางเคมีนั้นปัญหาที่พบค่อนข้างมาก คือ ปริมาณการใช้สารเคมีจำนวนมาก, ค่าใช้จ่ายสูงและมีความเฉพาะเจาะจงในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงมีการนำกระบวนการร่วมทางเคมีและชีววิทยา หรือที่เรียกว่า ระบบ BAC (biological activated carbon process) มาใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำ โดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ได้ถูกนำมาใช้ทั้งชนิดที่เป็นผงถ่านและชนิดเกล็ด (Mochidzuki 1999 : 2609-2616) กล่าวคือ ในการกำจัดสีโดยการตกตะกอนโดยวิธีทางเคมีนั้นจะสามารถกำจัดสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำออกได้เป็นส่วนมากแต่ก็จะไม่สามารถกำจัดสีย้อมที่ละลายน้ำได้ และจากการที่ถ่านกัมมันต์มีสมบัติในการดูดซับสี กลิ่น และสารแขวนลอยต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี จึงสามารถนำคุณสมบัติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยการเติมถ่านกัมมันต์ลงในระบบบำบัดทางชีววิทยา ซึ่งเมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบบำบัดแบบชีววิทยาก็จะให้ประโยชน์หลายประการ เช่น ช่วยกำจัดสีและกลิ่น ลดปริมาณสารพิษ และเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน เป็นต้น ทั้งนี้ขอบเขตของงานวิจัยจะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับสีน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมและ

หาสภาวะที่เหมาะสมที่ตะกอนจุลินทรีย์สามารถดูดซับสีได้สูงสุด ซึ่งอาจกล่าวได้นับเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าไปใช้ในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน 2548)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับสีของน้ำเสีย

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์

1.3 คำถามการวิจัย

1.3.1 ตะกอนจุลินทรีย์น่าจะมีคุณสมบัติคล้ายถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ในการดูดซับสีได้หรือไม่ อย่างไร

1.3.2 ตะกอนจุลินทรีย์แบบใด (จาก 2 แบบ คือ 1) ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต 2) ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต) ที่มีความสามารถในการดูดซับสีน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

1.4 สมมติฐานการวิจัย

ตะกอนจุลินทรีย์น่าจะมีคุณสมบัติในการดูดซับสีของน้ำเสียฟอกย้อม โดยเฉพาะสีข้อมรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีข้อมที่ละลายน้ำได้ดี และมีใช้กันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ทั้งนี้สีข้อมชนิดนี้จะบำบัดได้ค่อนข้างยากด้วยวิธีการทางเคมี หรือวิธีการทางกายภาพ และในปัจจุบันกระบวนการดูดซับนับเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและนิยมใช้กันอย่างมาก สารดูดซับ(adsorbent)ที่รู้จักและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการดูดติดสีข้อมไว้ที่ผิว แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาที่สูงค่อนข้างแพง และเมื่อนำมาใช้ซ้ำใหม่ จะพบว่าให้ประสิทธิภาพลดลงถึง 10-50 % ต่อมาก็ได้มีการงานวิจัยเกิดขึ้นมากมายเพื่อหาสารดูดซับที่เหมาะสม จึงทำให้มีแนวคิดว่าจะมีการทดลองนำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ในการดูดซับสีข้อมโดยเฉพาะสีรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นสีที่มีการย่อยสลายได้ยาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เพื่อหาความแตกต่างในความสามารถในการดูดซับสี โดยคาดว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตน่าจะมีสามารถในการดูดซับสีของน้ำเสียได้ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 กลุ่มเป้าหมาย

- ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับน้ำเสียที่ได้จากโรงงานฟอกย้อมแห่งหนึ่ง
- ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับน้ำเสียที่ได้สังเคราะห์ขึ้น 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อม Reactive Red 141(RR141) และ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อม Reactive Blue 221(RB221)
- ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับตะกอนจุลินทรีย์ 2 แหล่ง ได้แก่ ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา และตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

1.5.2 เนื้อหาของการวิจัย

- ทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับ
 - 1.5.2.1 การดูดซับสีน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ 2 แหล่ง ว่าตะกอนจุลินทรีย์แบบใดที่เหมาะสม
 - ก. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต
 - ข. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต
 - 1.5.2.2. เวลาที่เหมาะสมของตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับสีน้ำเสีย
 - 1.5.2.3 สารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีฟอกย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์

1.5.3 ระยะเวลา

ใช้เวลาในการทำวิจัยจนได้รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประมาณ 1 ปี

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 น้ำเสีย(wastewater) หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปที่พบเห็นสิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ต่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุ ที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษเช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เป็นต้น

1.6.2 สารอินทรีย์ (organic matter) หมายถึง สารประกอบทางเคมีที่มีคาร์บอนรวมกับไฮโดรเจนและอาจมีออกซิเจน ไนโตรเจน และธาตุอื่นๆ โดยโมเลกุลของสารอินทรีย์มักจะซับซ้อน ประกอบด้วยจำนวนอะตอมมาก และมักไม่แตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย แต่เป็นสารที่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวเคมี ปริมาณสารอินทรีย์สามารถประมาณได้

จากค่าปริมาณของของแข็งระเหยง่าย(VS) แต่ผลที่ได้อาจมีค่าไม่ละเอียด ดังนั้นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ในปัจจุบันจึงนิยมวัดในรูปของค่าบีโอดี ซีโอดี หรือทีโอดี

1.6.3 ตะกอนจุลินทรีย์(biological sludge) หมายถึง กลุ่มสิ่งมีชีวิตหลายชนิดรวมกัน เช่น รา แบคทีเรีย และอื่นๆ ในระบบบำบัดที่รวมตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำตะกอนจุลินทรีย์มาปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ใช้เกิดศัพท์ที่ใช้อยู่ 2 คำคือ

- ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสี หมายถึงกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีสีข้อม
- ตะกอนจุลินทรีย์สีแดง(หรือตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงิน) หมายถึงกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อมริแอกทีฟที่เป็นสีแดง(หรือสีน้ำเงิน)

1.6.4 ระยะเวลาสัมผัส(contact time หรือ detention time) ระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับจุลินทรีย์เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยา

1.6.5 สีข้อม(dyestuffs) หมายถึง สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้า ซึ่งอาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ สีข้อมอาจละลายหรือไม่ก็แขวนลอย เป็นสารที่ใช้ในกระบวนการย้อมโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก(ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์(covalent bond) กับวัตถุนั้น

1.6.6 การดูดซับสี หมายถึง การที่สีถูกดูดติดที่พื้นผิวของตัวดูดซับ

1.6.7 อุณหภูมิ(temperature) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยมากจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ เมื่อน้ำเสียถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้สภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- ปริมาณออกซิเจนละลายจะลดลงกว่าปกติ เนื่องจากค่าอิ่มตัวของออกซิเจนละลายจะลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- ปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ในน้ำจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการใช้ ออกซิเจนในน้ำสูงขึ้นด้วย

1.6.8 พีเอช (pH) หมายถึง ค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน(H^+) ในน้ำ ค่าพีเอชจะแสดงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสียนั้นๆ เป็นค่าที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการบำบัดน้ำเสียทั้งวิธีทางชีวภาพและวิธีทางเคมี เช่น น้ำเสียที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง จะมีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

1.6.9 บีโอดี (BOD: biological oxygen demand) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ติดตามหรือประเมินประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ อีกทั้งยังบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่างๆ การทราบค่าที่แน่นอนและรวดเร็วจะ

ช่วยให้สามารถออกแบบ ติดตาม ควบคุมและแก้ไขระบบบำบัดได้อย่างทันทั่วทั้งที่ โดยใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (organic loading) ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียและใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่างๆ

1.6.10 ค่าบีโอดี คือตัวเลขระบุปริมาณออกซิเจนที่เชื้อแบคทีเรียต้องการ เพื่อที่จะกำจัดสารอินทรีย์ นิยมวัดค่าบีโอดีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีแบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ ดังนี้

- ถ้าค่าบีโอดีสูง, ปริมาณสารอินทรีย์มากจะผสมกัน ดังนั้นเชื้อแบคทีเรียจึงต้องการปริมาณออกซิเจนเป็นจำนวนมาก เพื่อที่จะแพร่พันธุ์ให้มากขึ้น และทำการทำลายอินทรีย์สารเหล่านั้น

- ถ้าค่าบีโอดีต่ำ, ปริมาณสารอินทรีย์ที่ผสมกันจะมีน้อย ดังนั้นเชื้อแบคทีเรียจึงไม่ต้องการออกซิเจนในปริมาณมาก เพื่อที่จะทำลายอินทรีย์สารเหล่านั้น

1.6.11 ซีโอดี (COD; chemical oxygen demand) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นิยมวัดค่าซีโอดีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้หลักการว่า สารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดจะถูกออกซิไดซ์ด้วย strong oxidizing agent ($K_2Cr_2O_7$) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ค่าซีโอดีมักจะมีค่าสูงกว่าบีโอดี เนื่องจากซีโอดีไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้ แต่มีข้อดีคือใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3 ชั่วโมง เท่านั้น ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้ง การคุมระบบบำบัดน้ำเสีย การตรวจคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำเช่นเดียวกับค่าบีโอดี และยังสามารถใช้ในการประเมินค่าบีโอดีอย่างคร่าวๆ ได้

1.6.12 สลัดจ์ (sludge) หมายถึง ของแข็ง(ที่ยังมีน้ำปน) ที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสีย และจมสะสมตัวอยู่เบื้องล่าง หรือ ของแข็ง(ที่ยังมีน้ำปน) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมีและตกตะกอน หรือ กลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา

1.6.13 สลัดจ์ชีวภาพ (bio-sludge) หมายถึง สลัดจ์ดิบที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบต่างๆ ส่วนประกอบหลักของสลัดจ์ชีวภาพจึงเป็นแบคทีเรียที่ถูกกำจัดทิ้ง รวมทั้งสลัดจ์ที่เกิดจากการตกตะกอนเบื้องต้นของน้ำเสีย

1.6.14 สลัดจ์เคมี หมายถึง สลัดจ์ที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยวิธีเคมี ซึ่งอาจเป็นสลัดจ์ที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชันของสารแขวนลอยต่างๆ รวมทั้งน้ำมันและไขมัน หรือสลัดจ์ที่เกิดจากกระบวนการตกผลึก(precipitation) ของโลหะหนัก

1.6.15 ของแข็ง (solid) หมายถึง สารทุกอย่างในของเหลว ยกเว้นน้ำ การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ใช้วิธีการชั่งน้ำหนัก ของแข็งแบ่งได้หลายชนิด เช่น ของแข็งจมตัวได้

(settleable solids) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด(total dissolved ; TDS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids ; TSS) ของแข็งระเหยง่าย(volatile solids ; VS) เป็นต้น

1.6.16 เอ็มแอลเอสเอส (mixed liquor suspended solids; MLSS) หมายถึง ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (เฉพาะในถังปฏิกริยาชีวภาพเท่านั้น)

1.6.17 เอ็มแอลวีเอสเอส (mixed liquor volatile suspended solids; MLVSS) หมายถึง ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำตะกอน(เฉพาะในถังปฏิกริยาชีวภาพเท่านั้น)



บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องทิวชัย

2.1.1 อุตสาหกรรมฟอกย้อม

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญในการนำเข้าเงินตราต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเครื่องนุ่งห่มเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปผลิตหรือจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไปได้ กระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นสารเคมี ไม่ว่าจะเป็นสีย้อม กรด ด่าง สารปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ เช่น สารตกแต่ง สารฟอกขาว เป็นต้น และสิ่งที่ไม่ได้ก็คือน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมที่ต้องใช้ในปริมาณที่มาก เพื่อให้ได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่มีสีสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อม ตลอดจนความพอใจความรู้สึกรักของผู้บริโภค

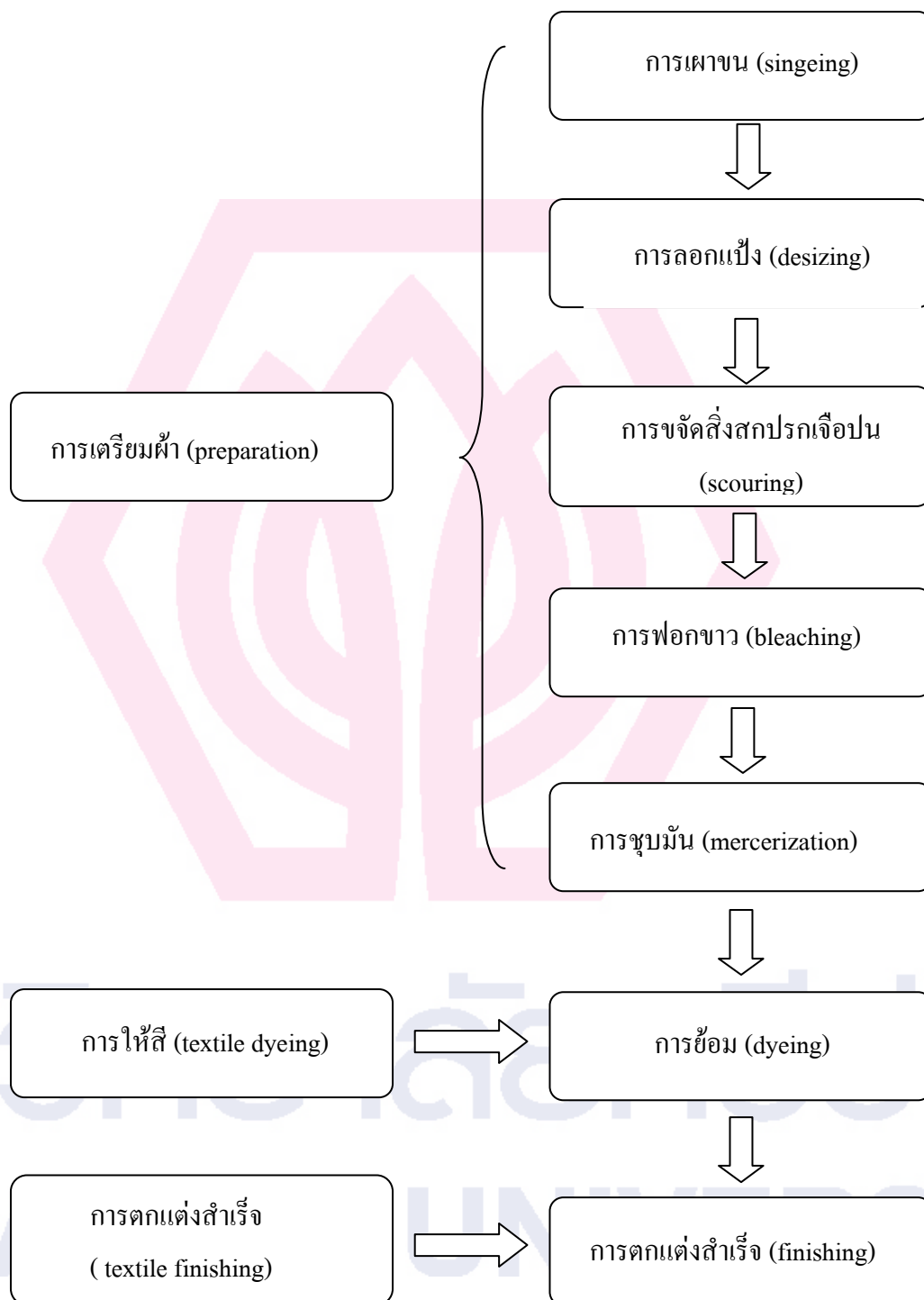
ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเกิดขึ้นจากน้ำและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะมีทั้งสารพิษ สารแขวนลอย น้ำมัน และของเสีย ไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ ปนเปื้อนออกมา นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง มีสภาพเป็นด่าง มีกลิ่นที่แรงและมีสีที่นํารังเกียจ (นฤมล ศิริทรงธรรม 2540 : 51) เมื่อน้ำเสียที่มีสีถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (หรือสิ่งแวดล้อม) จะทำลายความสวยงามของธรรมชาติแล้วยังทำให้สมดุลทางธรรมชาติเสียไปอีกด้วย (นันทยา ยานูเมศ 2539 : 29-34) นอกจากนี้ยังพบว่าสีที่พบในน้ำเสียซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์จะไปบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ ส่งผลกระทบต่อพืชที่อยู่ในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ส่งผลให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำลดลง ซึ่งมีผลให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำอาจตายได้ น้ำเสียก่อนที่จะปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะควรจะต้องมีกระบวนการกำจัด หรือบำบัดน้ำก่อน เพื่อลดปริมาณสี นับเป็นการป้องกันหรือแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำในปัจจุบันได้มีการกำหนด ข้อบังคับเกี่ยวกับการปล่อยน้ำเสียซึ่งเป็นที่ยอมรับในหลายๆ ประเทศ อาทิเช่น การดูจากปริมาณที่สิ่งมีชีวิตรับได้ สมบัติทางเคมีของน้ำทิ้ง ระดับของสีในน้ำทิ้ง เป็นต้น

2.1.2 กระบวนการฟอกย้อม

กระบวนการฟอกย้อม เป็นขั้นตอนที่สำคัญในอุตสาหกรรมฟอกย้อม จำแนกออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ก. **ขั้นเตรียมผ้า** เป็นการทำความสะอาดเส้นใยเพื่อให้พร้อมสำหรับการย้อมพิมพ์ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. **การผาชน (singeing)** เป็นการกำจัดเส้นใยสั้นที่มักโผล่บนผิวผ้า เพื่อให้ผ้าติดสีอย่างสม่ำเสมอ โดยการใช้เปลวแก๊ส ขั้นตอนนี้จึงไม่มีการใช้น้ำ
2. **การลอกแป้ง (desizing)** เป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นสำหรับผ้าทอ เพราะในการทอจะต้องมีการลงแป้งด้ายยืน เพื่อให้การทอสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากทอเสร็จแล้วจึงนำไปฟอกย้อมได้ ซึ่งการลอกแป้งนี้จะต้องทำให้ผ้าเปียกน้ำได้ดีและสม่ำเสมอ จะได้ผ้าที่มีความนุ่มเมื่อได้มีการสัมผัส ไม่หยาบกระด้าง ผ้ามีสมบัติในการดูดซับสีและสารเคมีได้อย่างสม่ำเสมอและทั่ว ทั้งผืน ทั้งนี้การลอกแป้งทำโดยการนำผ้าแช่น้ำร้อนให้เส้นใยพองตัวและมีการเติมสารเคมีลงไปช่วยย่อยด้วย ดังนั้นจึงทำให้กระบวนการลอกแป้งนี้มีการใช้น้ำและมีน้ำเสียเกิดขึ้น
3. **การขจัดสิ่งสกปรกเจือปน (scouring)** เป็นขั้นตอนที่ทำให้เส้นใยสะอาดและบริสุทธิ์ ช่วยให้สีย้อมสามารถซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้มาก การขจัดสิ่งสกปรกทำโดยการนำผ้าไปต้ม มีการเติมสารเคมีลงไปด้วย เช่น โซดาไฟ ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงมีการใช้น้ำและสารเคมีทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น
4. **การฟอกขาว (bleaching)** เป็นขั้นตอนของการขจัดสีที่มีอยู่บนเส้นใย ซึ่งส่วนใหญ่ติดมาตามธรรมชาติหรือจากการปนเปื้อนที่เกิดจากขั้นตอนการปั่นหรือการทอ ขั้นตอนการฟอกขาวจะมีการใช้น้ำและสารฟอกขาว จึงมีน้ำเสียเกิดขึ้นด้วย
5. **การชุบมัน (mercerization)** เป็นการเพิ่มความเงามันให้กับเส้นด้ายและผ้า ทำให้เส้นใยเรียบและมีความคงรูปดีขึ้น มีการใช้น้ำและสารเคมีในกระบวนการนี้ด้วย จึงมีน้ำเสียเกิดขึ้น



ภาพประกอบ 1 แผนผังกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จ
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2542

ข. ขั้นการให้สี (textile coloration) แบ่งได้ 2 วิธี คือ

1. **วิธีย้อม** โดยละลายสีย้อมที่ต้องการจะย้อมลงในน้ำ นำผ้าที่เตรียมไว้มาสัมผัสกับสีย้อม สีย้อมที่เหลือจะถูกทิ้งไปและผ้าที่ย้อมแล้วจะถูกนำมาซักล้าง ซึ่งขั้นตอนการย้อมนี้มีการใช้น้ำล้างปริมาณมาก จึงเกิดน้ำเสีย (ที่มีสี) มาก

2. **วิธีพิมพ์** โดยผสมสีพิมพ์กับแป้งพิมพ์เพื่อให้มีความเข้มข้นแล้วจึงพิมพ์ลงบนผ้า จากนั้นจึงนำผ้าที่พิมพ์แล้วไปซักล้าง รวมถึงจะมีการล้างแบบพิมพ์ จึงมีการใช้น้ำและเกิดน้ำเสีย(ที่มีสี) ขึ้น

ค. ขั้นการตกแต่งสำเร็จ (textile finishing) การตกแต่งสำเร็จเป็นขั้นตอนการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยน คุณสมบัติสิ่งทอ ให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากขึ้น ซึ่งในแต่ละรูปแบบต้องใช้สารเคมีที่แตกต่างกันไป

จากกระบวนการผลิตและสารเคมีที่ใช้ ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบไปด้วยค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และสี รวมถึงสารเคมีต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งความเข้มข้นจะแปรเปลี่ยนไปตามกระบวนการผลิตที่มีลักษณะเฉพาะของโรงงานแต่ละแห่ง อย่างไรก็ตามโดยทั่วไป น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 100 – 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 500 ถึง 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร (จารุทัศน์ มลินทะเลข 2537 : บทคัดย่อ) ซึ่งปัจจุบันมาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดให้น้ำทิ้งจากโรงงานประเภทนี้มีค่าบีโอดีไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนสีของน้ำทิ้งนั้นต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2539)

2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมที่ควรรู้จัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

2.1.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการจัดสิ่งสกปรก อาทิเช่น

ก. โซดาไฟ (sodium hydroxide : NaOH) ทำปฏิกิริยากับไขมันโดยเปลี่ยนไขมันเป็นสบู่ที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยขยายตัว สิ่งสกปรกต่างๆ ถูกขจัดออกง่ายขึ้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ได้แก่ ความร้อน นอกจากนี้ดังยังช่วยกำจัดสารอื่นๆอีก เช่น โปรตีน เพกทิน สารลงแป้งที่ ตกค้าง เกลือแร่ต่างๆ ให้ละลายหลุดออกมา

ข. น้ำสบู่ (detergent) ทำหน้าที่กำจัดไขมันในลักษณะที่ทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsion) การกำจัดสิ่งสกปรกอื่นๆออกจากวัสดุรวมทั้งป้องกันมิให้ย้อมกลับไปติดบนวัสดุอีก น้ำสบู่แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ พวกไม่มีประจุไฟฟ้า พวกมีประจุลบ พวกมีประจุบวก และพวกมีทั้งประจุบวกและประจุลบ แต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ได้แก่ ความสามารถในการแทรกซึม ความสามารถในการซักล้าง ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน

ค. สารจับโลหะ (complexing agent) เป็นพวกลิแกนด์ หรือคีเลต สารนี้สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} เป็นสารที่ละลายน้ำได้ในสภาวะต่าง ๆ ไอออนเหล่านี้จะเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำในสภาวะต่าง ๆ ปกติตะกอนไฮดรอกไซด์เหล่านี้มีผลเสียต่อการฟอกผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไอออนเหล่านี้ นอกจากจะพบในน้ำแล้วยังพบว่ามาจากวัสดุด้วย เช่น ฝ้าย เป็นต้น

2.1.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาว อาทิเช่น

ก. สารออกซิไดซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โซเดียมเปอร์ออกไซด์ (Na_2O_2) เป็นต้น สารประกอบไฮโปคลอไรต์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Ca(OCl)_2) เป็นต้น สารประกอบคลอไรต์ เช่น โซเดียมคลอไรต์ (NaClO_2) เป็นต้น

ข. สารรีดิวซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) โซเดียมเมทาไบซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) โซเดียมฟอร์แมลดีไฮด์ซัลฟอกซิเลต ($\text{HCHOHSO}_2\text{Na}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) การฟอกขาวด้วยสารกลุ่มนี้จะให้ความขาวที่ไม่ถาวรเรียกว่า temporary white

2.2 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย

2.2.1 สีย้อม

สีย้อม (dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400 – 700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาออกมาเป็นต่างกันไป ทั้งนี้เราสามารถแบ่งสีย้อมออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.2.1.1 สีย้อมธรรมชาติ (natural dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชและสัตว์ สีย้อมที่มาจากส่วนประกอบของพืช เช่น ส่วนลำต้น ส่วนดอก ส่วนที่เป็นเปลือก

ส่วนที่เป็นใบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นคราม สีเหลืองจากเนื้อไม้ไผ่ สีแดงจากดอกกรรณิการ์ สีแดงจากรากต้นเข็ม ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ เช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น

2.2.1.2 สีย้อมสังเคราะห์ (synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี รายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

2.2.2 การจำแนกประเภทของสีย้อมตามวิธีใช้

การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้ เพราะจะต้องมีความคงทนการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท (อัญราพร ไสละสูตร 2517 : 74-78 และ Carr. 1995: 299-326) คือ (1) สีเอซิด (2) สีไดเร็กต์ (3) สีเบสิก (4) สีดิสเพอร์ส (5) สีรีแอกทีฟ (6) สีอะโซอิก (7) สีเว็ต (8) สีมอร์แดนท์ (9) สีอินเกรน (10) สีออกซิเดชัน และ (11) สีซัลเฟอร์ โดยสีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้สีย้อมจะมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัตถุประสงค์ที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิด กันได้ เช่น เส้นใยเซลลูโลสซึ่งส่วนใหญ่จะย้อมด้วยสีไดเร็กต์ เป็นต้น ต่อจากนี้จะขอกล่าวรายละเอียดของสีย้อมแต่ละชนิดให้รู้จักพอสังเขป ดังนี้

1) สีเอซิด (acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ไยขนแกะ ไหม และอะคลริกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

2) สีไดเร็กต์ (direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิกที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง

3) สีเบสิก (basic or cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซักและแสง

4) สีดิสเพอร์ส (disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (azo dyes) และสีย้อมแอมมิโน แอนทราควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทราโนลามีน (ethanolamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายกัน

5) สีรีแอคทีฟ (reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสถานะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 °C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

6) สีอะโซอิก (azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโปเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

7) สีแว้ต (vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว้ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว้ตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว้ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควิโนอยด์ (anthraquinoid)

8) สีมอร์แดนท์ หรือ โครม (mordant or chrome dye) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์แดนท์เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจาก สีมอร์แดนท์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ดี

9) สีอินทรน เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมฝ้าย

10) สีออกซิเดชัน(oxidation dye) เป็นสีที่มีละลายน้ำโดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมฝ้ายและขนสัตว์

11) สีซัลเฟอร์ (sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

ตาราง 1 และตาราง 2 เป็นการสรุปสมบัติของสีย้อม ตลอดจนชนิดของเส้นใยที่เหมาะสมในการย้อม

ตาราง 1 ประเภทสีย้อม

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม	พันธะหรือกลไกติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีเอซิด (acid dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 3-5 - สมมติว่าเส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °C
สีเมทัลคอมเพล็กซ์เอซิด (metal complex acid dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้น้อย - สีติดแน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 5-7 - สมมติว่าเส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °C
สีไดเรกต์ (direct dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายต่างอ่อน - เดิมอิเล็กโตรไลท์โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และสีย้อมที่อุณหภูมิ 98 °C
สีเบสิก (basic or cationic dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้น้อย - สีติดแน่น	- อะคริลิก	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4 - 6 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิ 100-105 °C
สีดิสเพอร์ส (disperse dye)	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- ไนลอน - โพลีเอสเตอร์ - อะคริลิก - เซลลูโลส - อะซิเตด	- เนื่องจากเป็นคอลลอยด์จึงเป็นการดูดผิวติดผิวเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4 - 5 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิถึง 130 °C

ประเภท สีย้อม	สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี	เส้นใยที่ เหมาะสม	พันธะหรือ กลไกติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีรีแอกทีฟ (reactive dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สกัดแน่นดี	- ฝ้าย - วิสคอส - ขนสัตว์	- พันธะโควา เลนต์	- แช่เส้นใยในสารละลาย กรด - เดิมเกลือเพื่อกระจายสี ไปสู่เส้นใย - หลังจากนั้นเติมด่างเพื่อให้ เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใย กับสีย้อม
สีอะโซอิก (azoic dye)	- เป็นคอลลอยด์ หลังจาก เกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สกัดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- เกิดการตกผลึก ขึ้นภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลาย ด่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่ เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีแว็ต (vat dye)	- เป็นคอลลอยด์ หลังเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สกัดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- เกิดการตกผลึก ขึ้นภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลาย ด่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่ เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีมอร์ แดนท์ หรือโครม (mordant or chrome)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สกัดแน่นดี	- ขนสัตว์	- พันธะเชิงซ้อน ของเส้นใย โครม และสีย้อม	- แช่เส้นใยในสารละลาย กรด - เดิมโซเดียมไดโครเมต เติมสีย้อมเพิ่มอุณหภูมิถึง 98 °C

ที่มา : Buckley, C.A. 1992

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสี้อมที่ใช้

เส้นใย	โครงสร้างทางเคมีของเส้นใย	สี้อมที่ใช้
ขนสัตว์	$\text{NH}_2\text{COOH}, \text{CONH}$	เอซิด, เมทัลคอมเพล็กซ์, โครม, รีแอกทีฟ
ไหม	$\text{NH}_2, \text{COOH}, \text{CONH}$	ไดเรกต์, รีแอกทีฟ, เอซิด, เมทัลคอมเพล็กซ์, เบสิก, แว็ต
วิสคอส เรยอน	OH, COOH	ไดเรกต์, แว็ต, ซัลเฟอร์
ฝ้าย	OH	ไดเรกต์, แว็ต, ซัลเฟอร์, รีแอกทีฟ
secondary cellulose acetate	$\text{OH}, \text{OCOCH}_3$	ดิสเพอร์ส
cellulose triacetate	OCOCH_3	ดิสเพอร์ส
ไนลอน 6.686	$\text{NH}_2, \text{COOH}, \text{CONH}$	เอซิด, เมทัลคอมเพล็กซ์, ไดเรกต์, ดิสเพอร์ส, รีแอกทีฟ
อะครีลิก	$\text{COOH}, \text{SO}_3\text{H}, \text{OSO}_3\text{H}$	เบสิก, ดิสเพอร์ส
โพลีเอสเตอร์	$\text{OH}, \text{COOH}, \text{COO}$	ดิสเพอร์ส

ที่มา : Johnson, A. 1989

2.2.3 การจำแนกประเภทของสี้อมตามสูตรโครงสร้างทางเคมี

สี้อมสังเคราะห์เป็นสารเคมีที่จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน กล่าวคือ เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินผ่านกระบวนการต่างๆ หลายขั้นตอนที่อยู่ยากและซับซ้อน จนสุดท้ายได้ผลิตเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซีน ไซลีนแอนทราซีน โทลูอินแนพทาลีน และพาราฟินซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสี้อมด้วยเทคนิคต่างๆ

สีของสี้อมสังเคราะห์ที่ปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้นั้นเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน ด้วยกัน คือ (บุษรา ประชุมญาติ 2545 : 6-8)

1) โครโมฟอร์ (chromospheres) เป็นกลุ่มอะตอมของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสีสามารถดูดกลืนแสงในช่วงที่มองเห็นได้ เป็นกลุ่มที่ไม่อิ่มตัว ยกเว้น $-\text{NR}^+$ ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (ลิลี โกศัยยานนท์ 2541)

2) ออกโซโครม(auxochromes) เป็นกลุ่มที่สร้างลักษณะของความเข้ม (intensity) และความสว่างของสี มีคุณสมบัติการละลายน้ำ และ/หรือปรับปรุงคุณสมบัติในการดูดติดกับเส้นใยให้กับสีย้อม เป็นกลุ่มที่ไม่อ้อมตัวที่มีอิเล็กตรอนซึ่งไม่เกิดพันธะเชื่อมอยู่กับพันธะคู่สลับ ตัวอย่างกลุ่มของโครโมฟอร์ที่อยู่ในสีย้อมมีดังต่อไปนี้

1. กลุ่มอะโซ (azo group) : $-N=N-$
2. กลุ่มแอนทราควิโนน (anthraquinone group)
3. กลุ่มเบนโซดิฟูแรน โนน(benzodifuranone group)
4. กลุ่มไนโตรโซ (nitroso group) : $-NO$
5. กลุ่มไนโตร (nitro group) : NO_2
6. กลุ่มอินดิโก(indigo group)
7. กลุ่มเอทิลีน (ethylene group) : $>C=C<$
8. กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) : $>C=O$
9. กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (carbonyl-nitrogen group) : $>C=NH$ และ $-CH=N-$
10. กลุ่มซัลเฟอร์ (sulphur group) : $>C=S$ และ $>C-S-S-C<$
11. กลุ่มฟอร์มาซาล (formazan group)

ตัวอย่างกลุ่มของออกโซโครมที่อยู่ในสีย้อมมีดังต่อไปนี้

1. กลุ่มอะมิโน (amino group) : $-NH_2$
1. กลุ่มเมทิลลามิโน(methylamino group) : $-NHCH_3$
2. กลุ่มไดเมทิล อะมิโน (dimethyl amino group) : $-NH(CH_3)_2$
3. กลุ่มคลอไร (chloro group) : $-Cl$
5. กลุ่มเมทิล (methyl group) : CH_3

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการ

ดูดกลืนแถบแสงสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นสีย้อมที่มีโทนสีแตกต่างกันไป ในที่นี้จะขอกล่าวรายละเอียดของสีย้อมบางกลุ่มของโครโมฟอร์บางตัวเท่านั้น ดังนี้

1) สีย้อมอะโซ (azo dyes) เป็นสีย้อมที่มีกลุ่มอะโซ ($-N=N-$) หนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า ทำหน้าที่เป็นโครโมฟอร์ และมีออกโซโครมได้หลายกลุ่ม จัดเป็นสีกลุ่มที่ใช้มากในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส เพราะเป็นสีที่สังเคราะห์ง่าย ละลายน้ำได้ดี มีความสว่างสดใส และความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดี แต่ที่สำคัญคือ ราคาไม่แพง และลักษณะที่สำคัญของสีย้อมกลุ่มนี้คือ มีสีให้เลือกครบทุกเฉดสี แต่โดยทั่วไปช่วงสีที่มีความสำคัญอยู่ในช่วง

สีเหลือง สีแสด สีแดง สีนํ้าตาล และสีดำ มีกรรมวิธีการสังเคราะห์ค่อนข้างง่าย ตัวอย่างของสีย้อมอะโซ เช่น เมทิลออเรนจ์ (methyl orange, C.I. Acid Orange 52)

2) สีย้อมแอนทราควิโนน (anthraquinone dyes) เป็นสีย้อมที่มีโครงสร้างของแอนทราควิโนนเป็นหลักในโมเลกุล สีย้อมกลุ่มนี้มีความสำคัญรองจากสีย้อมอะโซ ส่วนใหญ่จะเป็นสีนํ้าเงิน สีเอซิดและสีเมอร์แดนท์ สีย้อมแอนทราควิโนนเป็น สีที่มีความสว่าง สดใสดี มีความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ความเข้มข้นของสีจะไม่เท่ากับสีย้อมอะโซ และมีราคาแพงกว่าสีย้อมอะโซ

3) สีย้อมซัลเฟอร์ (sulphur dyes) เป็นสีย้อมที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล สีกลุ่มนี้มีปริมาณการใช้มากที่สุด เพราะมีราคาถูก นิยมใช้ย้อมสีที่บๆ ที่ต้องการความเข้มข้นสูง เช่น สีดำ สีนํ้าตาล สีนํ้าเงิน เป็นต้น สีกลุ่มนี้มีให้เลือกไม่มาก ส่วนมากจะเป็นสีที่บ ไม่สดใส

4) สีย้อมไนโตรโซ (nitroso dyes) สีกลุ่มนี้มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบแอมโรมาติกที่มีหมู่ไนโตรโซ และหมู่ไฮดรอกไซด์ในตำแหน่งที่ติดกันบนวงแหวนเบนซีน ซึ่งในการย้อมจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะต่างๆ เช่น เหล็ก โครเมียม โคบอลต์ และนิกเกิล เป็นต้น

5) สีย้อมไนโตร (nitro dyes) กลุ่มนี้มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบแอมโรมาติก ที่มีหมู่ไนโตร และหมู่ไฮดรอกไซด์หรืออะมิโนในตำแหน่งที่ติดกันหรือตรงข้ามบนวงแหวนเบนซีน โครงสร้างของสารประกอบแอมโรมาติกเป็นโครงสร้างควิโนนอยด์ แบ่งออกเป็นสีซัลโฟเนตไนโตร (sulfonated nitro dyes) ใช้สำหรับย้อมขนสัตว์ และสีอันซัลโฟเนตไนโตร (unsulfonated nitro dyes) เป็นสีพิกเมนต์ (pigment)

6) สีย้อมฟอร์มาซาล (formazan dyes) เป็นสีที่มีโครงสร้างของกลุ่มไตรไซคลิกคิเลตอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดง ส่วนใหญ่พบในสีย้อมเอซิด และสีย้อมรีแอกทีฟ โดยที่เจดสีส่วนใหญ่เป็นสีนํ้าเงิน

2.2.4 สีย้อมรีแอกทีฟ

สีย้อมรีแอกทีฟเป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี และย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด โดยโมเลกุลของสีสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (OH) ของเซลลูโลสได้เมื่ออยู่ในสภาพด่าง และเกิดการเชื่อมโยกันโดยพันธะโควาเลนต์ ทำให้สีติดได้ดี และจะติดได้มากกว่าสีที่ติดโดยแรงทางฟิสิกัล-เคมีคัล (physical-chemical forces) ซึ่งสามารถสลายตัวได้ (โกมล เอี่ยมเสมอ 2541 : 49-54)

2.2.4.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับพวกสีแอซิด แต่สีรีแอคทีฟมีหมู่ labile ที่ไม่เสถียร ได้แก่ หมู่ $-Cl$ หรือ $-O-SO_3Na$ ซึ่งเป็นตัวทำให้สีรีแอคทีฟสร้างพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยผ้าเซลลูโลสได้ โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม สัญลักษณ์แสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปอย่างง่ายได้ดังนี้

S-D-T-X

เมื่อ S(solubilising group) คือกลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกกรดซัลโฟนิก ($-SO_2Na$) ซึ่งจะอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์

D(chromophoric group) คือกลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์ (chromophore) และสร้างการยึดเกาะ (substantivity) กับเส้นใยเซลลูโลส

T(bridging group) คือกลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างกลุ่มรีแอคทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ เช่น กลุ่ม $-NH-$, $-NHCO-$, $-SO_2-$, $-NHSO_2-$ และ $-NCH_2-$ เป็นต้น

X(reactive system) คือกลุ่มรีแอคทีฟ (reactive group) ซึ่งจะเป็นกลุ่มที่ทำให้สียอมทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซี (OH) ในเส้นใย

ในบางกรณีกลุ่มรีแอคทีฟก็จะติดกับกลุ่มโครโมฟอร์โดยตรง ไม่มีตัวเชื่อมก็ได้ และกลุ่มรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะเป็นสาร heterocyclic ring ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบของกลุ่ม heterocyclic ring มีอิทธิพลอย่างมากต่อการทำปฏิกิริยาและสมบัติอื่นๆ ของสี จากส่วนประกอบดังที่กล่าวมานี้จะพบว่ามีสองส่วนที่สำคัญ คือ สารที่ทำให้เกิดสีและกลุ่มรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟที่เป็นสีเหลือง สีส้ม สีแดง สีม่วง สีนํ้าตาล และสีดำ โดยส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างอะโซ แต่ถ้าเป็นสีรีแอคทีฟสีฟ้า หรือสีน้ำเงินจะมีทั้งที่เป็นโครงสร้างอะโซ แอน-ทราควิโนน และฟาโลไซยาไนน์ (phthalocyanines) สีเชื่อมอะโซบางตัวมีโครงสร้างเป็นคอปเปอร์ นอกจากนี้สีดำ สีนํ้าตาลบางตัวและสีรีแอคทีฟสำหรับย้อมผ้าขนสัตว์ มักจะมีโครงสร้างเป็นโครเมียมหรือโคบอลต์คอมเพล็กซ์ สามารถแยกเป็นเปอร์เซนต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟตามโทนสี ได้ดังตาราง 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีรีแอคทีฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกลุ่มโครโมฟอร์ชนิดอะโซซึ่งได้แก่ Unmetallised azo และ Metal-complex azo เป็นส่วนมากถึงร้อยละ 81 ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเชื่อมประเภทรีแอคทีฟจึงต้องทำลายพันธะอะโซในกลุ่มโครโมฟอร์ให้ได้ก็จะลดสีในน้ำเสียลงได้

ตาราง 3 เปรียบเทียบการกระจายของลักษณะโครงสร้างทางเคมีของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟ
ที่แบ่งตามโทนสีต่างๆ

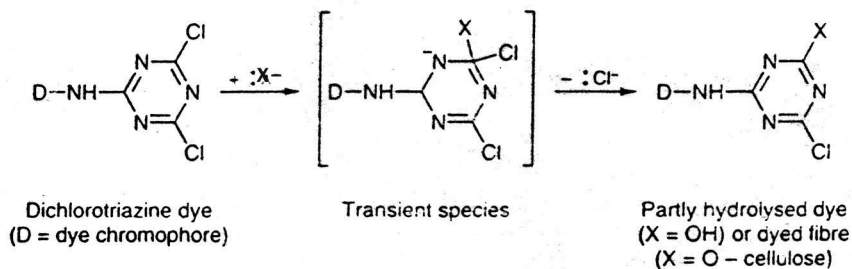
Chemical Class	% การกระจายของโทนสี								
	Yellow	Orange	Red	Violet	Blue	Green	Brown	Black	% ของ สีรี แอกทีฟ ทั้งหมด
Unmetallised azo	97	90	90	63	20	16	57	42	66
Metal-complex azo	2	10	9	32	17	5	43	55	15
Anthraquinone				5	34	37		3	10
Phthalocyanine					27	42			8
Miscellaneous	1		1		2				1
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ที่มา : Shore. 1990

2.2.4.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของกลุ่มรีแอกทีฟกับเส้นใย

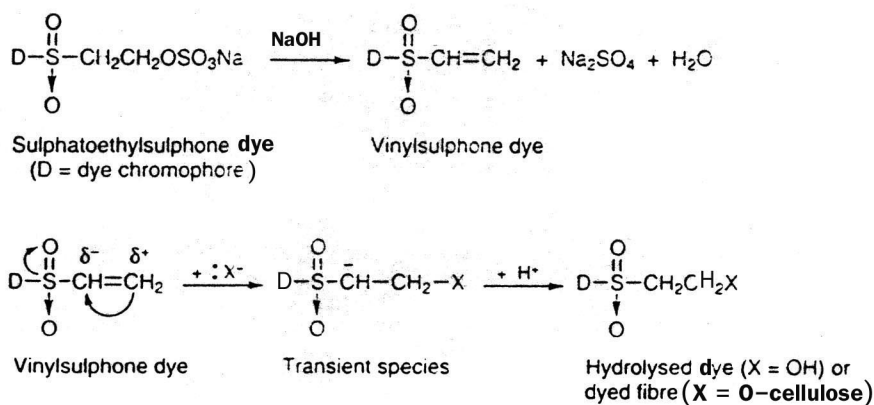
กลุ่มรีแอกทีฟเป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างพันธะกับเส้นใย ทำให้สีสามารถติดกับเส้นใยได้ การสร้างพันธะระหว่างกลุ่มรีแอกทีฟของสีกับเส้นใยแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

2.2.4.2.1 Nucleophilic Substitution ปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดจากค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีหรือความสามารถที่อะตอมจะดึงคู่อิเล็กตรอนเข้ามาหา กล่าวคือเส้นใยหรือไฮดรอกไซด์ไอออนเข้าแทนที่อะตอมพวกแฮโลเจน (halogen) ในโมเลกุลสี ทำให้เกิดการยึดติดของสีกับบนเส้นใย ดังแสดงลักษณะของปฏิกิริยาในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Substitution (Shore, 1995)

2.2.4.2.1 Nucleophilic Addition กลไกนี้เช่นเดียวกับปฏิกิริยาการแทนที่เส้นใยหรือไฮดรอกไซด์ไอออน สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของสีโดยการสลายพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอม 2 อะตอม ในกลุ่มไวนิลซัลโฟน (vinyl sulphone) แล้วเชื่อมเข้าไปกับคาร์บอนตัวท้ายของกลุ่มไวนิลซัลโฟน ดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Addition (Shore, 1995)

การสร้างพันธะกับโมเลกุลของสีสามารถเกิดได้ทั้งกับเส้นใยหรือไฮดรอกไซด์ไอออน แต่ความสามารถในการสร้างพันธะกับเส้นใยจะมากกว่าสร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์ไอออน สีที่สร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์ไอออนเรียกว่าสีที่ไฮโดรไลซ์แล้ว ไม่สามารถสร้างพันธะติดกับเส้นใยได้อีก จึงหลงเหลือไปกับน้ำข้อมและน้ำล้างได้เป็นบางส่วน

2.2.4.3 ชนิดของกลุ่มรีแอกทีฟ

การพิจารณาจัดกลุ่มสีย้อมนั้นขึ้นอยู่กับกลไกในการสร้างพันธะระหว่างสีและเส้นใย และความคงทนของพันธะนี้ในขั้นตอนต่างๆ หลังการย้อม ทั้งนี้กลุ่มรีแอกทีฟสามารถแบ่งชนิดของสีได้เป็น 2 กลุ่ม (ดังตาราง 4) คือ

1. กลุ่มรีแอกทีฟโมโนฟังก์ชัน (Monofunctional Systems) ได้แก่ สีย้อมที่ประกอบด้วยกลุ่มรีแอกทีฟที่เข้าทำปฏิกิริยาได้เพียง 1 หมู่

2. กลุ่มรีแอกทีฟไบฟังก์ชัน (Bifunctional Systems) ได้แก่ สีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟ 2 หมู่ ซึ่งให้ผลในด้านการยึดเกาะกับเส้นใยที่สูงกว่าพวกกลุ่มรีแอกทีฟโมโนฟังก์ชัน

ตาราง 4 กลุ่มรีแอกทีฟที่สำคัญ

กลุ่มรีแอกทีฟ	ชื่อทางการค้า
<i>Monofunctional</i>	
Dichlorotriazine	Procion MX (Zeneca)
Aminochlorotriazine	Procion H (Zeneca)
Aminofluorotriazine	Cibacron F (CGY)
Trichloropyrimidine	Drimarene X (S)
Chlorodifluoropyrimidine	Drimarene K (S)
Dichloroquinoxaline	Levafix E (BAY)
Sulphatoethylsulphone	Remazol (HOE)
Sulphatoethylsulphonamide	Remazol D (HOE)
<i>Bifunctional</i>	
Bis (aminochlorotriazine)	Procion H-E (Zeneca)
Bis (aminonicotinotriazine)	Kayacelon React (KYK)
Aminochlorotriazine-sulphatoethylsulphone	Sumifix Supra (NSK)
Aminofluorotriazine-sulphatoethylsulphone	Cibacron C (CGY)

ที่มา : Shore. 1995

สีรีแอกทีฟกลุ่ม monofunctional นี้ ส่วนใหญ่จะมีกลุ่มรีแอกทีฟเพียงกลุ่มเดียวในโมเลกุล เช่น กลุ่มรีแอกทีฟที่มีอะตอมแฮโลเจนของสีพวก aminohalotriazine (โดยเฉพาะคลอรีนหรือฟลูออรีน) หรือกลุ่มรีแอกทีฟที่มีกลุ่มไวนิลซัลโฟน นอกจากนี้ยังอาจพบอีกลักษณะหนึ่ง คือ กลุ่มรีแอกทีฟที่มีกลุ่มเดี่ยวแต่มีอะตอมแฮโลเจนมากกว่า 1 อะตอม เช่น กลุ่มรีแอกทีฟพวก dichlorotriazine difluoropyrimidine หรือ dichloroquinoxaline จะมีอะตอมแฮโลเจน 2 ตัว ในกลุ่มรีแอกทีฟ แต่เมื่อตัวใดตัวหนึ่งถูกแทนที่ด้วยเส้นใยหรือไฮดรอกไซด์ไอออนแล้ว อะตอมแฮโลเจนที่เหลืออยู่จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากการแทนที่ที่เกิดขึ้น ตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างสีรีแอกทีฟกลุ่ม monofunctional ที่ควรรู้จัก (บุษรา ประชุมญาติ 2545 : 12-13)

2.2.4.3.1 Dichloro-s-triazine dyes

โมเลกุลของกลุ่มรีแอกทีฟประเภทไดคลอโรไตรอะซีนจะมีขั้วที่พันธะของ C=N และ C-Cl เนื่องจากอะตอมของ N กับ Cl มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีหรือความสามารถที่อะตอมจะดึงดูดอิเล็กตรอนเข้ามาหาอะตอมนั้นสูงกว่าอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของสีย้อม ซึ่งคาดได้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาแบบแทนที่ (nucleophilic substitution) เช่น สีย้อม C.I. Reactive Red 1

2.2.4.3.2 Aminochloro-s-triazine dyes

กลุ่มรีแอกทีฟอะมิโนคลอโรไตรอะซีนได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมไดคลอโรไตรอะซีนกับอะมีนที่อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส เกิดเป็นสีย้อมรีแอกทีฟที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าพวกสีย้อมไดคลอโรไตรอะซีนมาก เช่น สีย้อม C.I. Reactive Red 3 ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลุ่มรีแอกทีฟพวก 2-amino-4-chloro

2.2.4.3.3 Aminofluoro-s-triazine dyes

การทำงานของกลุ่มรีแอกทีฟอะมิโนฟลูออโรไตรอะซีน คือ ขณะย้อมอะตอมฟลูออรีนจะแตกตัวออกจากโมเลกุลของสีย้อม และการที่ฟลูออรีนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่าคลอรีนทำให้สีย้อมมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าสีย้อมพวกที่มีกลุ่มรีแอกทีฟเป็นอะมิโนคลอโร

2.2.4.3.4 Trichloropyrimidine dyes

สีย้อมไตรคลอโรไพริมิดีนได้จากการทำปฏิกิริยาแทนที่ (nucleophilic substitution) ของอะตอมคลอรีนตำแหน่งที่ 4 เพื่อสร้างพันธะระหว่าง NH กับ โครโมฟอร์

2.2.4.3.5 Chlorodifluoropyrimidine dyes

เป็นสีย้อมจำพวกไพริมิดีนที่มีธาตุหมู่ 7 (holopyrimidine) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้ง่ายกว่าด้วยการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ฟลูออรีนแทนคลอรีนเพื่อเป็นกลุ่มรีแอกทีฟ ส่วนมากที่ใช้กัน ได้แก่ กลุ่มรีแอกทีฟ 5-chloro-2,6-difluoropyrimidine

2.2.4.3.6 Dichloroquinoxaline dyes

สีข้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภทนี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าสีข้อมไดคัลอโรไพริมิดีน โดยเปรียบได้กับกลุ่มรีแอกทีฟไดคัลอโรไตรอะซีน และไดฟลูออโรไพริมิดีน

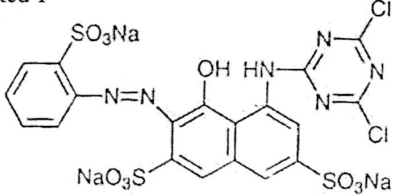
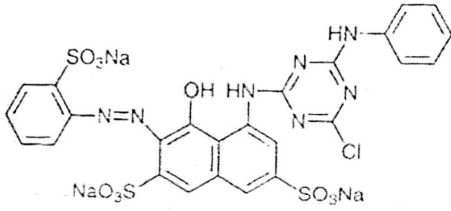
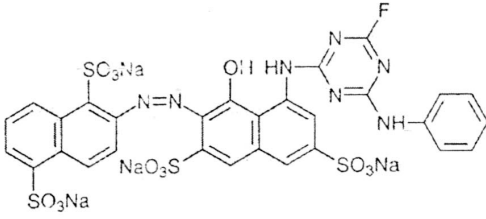
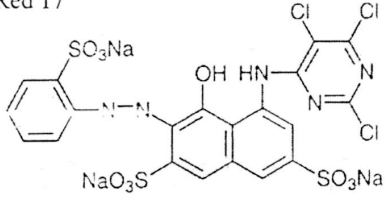
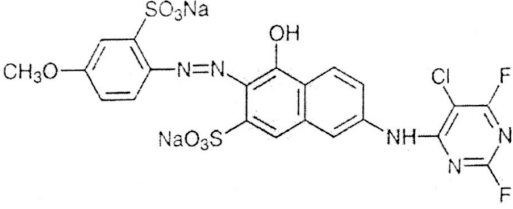
2.2.4.3.7 Sulphatoethyl-sulphone และ –sulphonamide dyes

สีข้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมการยึดเกาะที่ต่ำกว่าสีข้อมพวกเฮโลเฮทเทอโรไซคลิกมาก โดยจะมีหมู่ซัลฟาโตที่อยู่ท้ายสุดของโมเลกุลทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำ

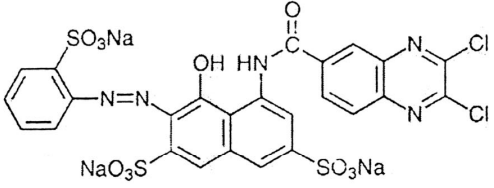
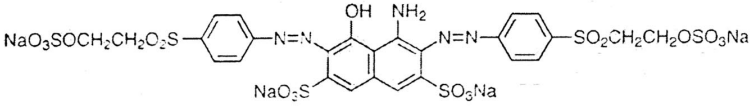
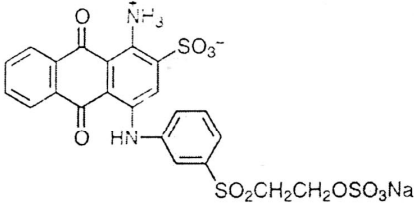
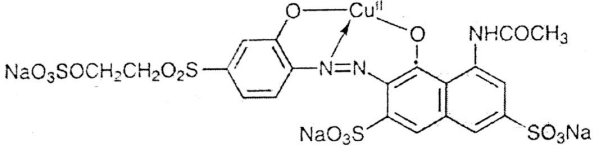
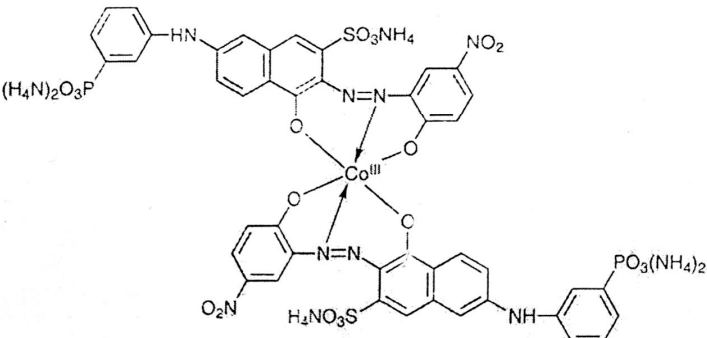
2.2.4.3.8 Phosphonic acid dyes

โครงสร้างของสีข้อมชนิดกรดฟอสฟอนิกส่วนใหญ่เป็นสารตัวกลางระเหยง่าย ได้แก่ 3-aminophenylphosphonic acid ซึ่งเกาะอยู่กับหมู่โครโมเจนโมโนอะโซ กลุ่มรีแอกทีฟประเภทนี้จะมีความเสถียรในการสร้างพันธะกับเส้นใยมากเป็นพิเศษ โดยมีค่าสูงกว่าสีข้อมไดคัลอโรไตรอะซีน ที่ข้อมภายใต้สภาวะกรด และสีข้อมไวนิลซัลโฟนที่ข้อมภายใต้สภาวะด่าง

ตาราง 5 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอคทีฟประเภท monofunctional

กลุ่มรีแอคทีฟ	ตัวอย่าง
Dichloro-s-triazine	<p>C.I. Reactive Red 1</p> 
Aminochloro-s-triazine	<p>C.I. Reactive Red 3</p> 
Aminofluoro-s-triazine	
Trichloropyrimidine	<p>C.I. Reactive Red 17</p> 
Chlorodifluoro pyrimidine	

ตาราง 5 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอคทีฟประเภท monofunctional (ต่อ)

กลุ่มรีแอคทีฟ	ตัวอย่าง
Dichloroquinoxaline	
Sulphatoethyl-sulphone และ -sulphonamide	<p>C.I. Reactive Black 5</p>  <p>C.I. Reactive Blue 19</p>  <p>C.I. Reactive Violet 5</p> 
Phosphonic acid	<p>C.I. Reactive Red 179</p> 

สำหรับสีรีแอกทีฟกลุ่ม bifunctional จะมีกลุ่มรีแอกทีฟอยู่ 2 กลุ่มใน 1 โมเลกุลสี ทำให้ความสามารถในการติดกับเส้นใยสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะกลุ่มรีแอกทีฟทำให้เส้นใยเข้าสร้างพันธะได้เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และเมื่อก่อนหนึ่งเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยแล้ว อีกกลุ่มหนึ่งก็ยังสามารถในการสร้างพันธะได้คืออยู่ ทำให้พบว่ามีการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยที่อยู่ใกล้เคียงกันด้วย บริษัท ไอซีไอ จำกัด ได้ผลิตสีกลุ่ม Procion H-E ซึ่งมีโครงสร้างของกลุ่ม aminochlorotriazine 2 กลุ่มต่อ 1 โมเลกุลสี ทำให้การติดกับเส้นใยดีขึ้น เมื่อเทียบกับพวก monofunctional การผลิตสีย้อมที่เป็น bifunctional เหล่านี้มักจะเป็นการสร้างขึ้นโดยการดัดแปลงกลุ่มรีแอกทีฟของพวก monofunctional มาเป็นองค์ประกอบ และต่อไปนี้เป็นตัวอย่างสีรีแอกทีฟกลุ่ม bifunctional ที่ควรรู้จัก (บุษรา ประทุมญาติ 2545 : 13-14)

1) Bis(aminochlorotriazine) dyes

ประกอบด้วยกลุ่มรีแอกทีฟที่เหมือนกัน 2 หมู่ ซึ่งทำให้การติดและการยึดเกาะกับเส้นใยสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟอะมิโนคลอโรไตรอะซีนเพียงหมู่เดียว รวมทั้งปริมาณสีย้อมที่หลุดไปกับน้ำทิ้งน้อยกว่าด้วย สำหรับขนาดของโมเลกุลจะมีค่าเป็นสองเท่าของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟเดียว นอกจากนั้นสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอกทีฟ 2 กลุ่ม จะเกิดการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำต่ำกว่าที่มีกลุ่มรีแอกทีฟเพียงกลุ่มเดียว

2) Bis (aminicotinotriazine) dyes

ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมอะมิโนคลอโรไตรอะซีนกับเทอเทียริอะมีน เกิดเป็นอนุพันธ์ของควอทเทอร์นารีแอมโมเนียม โดยอะตอมไนโตรเจนตัวที่ 4 ที่เพิ่มขึ้นนี้จะเป็นตัวนำพาประจุบวก จึงทำให้พันธะ C-N ที่เชื่อมอยู่กับวงของไตรอะซีนมีสภาพขั้วมากขึ้น และทำให้สีย้อมประเภทนี้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าสีย้อมที่มีโครงสร้างแบบเดิม

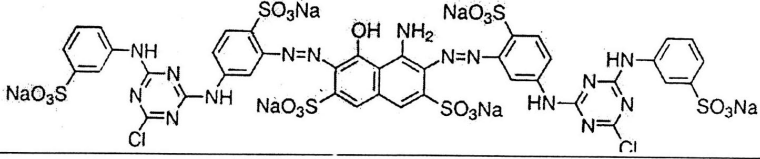
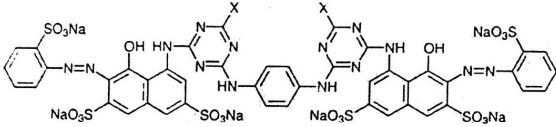
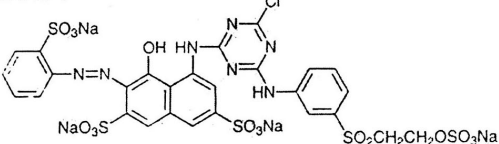
3) Aminochlorotriazine-sulphatoethylsulphone dyes

ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมไคคลอโรไตรอะซีนกับอะริลอะมีนที่มีหมู่ 2-sulphatoethylsulphone ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้โดยหมู่โมโนคลอโรไตรอะซีนหรือหมู่ไวนิลซัลโฟน ซึ่งหมู่ไวนิลซัลโฟนนี้จะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าหมู่โมโนคลอโรไตรอะซีน

4) Aminofluorotriazine-sulphatoethylsulphone dyes

ประกอบด้วยหมู่อะลิฟาติกไวนิลซัลโฟน และ bridging group คือ โมโนฟลูออโรไตรอะซีนหรือ อะริลไวนิลซัลโฟน ซึ่งวัตถุประสงค์การใช้งานของสีย้อมประเภทนี้ได้แก่ ค่าสัมพรรคภาพที่อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง แต่มีการยึดเกาะสูง สีย้อมชนิดนี้จึงเหมาะสมในการรักษาสภาพแวดล้อมมากที่สุด

ตาราง 6 โครงสร้างของสีย้อมที่มีกลุ่มรีแอคทีฟประเภท bifunctional

กลุ่มรีแอคทีฟ	ตัวอย่าง
Bis (aminochlorotriazine)	C.I. Reactive Blue 171 
Bis (aminonicotinotriazine)	C.I. Reactive Red 221 : Substituent X = Nicotino 
Aminochlorotriazine- sulphatoethylsulphone	C.I. Reactive Red 194 

ที่มา : Shore, 1995

2.2.4.4 สีย้อมรีแอคทีฟหมู่อะโซ

สีรีแอคทีฟในหมู่อะโซจะมีโครงสร้างโครโมฟอร์ของโมเลกุลเป็นอะโซ (-N=N-) ซึ่งได้แก่ สัญลักษณ์กลุ่ม D หรือ Chromophoric group ในโครงสร้างเคมีตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.2.4.1 (โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอคทีฟ) ส่วนกลุ่ม reactive system (X) bridging group (T) หรือ solubilising group (S) ในโครงสร้างจะเป็นหมู่ใดก็ได้

2.2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสีรีแอคทีฟ

กระบวนการที่สำคัญในการฟอกย้อมสีรีแอคทีฟ คือ การทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุด และเกิดการไฮโดรไลซิสในน้ำ (การทำปฏิกิริยาของสีกับไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ) น้อยที่สุด โดยอัตราส่วนของความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย และระหว่างสีกับน้ำ จะมีค่าคงที่สำหรับสีหนึ่งๆ แม้ในช่วงค่อนข้างกว้างของพีเอชที่เป็นค่าต่างๆ ทั้งนี้ไม่ใช่เฉพาะเพื่อการประหยัดเท่านั้น แต่ยังทำให้เส้นใยไม่ดูดสีที่ไฮโดรไลซ์แล้วเข้าไปในเส้นใยซึ่งจะทำให้สีติดไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ และถ้าให้สีไฮโดรไลซ์มาก การซักในขั้นตอนสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาสีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้สีไม่ตก

ในขณะนำไปใช้ ซึ่งประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ดังต่อไปนี้ (โกมล เอี่ยมเสมอ 2541 : 54)

- 1) อัตราส่วนของความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยต่อความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับน้ำ
- 2) ความเข้มข้นสัมพัทธ์ระหว่างสีที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยและสีที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ
- 3) สัมประสิทธิ์การแพร่ของสีเข้าไปในเส้นใย
- 4) ปริมาณน้ำ ซึ่งพบว่ายิ่งปริมาณน้ำน้อย สีรีแอคทีฟยิ่งติดเส้นใยได้ดี
- 5) พื้นที่ผิวของเส้นใยสำหรับให้สีได้ถูกดูดซึม
- 6) สีรีแอคทีฟจะยอมได้เร็วที่อุณหภูมิปกติ โดยสีจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ภายในเวลาไม่ถึงชั่วโมง จึงควรย้อมที่อุณหภูมิต่ำก่อนแล้วทำให้น้ำย้อมร้อนขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อให้สีดูดซึมเข้าไปได้มากขึ้น

จึงสามารถสรุปได้ว่าสมบัติพื้นฐานของสีมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสีกับเส้นใย วิธีการย้อมสำหรับสีแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป ซึ่งจะต้องมีการควบคุมที่แตกต่างกันออกไปด้วย

2.2.5 แหล่งที่มาของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฟอกย้อมขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งมีหลายกระบวนการ เช่น กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ และกระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก ซึ่งในแต่ละกระบวนการมีการใช้วัตถุดิบ สารเคมี และสีย้อมที่ต่างกันไป ดังนั้นแหล่งที่มาของน้ำเสียฟอกย้อมส่วนใหญ่จึงมาจากสารเคมี และยังมีสิ่งอื่นๆ ที่ปะปนกับเส้นใย เช่น น้ำมันและไขมัน เป็นต้น แหล่งที่มาต่างๆ ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีดังต่อไปนี้

2.2.5.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผ้าหรือเส้นใยก่อนย้อม และขั้นตอนการฟอกย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ และน้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้าง แต่ส่วนใหญ่มักจะถูกล่อยเป็นน้ำเสียออกมาเกือบทั้งหมด นอกจากนี้น้ำใช้ในกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- 1) น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อมหรือการพิมพ์โดยตรง คือ กระบวนการต้มแป้ง กระบวนการทำความสะอาด กระบวนการฟอกขาว กระบวนการฟอกขาว กระบวนการชุบมัน กระบวนการย้อมสี/การตกแต่งพิเศษ และกระบวนการพิมพ์ผ้า น้ำที่ได้จากกระบวนการเหล่านี้ปริมาณจะไม่มาก แต่จะมีความเข้มข้นของสารมลพิษสูง และมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเส้นใยที่นำมาย้อมและกระบวนการย้อมที่ใช้

2) น้ำที่ใช้ในการซักล้างหลังจากการฟอกย้อมหรือการพิมพ์ น้ำที่ได้จากระบวนการนี้มีปริมาณมาก แต่ความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำกว่าน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมหรือการพิมพ์โดยตรง

2.2.5.2 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมักใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือให้ความร้อนแก่ตู้อบไอน้ำ ไอน้ำนี้ถ้าปล่อยให้เย็นตัวลงและทำให้เกิดการกลั่นตัวในท่อน้ำก็จะได้น้ำสะอาดซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้านำไอน้ำนี้ไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงก็เท่ากับไปเพิ่มปริมาณน้ำเสียให้มากขึ้น

2.2.5.3 น้ำหล่อเย็น ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำย้อมให้ลดลงในระยะเวลาอันสั้น โดยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.2.5.4 น้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ ในบางกรณีน้ำเสียนี้อาจมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่างๆ สูง ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่ใช้ล้างสกรีนที่ใช้ในการพิมพ์ผ้า หรือน้ำจากการล้างถังเตรียมสี เป็นต้น

2.2.5.5 น้ำจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำจากโรงอาหารและห้องน้ำในโรงงาน เป็นต้น

2.2.6 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะที่เด่นของน้ำเสียที่มาจากโรงงานฟอกย้อม คือ สี ที่ไม่น่ามอง บางครั้งอาจพบไขมันลอยอยู่ปะปนด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.6.1 มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดจากแป้ง สี ย้อม กรดอะซิติก เส้นใย และเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วสารอินทรีย์อาจเกิดจากสบู่ ไขมัน น้ำมัน ซึ่งจะเป็นฝัากลุ่มฟิวรีน และสารทำความสะอาดซึ่งมีลักษณะเป็นฟอง โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้นักมีค่าบีโอดีประมาณ 100-1,000 มก./ล. และค่าซีโอดีประมาณ 500-1,200 มก./ล. (จารุทัศน์ มิถินทะเลเลข 2537 : บทคัดย่อ)

2.2.6.2 มีค่าพีเอชและค่าสภาพต่าง (alkalinity) สูง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมักมีค่าพีเอชประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพต่างประมาณ 300-900 มก.หินปูน/ล. สารที่ทำให้น้ำเสียฟอกย้อมมีค่าพีเอชและค่าสภาพต่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต

2.2.6.3 มีอุณหภูมิสูง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีอุณหภูมิสูงประมาณ 50° ซ

2.2.6.4 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ

2.2.6.5 มีความเข้มข้นสูง โดยเป็นสีที่ใช้ย้อมผ้า

2.2.6.6 มีโลหะหนักเจือปนอยู่ โลหะหนักเหล่านี้เจือปนอยู่ในสีข้อมผ้า โดยส่วนใหญ่แล้ว ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี

2.2.6.7 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

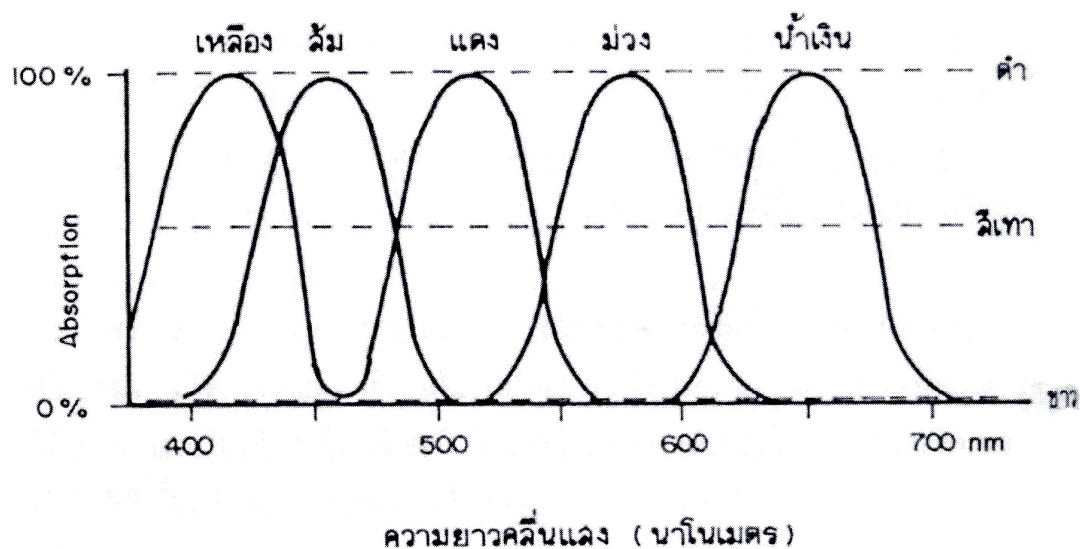
2.2.7 การวัดสี

สีของน้ำเสียมี 2 ประเภท คือ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต 2533 : 38-39)

1) สีที่แท้จริง (true colour) สีของน้ำที่เป็นสีที่วัดได้หรือมองเห็นหลังจากที่แยกเอาสารแขวนลอยที่ทำให้น้ำขุ่นออกไปแล้ว นั่นคือ สีจริงเป็นสีที่ เกิดจากการละลายของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ

2) สีที่ปรากฏ (apparent colour) สีของน้ำที่เป็นสีที่วัดได้หรือมองเห็นจริงๆ ในตัวอย่างน้ำโดยไม่มีการแยกเอาสารแขวนลอยที่ทำให้น้ำขุ่นออกไป กล่าวคือสีที่ปรากฏเป็นสีที่เกิดจากสารที่ละลายในน้ำและไม่ละลายได้ในน้ำรวมกัน เนื่องจากสีที่แท้จริงเป็นสีของน้ำที่กำจัดเอาความขุ่นออกไปแล้ว ส่วนสีที่ปรากฏเป็นสีที่แสดงทั้งสีจริงรวมกับสีที่เกิดจากสารแขวนลอยด้วยสีที่ปรากฏจะสามารถหาได้โดยการวัดความเข้มสีของตัวอย่างที่เก็บมาโดยไม่มีการกรองหรือการหมุนเหวี่ยงตะกอนก่อน ในน้ำที่จากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความเข้มของสีมาก อาจจะเป็นผลมาจากสารแขวนลอยหรือสารที่เป็นคอลลอยด์ก็ได้ ในกรณีนี้ควรหาทั้งสีที่แท้จริงและสีที่ปรากฏ (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข online : [เข้าถึง 27 สิงหาคม 2548])

การวัดปริมาณสีที่ปรากฏให้ตรงกับสีที่แท้จริงนั้นทำได้ไม่ง่าย(มันสิน ตันกุลเวศม์ 2542 ก : 4/3-4/4) เพราะมนุษย์สามารถมองเห็นแสดงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร หากวัดระยะที่อนคลื่นแสงทั้งหมดมาเข้าตา มนุษย์จะมองเห็นเป็นสีขาว หากดูคลื่นไว้ได้ทั้งหมด จะเห็นเป็นสีดำ ถ้าดูคลื่นไว้บางส่วนจะเห็นเป็นสีต่างๆ โทนสีที่ปรากฏเมื่อเกิดการดูคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 สีที่ปรากฏเมื่อมีการดูดกลืนคลื่นแสงแต่ละความยาวคลื่น
(มันซิน ตัณทุลเวศม์ 2542 ก : 4/4)

การทราบสีที่จริงของน้ำอาจทำได้โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำขึ้นมาทำการกรอง สิ่งแขวนลอยออกไป การกรองต้องใช้ Millipore filter หรือไม่ก็ต้องทำการ centrifuge แล้วนำส่วนที่เป็นน้ำที่แท้จริงมาทำการเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานที่เตรียมขึ้น สีมาตรฐานที่เตรียมขึ้นนั้นได้จากการเจือจางในหลายๆ ชั้นของ potassium chloroplatinate (K_2PtCl_6) และ cobaltous chloride ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) หน่วยที่ใช้วัดคือ platinum cobalt unit (1 unit = 1 mg Pt/l) ค่าของหน่วยดังกล่าวมีตั้งแต่ 1 ซึ่งใสมาก จนถึง 300 ซึ่งมีสีคล้ำมาก

สารละลายที่ทำให้เกิดสีที่แท้จริงได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตและส่วนประกอบของสารทั้งสามประเภทดังกล่าว ส่วนสิ่งที่แขวนลอยซึ่งทำให้เกิดสีที่ปรากฏ ได้แก่ พืชเล็กๆ ในน้ำ เช่น phytoplankton และ zooplankton รวมทั้งสิ่งที่ไม่มีชีวิตบางประเภท เช่น เกล็ดของซากพืชและสัตว์ต่างๆ ตะกอนของดินและทราย เป็นต้น

2.2.7.1 หน่วยของสี (ไพทูร์ย์ หมายถึง สมมุติ online : [เข้าถึง 27 สิงหาคม 2548])

หน่วยของสีที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายหน่วย เช่น หน่วยโลวิบอนด์ (Lovibond unit) หน่วยอะฟา (APHA unit) หน่วยพลาตินัมโคบอลด์ (Platinum-cobalt unit) และหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI unit : ADMI Method; ADMI = American Dye Manufacturing Institute) ปัจจุบันนี้หน่วยเอดีเอ็มไอ นับได้ว่าเป็นหน่วยที่ใช้กันมากหน่วยหนึ่ง โดยเรียกกันทั่วไปว่าหน่วยสี

(Color unit) โดย 1 หน่วยสี หมายถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแพลตินัมโคบอลต์ มีความเข้มข้นแพลตินัม เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของคลอโรแพลตินเนต (Chloroplatinate) สำหรับปริมาณ โคบอลต์ จะมีสัดส่วนต่างๆ กันไปแล้วแต่เจดสี โดยทั่วไปมักจะใช้อัตราส่วนแพลตินัม/โคบอลต์ = 0.5 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างเช่น สารละลายมาตรฐาน 500 หน่วยสี จะมีส่วนประกอบ คือ 1.246 กรัมของโพแทสเซียม-คลอโรแพลตินเนต (Potassium chloroplatinate; K_2PtCl_6) ซึ่งจะมีปริมาณแพลตินัม เท่ากับ 500 มิลลิกรัม และ 1.00 กรัมของโคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (Cobalt(II) chloride hexahydrate; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$) ซึ่งจะมีปริมาณโคบอลต์เท่ากับ 250 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ซึ่งมีกรดเกลือเข้มข้น (Concentrate hydrochloric acid) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.2.7.2 วิธีการวัดสีของน้ำ

วิธีวัดสีมีหลายวิธี เช่น การเปรียบเทียบด้วยตาเปล่า การใช้เทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมตริก วิธี Tristimulus Filter และ ADMI Tristimulus Filter ทั้งนี้วิธีการเปรียบเทียบด้วยตาเปล่าสามารถใช้ได้กับตัวอย่างน้ำทั่วไป แต่ถ้าหากน้ำถูกปนเปื้อนด้วยน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมบางประเภทก็อาจจะทำให้เกิดสีซึ่งไม่ปกติ ทำให้ไม่สามารถจะเปรียบเทียบด้วยตาเปล่าได้ ต้องใช้วิธีทางเครื่องมือเข้าช่วยด้วย

การวัดสีในน้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท ดังนี้

1. วิธีการเปรียบเทียบสีด้วยตาเปล่า
2. วิธีเทียบกับสีมาตรฐานที่ยอมให้เป็นสีอ้างอิง เช่น สีมาตรฐานตาม APHA, DIN
3. วัดค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแตนซ์
4. วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (หรือค่าแอบซอร์บแนนซ์)
5. วัดด้วยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี
6. วัดด้วยวิธีมาตรฐานในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI Tristimulus Filter Method)
7. วัดด้วยวิธีแบบเอสยู (S.U = Space Unit)

2.2.7.2.1 วิธีการเปรียบเทียบสีด้วยสายตา

การวัดสีวิธีนี้ เป็นการเปรียบเทียบน้ำตัวอย่างกับสารละลายสีที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน การเปรียบเทียบอาจทำได้โดยใช้แผ่นแก้วที่มีสีต่าง ๆ กัน ซึ่งได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานมาแล้ว วิธีการเปรียบเทียบสีโดยใช้แพลตินัม-โคบอลต์ เป็นวิธีมาตรฐาน 1 หน่วยสี หมายความว่า สีของสารละลายที่มีแพลตินัม 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของคลอโรแพลตินเนตไอออน อัตราส่วนระหว่างโคบอลต์ต่อแพลตินัม อาจจะแตกต่างกันออกไปทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับเจดสี การวัดสีด้วยวิธีการนี้มีประโยชน์โดยการวัดสีของน้ำตามธรรมชาติ แต่ไม่เหมาะสมกับน้ำทิ้งอุตสาหกรรมซึ่งมีสีเข้ม

เพราะว่าความขุ่นเพียงเล็กน้อยก็อาจจะทำให้สีที่ปรากฏมีค่าสูงกว่าสีที่จริงมาก ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดความขุ่นก่อนที่จะวัดสีที่จริงด้วยวิธีการใช้แผ่นกรองสีที่แตกต่างกัน หรือโดยวิธีการกระจายแสงที่แตกต่างกัน การกำจัดความขุ่นโดยวิธีหมุนเหวี่ยงตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจการกำจัดความขุ่นอยู่ในระดับที่น่าพอใจ สีของน้ำขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยสีที่จริงจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการรายงานค่าสีที่จริงจึงจะต้องรายงานค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำขณะวัดสีด้วย

2.2.7.2.2 วิธีเทียบกับสีมาตรฐานที่ยอมให้เป็นสีอ้างอิง

ในงานวิศวกรรมประปาหรือแหล่งน้ำซึ่งตัวอย่างน้ำมักมีสีออกเหลืองน้ำตาล สีมาตรฐานตาม APHA (American Public Health Association) กำหนดให้ใช้เตรียมสารละลายสีมาตรฐานของแพลตินัมโคบอลต์ ($K_2PtCl_6 \cdot CoCl_2 \cdot 6H_2O$) การวัดสีทำโดยเทียบตัวอย่างน้ำกับสารละลายสีมาตรฐานดังกล่าวที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนั้นการวัดสีโดยวิธีนี้จึงเหมาะกับน้ำที่มีโทนสีเหมือนแหล่งน้ำเท่านั้น

การเตรียมสารละลายสีมาตรฐาน

- ละลาย 1.246 กรัม ของ K_2PtCl_6 และ 1.00 กรัม $CoCl_2 \cdot 6 H_2O$ ในน้ำกลั่นและเติม 100 มิลลิลิตรของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น แล้วใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร จะทำให้ได้สารละลายที่มีค่าสีเท่ากับ 500 หน่วยสี เราสามารถที่จะเตรียมสารละลายสีมาตรฐานที่มีค่าสีต่าง ๆ กัน โดยการเจือจางจากสารละลายที่ 500 หน่วยสีข้างต้น เช่น ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่มีสีเท่ากับ 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 60 และ 70 ได้โดยการเปิด 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 6.0 และ 7.0 มิลลิลิตร ของสารละลายสีมาตรฐาน 500 หน่วยสี ลงในขวดปริมาตรแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเท่ากับ 500 มิลลิลิตร

2.2.7.2.3 วัดค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์

การวัดทำโดยวัดค่าแสงผ่านด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยอาศัยหลักการที่ว่าถ้าวัตถุใดไม่มีการดูดกลืนแสงจะสะท้อนแสงออกมาหมด ทำให้ผู้สังเกตเห็นเป็นสีขาว ในทางตรงข้ามวัตถุสีดำก็จะดูดกลืนแสงไว้หมด แต่ถ้าวัตถุใดสะท้อนแสงออกมามากในช่วงความยาวคลื่นใดๆ แล้ว วัตถุนั้นก็จะทำให้เห็นเป็นสีโทนที่สะท้อนออกมา ดังนั้นการวัดสีด้วยวิธีนี้จึงต้องทำการวัดค่าแสงผ่านที่ความยาวคลื่นในช่วง 400 - 700 นาโนเมตร เพื่อที่จะหาโทนสีออกมาเป็นค่าความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับน้ำดื่ม น้ำผิวดิน และน้ำทิ้ง ทั้งน้ำทิ้งชุมชนและน้ำทิ้งอุตสาหกรรม แต่ต้องกำจัดความขุ่นออกก่อนโดยการกรอง

2.2.7.2.4 วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง(หรือค่าแอบซอเบแนนท์)

วิธีนี้ใช้เครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เช่นเดียวกับข้อ 2.2.6.4 ทำการวัด โดยอาศัยหลักการ เช่นเดียวกับการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์ แต่เปลี่ยนการวัดจากค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์เป็นค่าแอบซอเบแนนท์

2.2.7.2.5 วัดด้วยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

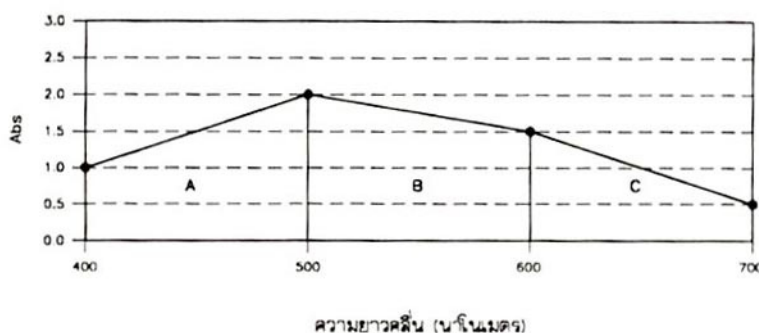
จากหลักการผสมสีของแม่สี 3 สี ซึ่งมี 2 วิธี คือ 1) ผสมแม่แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว และ 2) ผสมสารสีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน โดยใช้เครื่องทึบโทมิเตอร์วัดสี เมื่อผสมแม่สี 2 ใน 3 สี ร่วมกับการปรับความสว่างในการมอง เพื่อเทียบกับแสงสีให้เหมือนกับตัวอย่างที่ต้องการวัด

2.2.7.2.6 วัดด้วยวิธีมาตรฐานในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI Tristimulus Filter Method)

การวัดสีด้วยวิธีนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับเจดสี แต่วิธีนี้เป็นการหาค่าสีโดยการใช้สมการสีของ Adams-Nickerson(DE) หมายความว่า การวัดสีด้วยวิธี ADMI เป็นการวัดความเบี่ยงเบนจากการไม่มีสี ตัวอย่าง เช่น ถ้านำสีตัวอย่าง ก. และสีตัวอย่าง ข. มาละลายในน้ำ โดยให้ความเข้มข้นที่มองด้วยตาเปล่ามีค่าเท่ากัน ค่าของสี ADMI ก็จะมีค่าเท่ากันด้วย สถาบันผู้ผลิตสีแห่งสหรัฐอเมริกา (American Dye Manufacturers Institute : ADMI) ได้นำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการวัดค่าสีทำให้สีมีหน่วยเป็น ADMI

2.2.7.2.7 วัดด้วยวิธีแบบเอสยู (S.U = Space Unit)

การวัดสีวิธีนี้เป็นการวัดการดูดกลืนคลื่นแสง(Absorbance)ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (400-700 นาโนเมตร) โดยใช้วิธีวัดช่วงละ 100 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเป็นแกนตั้งและความยาวคลื่นแสงในหน่วยนาโนเมตรเป็นแกนนอน จากนั้นคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ พื้นที่ที่ได้เท่ากับหน่วยเอสยู (มันซิน ดัชนีทูลเวสม์ 2542 ก : 4/5) ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 การวัดสีโดยใช้วิธี Space Unit (S.U) (มันซิน ดัชนีทูลเวสม์ 2542 ก : 4/5)

จากตัวอย่างภาพประกอบ 5 เมื่อนำมาคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ

$$A = (1+2)*100/2 = 150$$

$$B = (2+1.5)*100/2 = 175$$

$$A = (1.5+0.5)*100/2 = 100$$

$$\text{รวมพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด} = A+B+C = 425 \text{ หน่วยเอชยู}$$

ดังนั้นสีในตัวอย่างมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 425 หน่วยเอชยู

2.2.8 กระบวนการเกาะหรือดูดติดผิวหรือการดูดซับ

การเกาะหรือดูดติดผิวหรือการดูดซับ (adsorption หรืออาจใช้ sorption) เป็นความสามารถของสารหรืออนุภาคบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้เคลื่อนที่ไปเกาะจับหรือติดบนพื้นที่ผิวของอีกสารหนึ่ง (มันสิน คณิตกุลเวศม์ 2542 ข : 133) ซึ่งจัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร(mass transfer) จากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งทำให้โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะหรือติดอยู่ที่หน้าสัมผัสนี้ถูกเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับหรือสารถูกดูด(sorbate หรือ adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดติดผิวหรือสารดูดซับ(sorbent หรือ adsorbent) ทั้งนี้พื้นที่ผิวไม่ได้หมายความถึงพื้นที่ผิวรอบรูปทรงของสารดูดซับ แต่รวมพื้นที่ส่วนในรูหรือโพรงที่อยู่ในสารดูดติดทั้งหมดที่มีความสามารถในการเป็นที่ยึดเกาะของสารถูกดูด ตัวอย่างของการดูดซับ เช่น การดูดซับของโมเลกุลสีบนถ่านแอ็คติเวเต็ดคาร์บอน (activated carbon) หรือแก๊สไฮโดรเจนไปเกาะติดกับผิวของถ่านหรือกลืนในตู้เย็นที่ไปเกาะติดอยู่บนผิวถ่าน

การดูดติดผิวสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ การดูดติดผิวทางกายภาพ(physisorption) การดูดติดผิวทางเคมี(chemisorption) การดูดติดผิวแบบแลกเปลี่ยนไอออน(ionic exchange adsorption) และการดูดติดผิวแบบเจาะจง(specific adsorption)

1. การดูดซับทางกายภาพเกิดจากผลต่างของพลังงานและแรงดึงดูดทางไฟฟ้า แรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้าของตัวดูดซับจะเป็นแรงค่อนข้างอ่อน(Danald. 1995) เช่น แรงแวนเดอร์วาล(van der Waals Force) แรงไดโพล-ไดโพล(dipole-dipole) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ(adsorbate)จะยึดติดกับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ(adsorbent) การดูดซับชนิดนี้เป็นแบบหลายชั้น (multilayered) กล่าวคือ แต่ละชั้นของโมเลกุลจะเกิดขึ้นบนชั้นของโมเลกุลที่เกิดก่อนหน้านี้ และโมเลกุลที่ถูกดูดซับจะมีสมบัติทางเคมีเหมือนเดิม

2. การดูดซับทางเคมี จะเกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะทางเคมีของตัวดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ จะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนหรือมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างสารดูดซับและพื้นผิวสัมผัสพื้นนั้น กระบวนการนี้จะเป็นแบบชั้นเดียว (monolayered) และไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) เพราะว่าพลังงานจะถูกใช้ไปในการสร้างสารประกอบทางเคมีขึ้นที่พื้นผิวที่ถูกเกาะจับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารดูดซับ

การผันกลับ(reversible) ของการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลที่ถูกเกาะติดและ โมเลกุลที่ถูกดูดซับ ถ้าหากแรงดึงดูดน้อยจะทำให้เกิดการหลุดออกไปของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ (desorption) ทั้งนี้การดูดซับไม่ว่าจะเกิดด้วยแรงชนิดใดก็ตามถือว่าเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (exothermic reaction)

3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนเกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับเป็น ไอออนที่มีประจุและตัวถูกดูดซับที่มีประจุตรงข้ามหรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ของประจุที่ผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ ทำให้ไอออนของตัวถูกดูดซับติดอยู่กับที่พื้นผิวตัวดูดซับในตำแหน่งที่มีประจุตรงกันข้ามกัน ไอออนที่มีประจุสูงจะถูกดูดซับได้ดีกว่าพวกที่มีประจุต่ำๆ และ ไอออนที่มีขนาดเล็ก(Voyutsky. 1978 : 151-167)

การดูดซับแบบเจาะจงเกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันแน่นอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวดูดซับเปลี่ยน โครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

โดยทั่วไปการดูดซับในระบบประปามักถือเป็นกระบวนการทางกายภาพ เพราะโมเลกุลถูกดูดให้เกาะบนผิวของของแข็งโดยแรงกายภาพและมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นน้อย สารดูดซับจะอยู่ในรูปสารละลายหรือแก๊สเป็นส่วนใหญ่ เช่น ในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำประปานั้นสามารถใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนซึ่งมีพื้นที่ผิวมาก (600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม) กำจัดได้ ทั้งนี้สารดูดซับที่ใช้นี้มีหลายประเภท เช่น 1) ประเภทสารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (bone char) แอคติเวตเต็ดซิลิกา เป็นต้น สารกลุ่มนี้มีพื้นที่ผิว 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม 2) แอคติเวตเต็ดคาร์บอน (มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอนินทรีย์ ในข้อ 1) จึงจัดไว้เป็นอีกประเภทหนึ่ง) และ 3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ มีพื้นที่ผิว 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม

จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับมีบทบาทและสำคัญอย่างยิ่งในระบบและกระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากสามารถกำจัดสารมลทินที่มีขนาดเล็กจนถึงขั้น โมเลกุลที่ไม่อาจกำจัดได้ด้วยวิธีตกตะกอนหรือการกรองแบบธรรมดา

2.2.8.1 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สไปยังของแข็งหรือของเหลว การดูดซับเกิดขึ้น 3 ระยะติดต่อกัน ดังนี้

- 1) ระยะที่ 1 diffusion เป็นระยะที่โมเลกุลของสิ่งสกปรก (sorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ
- 2) ระยะที่ 2 intraparticle diffusion เป็นระยะที่โมเลกุลของสิ่งสกปรก (sorbate) จะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ
- 3) ระยะที่ 3 adsorption เป็นระยะที่เกิดการติดตัวรูพรุน ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับในระยะสุดท้ายนี้อาจจะดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือทางเคมีหรือทั้งสองชนิดพร้อมๆ กัน ในกระบวนการกำจัดน้ำเสีย การดูดซับจะพิจารณาเฉพาะการเกาะติดด้วยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าแรงทางเคมี

2.2.8.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

- 1) **พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน (surface area and pore structure)** พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับในกระบวนการดูดซับ กล่าวคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับมีมาก แต่ถ้าเมื่อใดพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับ ไม่เพียงพอหรือน้อย โครงสร้างของรูพรุนจะมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ จะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของสารดูดซับได้ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำลง
- 2) **ขนาดของตัวดูดซับ (adsorbent size)** ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พบว่าพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุ
- 3) **เคมีที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันนัล (functional group)** เฉพาะที่อยู่บนผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับจะมีสมบัติที่มีผลกับกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์ และมีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นกรด ความสามารถในการดูดซับจะลดลง แต่ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นหมู่คาร์บอนิลจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น
- 4) **ความปั่นป่วน (mixing speed)** อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion เนื่องจากความปั่นป่วนของระบบ กล่าวคือ ถ้าระบบมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์ม น้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก (จากการที่ไม่ถูกรบกวน) ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อ

การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าสู่สารดูดซับ ดังนั้น film diffusion จึงเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าระบบมีความปั่นป่วนสูงจนไม่อาจสะสมตัวเป็นฟิล์มหนาได้แล้วโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าสู่สารดูดซับได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีนี้ film diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

5) **ความเป็นกรด-ด่าง (pH)** มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับด้วย โดยทั่วไปการดูดซับของสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง

6) **อุณหภูมิ** มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ คือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.2.8.3 ธรรมชาติของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ

1) **ความสามารถในการละลาย** สารที่ถูกดูดซับตัวใดที่มีความสามารถในการละลายสูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

2) **น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล** สารที่ถูกดูดซับถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงและมีขนาดของโมเลกุลที่ใหญ่จะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก จะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นและมากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลเป็นผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

3) **ความมีขั้ว (polarity) ของโมเลกุล** ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

4) **ผลของไอออนของไฮโดรเจน $[H^+]$** ถ้าไอออนของไฮโดรเจนลดลง อัตราการดูดซับจะเร็วและมาก เพราะเมื่อไอออนของไฮโดรเจนและยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี ทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว และมีประจุลบเล็กน้อย จึงทำให้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วของสารที่อยู่ในน้ำมาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับได้ดี

5) **ผลของอุณหภูมิ** ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.2.9 การกำจัดสีโดยจุลินทรีย์

Kim, Ishikawa, Hirai และ Shoda(Kim et al. 1995)ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายสีโดยเชื้อราสายพันธุ์ DEC1 ที่แยกจากดิน พบว่าสามารถกำจัดสีข้อมกลุ่มรีแอกทีฟ , แอซิดและดิสเพิร์ส

รวม 18 ชนิด และยังสามารถกำจัดสีผสมของสีทั้ง 3 ชนิดได้ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือ 30 องศาเซลเซียส อัตราการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสี ซึ่งอัตราการย่อยสลายค่อนข้างสูงอยู่แม้ความเข้มข้นของสีเท่ากับ 12 g/l แสดงให้เห็นว่า รา (DEC1) มีความทนต่อสีที่มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้แหล่งพลังงานและออกซิเจนจะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกิจกรรมการย่อยสลายสี และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายคือ peroxidase

Knapp, Newby และ Reece (Knapp et al. 1995) ได้ศึกษาการกำจัดสีโดย Wood-Rotting Basidiomycete Fungi พบว่าราทั้ง 7 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบมีความย่อยสลายในการย่อยสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสีสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เชื่อทุกตัวมีความสามารถกำจัดสีได้ บางชนิดและประสิทธิภาพการกำจัดสีจะต่างกันในแต่ละตัว ให้ค่าตั้งแต่ 50-100 % การกำจัดสีบางตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ไม่มีเชื้อตัวไหนที่พิสูจน์ได้ว่าดีที่สุดสำหรับทุกสี

Nigam, Singh และ Marchant (Nigam et al. 1995) ได้ศึกษาการย่อยสลายสีย้อมกลุ่มอะโซในสภาวะแอโรบิกและแอนแอโรบิก โดยศึกษาแบคทีเรียและรา ซึ่งสามารถใช้สีเป็นเหมือนแหล่งคาร์บอน โดยเชื้อดังกล่าวแยกได้จากสภาวะ Prolong Enrichment culture จากตัวอย่างน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมออกมา ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในอาหารผสมสีย้อมทั้งสองสภาวะ ความสามารถในการกำจัดสีในบางสีย้อมและสีย้อมผสมจะเกิดขึ้นในสภาวะแอนแอโรบิก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแตกพันธะอะโซใน โมเลกุลสี แบคทีเรียกลุ่ม PDW สามารถกำจัดสีย้อมบางสีได้ 100% ในเวลา 24-48 ชั่วโมง ในสภาวะ แอนแอโรบิกเมื่อได้เพิ่ม yeast extract 0.5% ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ ส่วนราประเภท facultative anaerobic จะสร้าง thick mycelial เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อผสมสี แต่ไม่แสดงให้เห็นการย่อยสี แสดงว่าราไม่สามารถแตกพันธะอะโซ แต่สามารถใช้ส่วนอื่นของโมเลกุลสีในการเจริญเติบโต หลักฐานเกี่ยวกับการกำจัดสีนี้สังเกตเปรียบเทียบระหว่างสีที่ถูกลบในสภาวะแอโรบิกกับสีเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อผสมสีและวิเคราะห์โดยใช้ UV/Vis-Spectrophotometry

Nigam, Banat, Singh และ Marchant (Nigam et al. 1996) ได้ศึกษากระบวนการทางชีววิทยา เพื่อบำบัดสีที่ออกจากโรงงานฟอกย้อมที่ประกอบด้วยสีอะโซ สีโคอะโซ และสีรีแอกทีฟ ทั้งในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยแยกเชื้อจากโรงงานฟอกย้อม พบว่าการกำจัดสีของบางองค์ประกอบสีของน้ำที่ปล่อยออกมาและสีผสมเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ใช้คือแบคทีเรีย ซึ่งสามารถแตกพันธะกลุ่มโครโมฟอร์ในโมเลกุลสีได้ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบคทีเรียที่แยกได้ชนิดหนึ่งสามารถกำจัด Cibacron red(Reactive Dyes), Remazol Golden Yellow(Azo Dyes) และ Remazol Red (Diazo Dyes) ได้อย่างสมบูรณ์ภายใต้กระบวนการ

หมัก 24-30 ชั่วโมง การกำจัดสีเหล่านี้เป็นการกำจัดถาวร ไม่มีสีเปลี่ยนกลับมาอีก มีสี Remazol Turquoise Blue (Phthalocynaine Dyes) เพียงสีเดียวเท่านั้นที่ถูกกำจัดได้ไม่สมบูรณ์

2.2.10 การคายซับ (Hassler. 1974 :53-69, 200-201)

กระบวนการฟื้นฟูความสามารถในการดูดซับรู้จักกันในชื่อ Reactivation, Regeneration และ Revivification ซึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายจะใช้คำว่า Regeneration โดยทั่วไปจะทำกับ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสารละลาย เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับหลายตัวสามารถถูกกำจัด ออกได้ในขั้นต้นโดยการล้างด้วยสารละลายเจือจางของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หลังจากนั้น ถ่านกัมมันต์จะถูกล้างด้วยน้ำและถูกทำให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วตามด้วยการทำ Thermal Treatment ซึ่งกระบวนการนี้ได้เลิกใช้ไปแล้ว ทั้งนี้ความสามารถในการคายซับของ ถ่านกัมมันต์สามารถที่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการทำ regeneration ของถ่านกัมมันต์ ในเบื้องต้นได้ เพราะประสิทธิภาพในการคายซับนั้นเป็นผลมาจากแรงในการยึดเกาะกันระหว่าง ตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับว่ามีมากหรือน้อยเพียงใดที่จะสามารถทำให้ตัวถูกดูดซับหลุดออกจาก ถ่านกัมมันต์ได้

2.2.10.1 การคายซับในสารละลาย

การคายซับโดยการสกัดสารที่ถูกดูดซับด้วยตัวทำละลายนั้นสามารถฟื้นฟูความสามารถ ในการดูดซับได้ในบางกรณี แต่การคายซับไม่สามารถที่จะฟื้นฟูความสามารถในการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์ได้เต็มที่เหมือนเดิม โดยทั่วไปส่วนประกอบของสารหลายๆ ชนิดจะถูกดูดซับจาก สารละลายที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องจากความพยายามส่วนใหญ่จะถูกทำเพื่อให้ได้ การสกัดที่เลือกเฉพาะสารที่ต้องการเป็นผลให้สารตัวอื่นๆ ยังคงตกค้างอยู่บนถ่านกัมมันต์ การคายซับ ส่วนมากแล้วจะบรรลุผลหรือทำให้สำเร็จได้โดยการแทนที่ด้วยสารที่มีความสามารถในการดูดซับ สูงซึ่งจะตกค้างอยู่บนถ่านกัมมันต์ กล่าวคือ การดูดซับในตอนเริ่มต้นจะทำให้พื้นที่ผิวของ ถ่าน กัมมันต์อิ่มตัว ทำให้เกิดการดูดซับแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible adsorption) ด้วยเหตุผลนี้ การนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสามารถทำได้เพียงบริเวณพื้นที่ที่เกิดการดูดซับแบบผันกลับได้ อย่างสมบูรณ์เท่านั้น

2.2.10.2 ขั้นตอนการคายซับ

วิธีพื้นฐานของการเกิดการคายซับมีอยู่ 3 วิธี ทั้งนี้การคายซับอาจจะประกอบด้วย ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอนรวมกัน เช่น

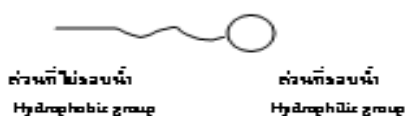
- 1) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับไปอยู่ในรูปที่มีความสามารถในการดูดซับได้น้อยลง

2) การใช้สารละลายที่มีความสามารถเพียงพอในการดึงดูดตัวถูกดูดซับ เพื่อดึงมันออกจากถ่านกัมมันต์ ตัวอย่างเช่น สารละลายที่สามารถละลายตัวถูกดูดซับได้

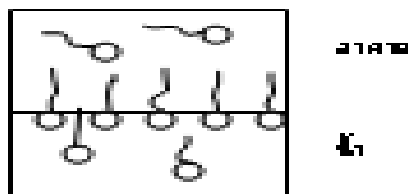
3) การใช้สารละลายที่ตัวมันเองมีความสามารถในการถูกดูดซับได้ดีมาก และสามารถที่จะเข้าไปแทนที่สารที่ถูกดูดซับอยู่ก่อนได้

2.2.11 สารลดแรงตึงผิว (Kawamura, S. 2000 : 37 และ <http://www.chemtrack.org/>)

สารลดแรงตึงผิว หรือ Surface Active Agent มีชื่อเรียกโดยทั่วไปทางวิทยาศาสตร์ว่า “ Surfactant ” มาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid มีคุณสมบัติในการดูดซับบนผิวตัวกลาง โครงสร้างเป็นแบบแอมฟิพาติก(amphiphatic) ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ดังภาพประกอบ 6 ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และพอลิเมอร์สังเคราะห์ ลักษณะสำคัญของสารลดแรงตึงผิว คือ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการต่างๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามหนีน้ำโดยไปเกาะกับพื้นผิวที่ว่าง เช่น อากาศ ส่วนที่ชอบน้ำจะยังคงอยู่ในน้ำซึ่งแสดงในภาพประกอบ 7 ประสิทธิภาพของสารลด-แรงตึงผิวในการกำจัดสารปนเปื้อนขึ้นอยู่กับการรวมตัวของโมเลกุลเป็นไมเซลล์(micelle) โดยโมเลกุลจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มโดยหันส่วนที่มีขั้วออกมาด้านนอกและด้านในเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว ซึ่งความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่จะทำให้โครงสร้างรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ได้นั้น จะต้องมีความเข้มข้นต่ำที่สุดที่จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration : CMC) ดังนั้นการใช้สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นที่จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์(CMC) จะช่วยในการละลายของสารปนเปื้อนต่างๆ ให้มากขึ้น(รุจิเรข จันทรอ่ำไพ และ มนัสกร ราชกรกิจ 2547 : 62) และโดยปกติสารลดแรงตึงผิวจะทำงานได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6-8 (Dipak and James. 1997 : 1910-1915)



ภาพประกอบ 6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว



ภาพประกอบ 7 การเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทซึ่งแบ่งตามลักษณะหรือประจุของส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group)

1. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (anionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากอยู่ในรูป carboxylate, sulfate, sulfonate หรือ phosphate เช่น Sodium dodecyl sulphate (SDS) มีสูตรโมเลกุล คือ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4\text{Na}^+$ มักเป็นส่วนประกอบในผงซักฟอกและสบู่ เป็นต้น

2. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (cationic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้คือ Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Br}^-$ มักจะพบในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน ครีมนวดผม และน้ำยาปรับผ้านุ่ม เป็นต้น

3. สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (nonionic surfactant) เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ เช่น Polyoxyethylene alcohol มีสูตรโมเลกุล คือ $(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_m\text{OH})$, Triton X-100 มีสูตรโมเลกุล $(\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุนี้นักจะนำไปผสมในสบู่เหลวล้างหน้า

4. สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (amphoteric surfactant หรือ zwitterionic) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ ได้แก่ β -N-Alkylaminopropionic Acids มีสูตรโมเลกุล คือ $\text{RN}^+\text{H}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง สารป้องกันการกัดกร่อน และสารยับยั้งแบคทีเรีย เป็นต้น

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ.1975 Poots และคณะ(Poots et al. 1975 : 1061-1066) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีเอชซีคจากน้ำทิ้งโดยใช้เปลือกไม้เป็นตัวดูดซับ โดยศึกษาค่า adsorption isotherm, ผลของเวลาในการดูดซับ, ความเข้มข้นสีเริ่มต้น, ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ โดยจากผลของการศึกษาพบว่า เวลาในการดูดซับที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมง และเมื่อขนาดอนุภาคเล็กและค่าความเข้มข้นของสีลดลง ค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ พบว่า เปลือกไม้มีราคาถูกกว่าและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ปี ค.ศ. 1976 Ferguson และคณะ (Ferguson et al. 1976 : 468-479) ได้ทำการศึกษาการเติมผงถ่านกัมมันต์ (powder activated carbon; PAC) ลงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge) โดยมีตัวแปรคือ ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (HRT) พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดเวลาในการกักเก็บน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว, สังกะสี, ทองแดง และโครเมียม โดยระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพการบำบัดคือ 20-30 % แต่เมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 350 มก./ล. ลงไป ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 50 % และเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ 150 มก./ล. ลงไปสามารถกำจัดสารพิษ 2,4,5- Trichlorophenol ให้หมดไปได้

ปี ค.ศ. 1977 Derwalle และ Chain (Derwalle and Chain 1977 : 439-446) ได้ศึกษาการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0, 50, 300 และ 1,000 มก./ล. ลงในระบบบำบัดตะกอนเร่งและควบคุมอายุตะกอน (sludge retention time; SRT) ที่ 3, 5, 10 และ 15 วัน เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์กับตะกอนเร่ง ปกติที่ไม่เติมถ่านกัมมันต์ พบว่าระบบที่เติมถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 6, 16 และ 29 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่เติมถ่านกัมมันต์ และพบว่าอัตราการกำจัดซีโอไซด์เพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เติมลงไปในระบบแต่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ไม่ขึ้นอยู่กับอายุตะกอน

ปี ค.ศ. 1978 Ghash และคณะ (Ghash et al. 1978 : 35-41) และคณะ ได้กล่าวว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าเกี่ยวกับสารอินทรีย์และสี โดยทั่วไปวิธีการกำจัดสีและสารอินทรีย์จะสามารถทำได้โดยการใช้ระบบทางชีววิทยาควบคู่กับระบบฟิสิกส์-เคมี แม้ว่าระบบบำบัดทางชีววิทยาจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้เป็นที่น่าพอใจ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (carbon adsorption) จะตามด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยวิธีเคมี (chemical coagulation) หรือไม่ก็ตาม เป็นวิธีที่สามารถกำจัดสีจากน้ำเสียได้ การรวมกันทั้งวิธีชีววิทยาและ การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) สามารถกำจัดสารอินทรีย์และสีของน้ำเสียจากโรงงาน ทอผ้าได้

ปี ค.ศ. 1979 Ernst (Ernst 1979 : 84) ได้ทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ที่ทำมาจากเปลือกถั่วลิสง ในการกำจัดสีประเภท ไคเร็กซ์ เอซิด และเบสิก พบว่าถ่านกัมมันต์นี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ได้สูง และถ่านกัมมันต์ที่ทำจากเปลือกต้นสนจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ทำจาก วัสดุของเสียต่างๆ เช่น ขี้เถ้าจากต้นสน ขี้เถ้าจากไม้เนื้อแข็ง ตะกอนจากระบบตะกอนเร่ง และ ฆานอ้อย ก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเช่นกัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสีที่ทำการกำจัด

ปี ค.ศ. 1993 Japan External Trade Organization (Japan External Trade Organization 1993 : 1-13) ได้ทดลองการตกตะกอนสีไคเร็กซ์, สีรีแอกทีฟ, สีเบสิก และสีเอซิดด้วยเฟอร์สซัลเฟต และสารส้ม พบว่าสีไคเร็กซ์สามารถตกตะกอนกับเฟอร์สซัลเฟตได้ 98-99% และตกตะกอนด้วย สารส้มได้ 72-98 % สีรีแอกทีฟสามารถตกตะกอนกับเฟอร์สซัลเฟตได้ 88-99% และตกตะกอนด้วย สารส้มได้ 77-97 % สีเบสิกสามารถตกตะกอนด้วยเฟอร์สซัลเฟตได้ 45-61%

สีเอซิดสามารถตกตะกอนด้วยเฟอร์สซัลเฟตได้ 69-99 % และตกตะกอนด้วยสารส้มได้ 41-92 %

ปี ค.ศ.1995 Namasivayam และ Yamuna (Namasivayam and Yamuna 1995 :1-7) ได้ ทำการศึกษาการดูดซับของสีย้อม Direct Red 12 B โดย Biogas Residual Slurry (BSR) โดย ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นของสี, ขนาดของอนุภาค ตัวดูดซับ, อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการทดลองได้นำ BSR จากฟาร์มวัวไปตากแห้ง แล้วทำให้เป็นผงมีขนาด 53-75, 75-150, 150-250, 250-500 μm จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มจาก 10-75 มก./ล. ค่าการดูดซับของสีจะเพิ่มจาก 0.690 ถึง 5.438 มก./ก. และ % removal เพิ่มจาก 69.03 ถึง 72.50 และพบว่าตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพใน การดูดซับได้ดีกว่า และปริมาณตัวดูดซับ 2.5 ก. จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด เมื่อค่า ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจาก 2.7 เป็น 10.2 และความเข้มข้นของสี 50 มก./ล. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงจาก 100 % เป็น 65 % และขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ สีย้อม Direct Red 12 B คือชั้นแพร่สู่ผิวตัวดูดซับ (intraparticle diffusion) แม้ว่าชั้นฟิล์มของเหลว บนผิวตัวดูดซับจะมีขนาดบางมากก็ตาม แต่ก็มีผลมากต่ออัตราการดูดซับสีย้อม และยังพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อม Direct Red 12 B โดย BRS จะสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.3

ปี ค.ศ. 1997 Liversidge และคณะ(Liversidge et. al. 1997 : 473-477) ได้ทำการศึกษา ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Basic Blue 41 โดย linseed cake พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด สีมากกว่า peat โดยการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 30 และ 50 °C ค่า ความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) คือ 488.1 มก./ล. และ 211.3 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อขนาดอนุภาคของตัวดูดซับมากขึ้นค่าการดูดซับจะลดลง โดยขนาดของอนุภาค 180-250 และ 710-1000 μm ค่าความสามารถในการดูดซับ คือ 573 มก./ล. และ 407.7 มก./ล. ตามลำดับ

ปี ค.ศ. 1998 Namasivayam และคณะ (Namasivayam et. al. 1998 : 77-79) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อม Direct Red และสีย้อม Acid Brilliant Blue โดยการดูดซับด้วย Banana Pith โดยศึกษาถึงเวลาในการดูดซับ, ความเข้มข้นของสี, ปริมาณตัวดูดซับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง จากผลการทดลองจะได้ ค่าความสามารถในการดูดซับ 5.92, 4.42 mg ของสีต่อตัวดูดซับ สำหรับสีย้อม Direct Red และสีย้อม Acid Brilliant Blue ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสีย้อม Direct Red 10 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด 83.3 % ที่ปริมาณตัวดูดซับ 350 mg/50 mL สำหรับสีย้อม Acid Brilliant Blue จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด 90.9 % ที่ปริมาณตัวดูดซับ 400 mg/50 mL ในการศึกษาผลของค่าพีเอช พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3.0-10.0 การดูดซับจะเพิ่มขึ้นจาก 0-25 % และ 0-33.3 % สำหรับ สีย้อม Direct Red และสีย้อม Acid Brilliant Blue ตามลำดับ

ปี ค.ศ. 2000 Panswad และ Luangdilok (Panswad and Luangdilok 2000: 4177-4184) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Biazol Vinylsulphonyl, Anthraquinone Vinylsulphonyl และ Anthraquinone Monochlorotriazinyl โดยระบบบำบัด anaerobic/aerobic SBR ที่อุณหภูมิ 30 °C ค่า SRT 8 วัน วัฏจักรในการทำงานเท่ากับ 1 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Biazol Vinylsulphonyl, Anthraquinone Vinylsulphonyl และ Anthraquinone Monochlorotriazinyl มีค่าเท่ากับ 63, 64 และ 66 % ตามลำดับ

ปี ค.ศ. 2001 Assadi และ Jahangiri (Assadi and Jahangiri 2001 a : 1-6) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยวิธีทางชีวภาพพบว่าจุลินทรีย์ชนิด *Aspergillus niger* มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้มากกว่า 97% ที่อุณหภูมิ 28-30 °C ใช้เวลา 20 ชั่วโมง

ปี ค.ศ. 2001 Assadi และคณะ (Assadi et al. 2001 b : 331-336) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อม Sulfonic, Azoic และ Reactive จากน้ำเสียสิ่งทอโดยจุลินทรีย์ *Phanerochaete chrysosporium* โดยศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ขนาดของเชื้อ, อุณหภูมิ, คาร์บอนและไนโตรเจน ที่มีผลต่อการกำจัดสีพบว่า ที่อุณหภูมิ 35 °C ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4-5 ขนาดของเชื้อประมาณ 10-15 % ความเข้มข้นของกลูโคสประมาณ 0.3 % จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ 98 %

ปี ค.ศ. 2001 Lourenco และคณะ (Lourenco et al. 2001: 163-174) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสีย้อม Remazol Brilliant Violet 5R และสีย้อม Remazol Black B โดยระบบบำบัด anaerobic/aerobic SBR พบว่าที่ SRT 15 วัน วัฏจักรในการทำงาน 24 ชั่วโมง เวลาในการเติมอากาศ 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม Remazol Brilliant

Violet 5R และ สีย้อม Remazol Black B เป็น 90 และ 75 % ตามลำดับ และที่สภาวะเดียวกัน เมื่อ SRT 20 วัน เวลาในการเติมอากาศ 12 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Remazol Brilliant Violet 5R เป็น 75 %

ปี ค.ศ. 2001 Basibuyuk และคณะ (Basibuyuk et al. 2001 : 345-351) ได้ทำการศึกษานำ waterworks sludge ซึ่งเป็นตะกอนที่ได้จากการทำน้ำประปาโดยใช้ $FeCl_3$ เป็นตัวตกตะกอนในการบำบัดสีโดยใช้เทคนิค coagulation/flocculation และ adsorption พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 29 คือ 33 % สีย้อม Direct Blue 71 คือ 97% สีย้อม Disperse Brown 19 คือ 100 % สีย้อม Basic Violet 16 คือ 99.2 % และสีย้อม Acid Blue 40 คือ 70% พบว่า waterworks sludge มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Basic Violet 16 ดีที่สุด โดยปริมาณ waterworks sludge ที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีไอดีของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอคือ 5000 มก./ล. และ 2000 มก./ล. ตามลำดับ

ปี ค.ศ. 2002 Sponza และ Isik (Sponza and Isik 2001 : 102-110) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม Reactive Black 5 โดยระบบ anaerobic/aerobic SBR พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Reactive Black 5 มีมากกว่า 90 % ในสภาวะ anaerobic ประสิทธิภาพการกำจัด COD เป็น 40-60 % และมีแก๊สมีเทนเกิดขึ้น 70 %

ปี ค.ศ. 2002 Shaw และคณะ (Shaw et al. 2002 : 1993-2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีย้อม Remazol Black และ polyvinyl alcohol ที่ปนเปื้อนจากโรงงานฟอกย้อมโดยระบบบำบัด anaerobic/aerobic SBR ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 °C วัฏจักรการทำงานเท่ากับ 1 วัน จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Remazol Black และ polyvinyl alcohol เท่ากับ 94 และ 20-30 % ตามลำดับ

ปี พ.ศ. 2539 วิวรรณ (วิวรรณ ขจรเกียรติคุณ 2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการทดลองเรื่องการใช้ถังกรองดูดซับในการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในการบำบัดขั้นสุดท้าย โดยศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากการใช้ ถังกรอง ซึ่งมีถ่านกัมมันต์และซีลี้อยู่เป็นสารดูดซับ และศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ผลการทดลองกับสารละลายสีสังเคราะห์ 4 ประเภท ได้แก่ สีเอซิด สีเบสิก สิริแอคทีฟ และสีไคเร็กซ์ พบว่าสีที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดคือ สีเบสิก รองลงมาคือ สีไคเร็กซ์ สิริแอคทีฟ และสีเอซิด ตามลำดับ ส่วนสีที่ถูกดูดซับด้วยซีลี้อยู่ได้ดีที่สุดคือ สีเบสิก รองลงมาคือ สีเอซิด สีไคเร็กซ์ และสิริแอคทีฟ ตามลำดับ และผลการศึกษากับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมพบว่าถ่านกัมมันต์ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีและค่าซีไอดีใกล้เคียงกับซีลี้อยู่ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับสีและค่าซีไอดีต่อน้ำหนักแล้ว พบว่าซีลี้อยู่ให้ค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ ประมาณ 1.55-2.89 เท่า และ 1.39-2.44 เท่า ตามลำดับ

ปี พ.ศ. 2540 วิภาดา และ ศรีประภา (วิภาดา นวลทวี และศรีประภา กล้วยไม้ ณ อุษยา 2540 : บทคัดย่อ) ได้ทดลองศึกษาการดูดซับสีใดเรกซ์ของผงผักตบชวา โดยใช้สี Sirius Red F3B, Sirius Red Violet RL, Sirius Blue S-BRR และ Sirius Orange K-CF โดยทำการเปรียบเทียบตัวดูดซับ 2 ชนิด ระหว่างผักตบชวากับถ่านไม้โคงกางพบว่าผักตบชวาจะมีการดูดซับสูงสุด

ปี พ.ศ. 2543 ขนิษฐา และคณะ (ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ และคณะ 2543: บทคัดย่อ) ได้ทดลองบำบัดสีน้ำทิ้งของโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีทางเคมี พบว่าสารส้มเป็นสารสร้าง ตะกอนเพื่อกำจัดสีได้เหมาะสมที่สุด สามารถกำจัดสีได้สูงถึง 79-80% โดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 12.0

2.4 สรุป

น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ต้องใช้สีย้อมและสารเคมี และน้ำในปริมาณที่มาก ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะน้ำที่มีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งแนวทางการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากวัตถุดิบ สารเคมี ตลอดจนกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน สำหรับการกำจัดสีมักเลือกใช้กระบวนการทางกายภาพ โดยเฉพาะการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีเพื่อรวมสารแขวนลอยให้มีขนาดใหญ่และมีการตกตะกอนได้ง่าย วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและให้ความสะดวกต่อการดำเนินการมาก สำหรับบางโรงงานจะใช้กระบวนการเคมีและกายภาพ หรือบางครั้งใช้กระบวนการทางชีวภาพ เป็นวิธีที่ประหยัดกว่าทางเคมีเพราะไม่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องของสารเคมี ทั้งนี้ต้องศึกษาลักษณะของน้ำเสีย ตลอดจนข้อมูลองค์ประกอบของสีเป็นสำคัญ โดยศึกษาจากพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย เป็นต้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับสีของน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมที่มีสีปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน สีที่พบเห็นในน้ำเสียนั้นเป็นสีที่พึงรังเกียจ (ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 ปี พ.ศ. 2539 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม) อาทิ เช่น สีแดง สีน้ำเงิน เป็นต้น ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์ในธรรมชาติอย่างมาก ทั้งนี้การบำบัดน้ำเสียที่มีสีมีการศึกษากันมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางกายภาพ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ การแลกเปลี่ยนไอออน การใช้สารเคมี เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ ต้องการลดสีในน้ำเสียที่ได้จากโรงงานฟอกย้อม (ที่ไม่สามารถระบุชนิดของสีย้อมที่ใช้ได้ เนื่องจากน้ำเสียที่ได้มานั้นมาจากแหล่งกักเก็บน้ำเสียรวมก่อนที่จะผ่านกระบวนการบำบัดของโรงงานต่อไป) โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ การศึกษานี้จะเปรียบเทียบตะกอนจุลินทรีย์ 2 แหล่งที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่แตกต่างกัน คือ ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา และตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม ทั้งนี้ได้ทำการศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นสีย้อมรีแอคทีฟ 2 ชนิด ได้แก่ Reactive Red 141(RR141) และ Reactive Blue 221(RB221)

ในส่วนของการวิเคราะห์จะพิจารณาจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียและผลของปริมาณค่าตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี ความสามารถในการดูดซับ(adsorption capacity) เป็นต้น

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ของ Hatch DR/3000
- 3.1.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ของ Denver Instrument
- 3.1.3 เครื่องควบแน่น(condensers)
- 3.1.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) : ALC รุ่น PM-180R
- 3.1.5 ขวดก้นกลม(round-bottom flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.1.6 เตาให้ความร้อน(heaters)

- 3.1.7 ขวดบีโอดี (BOD bottle)
- 3.1.8 เตาอบ (hot air oven) ของ Heraeys D-6450 Hanau Type T 6060
- 3.1.9 เตาเผา (furnace)
- 3.1.10 โถดูดความชื้น(desiccator): SANPLATEC รุ่น C-3W No.0031
- 3.1.11 ขวดกลั่นเจลดาลท์ (kjeldahl flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 3.1.12 ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.1.13 กระดาษกรองใยแก้ว Glass Fiber Filter(Whatman GF/C) ขนาด 0.45 ไมครอน
- 3.1.14 กรวยบุคเนอร์ ความจุ 100 มิลลิลิตร
- 3.1.15 เครื่องดูดสุญญากาศ(suction pump)พร้อมขวดดูดสุญญากาศขนาด 500-1,000 มิลลิลิตร
- 3.1.16 เครื่องชั่งอย่างละเอียด (analytical balance) ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม
- 3.1.17 เครื่องแก้ว(Flask and glassware) ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กลูโคส
- 3.2.2 ยูเรีย
- 3.2.3 เฟอริกคลอไรด์(Ferric chloride : FeCl_3) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.4 โซเดียมไบคาร์บอเนต(Sodium bicarbonate: NaHCO_3):A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.5 โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(Potassium dihydrogenphosphate : KH_2PO_4) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.6 ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต(Dipotassium hydrogenphosphate : K_2HPO_4) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.7 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogenphosphate : $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.8 แอมโมเนียมคลอไรด์(Ammonium chloride : NH_4Cl) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.9 กรดซัลฟูริก (sulphuric acid : H_2SO_4) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide : NaOH) : A.R grade, E.Merck, Germany
- 3.2.11 Polyethoxylate(10)octylphenol(Triton X-100) : บริษัท Fluka
- 3.2.12 Tween 80 : บริษัท Sigma Chemical. USA
- 3.2.13 Cholic acid : บริษัท Fluka
- 3.2.14 Sodium dodecyl sulfate (SDS) : บริษัท Bio-Rad

3.3 สีย้อม

สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกสีย้อมรีแอคทีฟ 2 สี ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน เป็นสีย้อมจากบริษัท Phisit Intergroup จำกัด(<http://www.phisit.com>)

1) สีย้อม reactive red 141(RR141) ชื่อทางการค้าคือ Procion Red HE7B มีโครงสร้างดังภาพประกอบ 8 เป็นตัวแทนของสีย้อมที่มีประจุลบ(anionic dyes) มีขนาดโมเลกุลใหญ่ โครงสร้างทางเคมีจัดอยู่ในกลุ่มอะโซ (disazo)

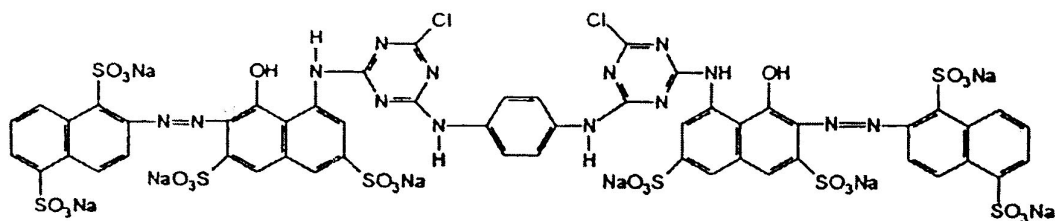
2) สีย้อม reactive blue 221(RB221) ชื่อทางการค้าคือ Supra Blue BRF มีโครงสร้างดังภาพประกอบ 9 เป็นตัวแทนของสีย้อมที่มีประจุลบเช่นเดียวกับสีย้อม reactive red 141 เช่นกัน แต่มีขนาดโมเลกุลที่เล็ก และ โครงสร้างทางเคมีจัดอยู่ในกลุ่มเมทอล คอมเพล็กซ์(metal complex) ทั้งนี้ได้สรุปสมบัติของสีย้อมรีแอคทีฟในตาราง 7

ตาราง 7 สมบัติของสีย้อมรีแอคทีฟที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสากล	ชื่อทางการค้า	โครงสร้าง (chemical class)	โทนสี	จำนวนหมู่ที่ให้ ประจุลบ(SO_3^-)
reactive red 141	Procion Red HE7B	Disazo (unmetallised biazo)	Bright Bluish Red	8
reactive blue 221	Supra Blue BRF	Formazan (metal complex)	Blue	1

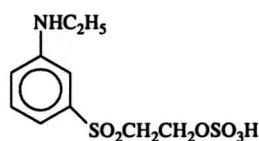
ที่มา : Society of Dyers and Colorists, Color Index., 1973 และ

www.asiachem.com/reactive_dye.htm . [Accessed May 11, 2007]



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างสีย้อมรีแอคทีฟ reactive red 141

ที่มา : Bell J, Buckley CA 2003 :130



ภาพประกอบ 9 โครงสร้างสี้อมรีแอคทีฟ reactive blue 221

ที่มา : Alkan. 2005 : 252

สารละลายสีสังเคราะห์เตรียมได้จากการละลายสี้อมหนัก 0.04 กรัมในขวดวัดปริมาตร ด้วยน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร จะได้สารละลายสี้อมที่มีความเข้มข้นเป็น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.1 การหาความยาวคลื่นแสงที่สารละลายสี้อมดูดกลืนได้สูงสุด (λ_{max})

นำสารละลายสี้อมรีแอคทีฟแต่ละตัวอย่างสี (RR141 และ RB221) ที่มีความเข้มข้น 40 มก./ล. มาสแกนหาความยาวคลื่นแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ช่วงความยาวคลื่นแสง 400 -700 นาโนเมตร เพื่อเลือกความยาวคลื่นแสงที่สี้อมรีแอคทีฟดูดกลืนแสงได้สูงสุด

3.3.2 การสร้างกราฟสารละลายสี้อมรีแอคทีฟความเข้มข้นมาตรฐาน (standard curve)

เตรียมสารละลายสี้อมรีแอคทีฟแต่ละตัวอย่างสี (RR141 และ RB221) ให้มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 30.0, 40.0, 60.0, 80.0, 120.0 และ 160.0 มก./ล. แล้วนำสารละลายสี้อมรีแอคทีฟแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 3.3.1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อ่านเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสี้อมกับค่าการดูดกลืนแสง เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานและสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสี้อมกับค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปใช้ต่อไป

3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมา โดยใช้สี้อมรีแอคทีฟ 2 ชนิด ได้แก่ สี้อม Reactive Red 141 และสี้อม Reactive Blue 221 ที่ความเข้มข้นของสี้อมแต่ละตัวอย่างสี เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sirianuntapiboon and Saengow 2004 : 278, Senthilkumaar et al. 2006 : 1619) โดยนำสี้อมมาละลายในน้ำประปา และเติมสารอาหาร (Sirianuntapiboon et al. 2006 : 1244) ดังแสดงในตาราง 8 ลงไป จะทำให้ได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ค่าซีโอดี 2,000 มก./ล. ค่าบีโอดี 1,500 มก./ล. และค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.2

ตาราง 8 แสดงชนิดของสารอาหารที่ใส่ในน้ำเลี้ยงสังเคราะห์

ชนิดของสารอาหาร	ความเข้มข้น (มก./ล.)
กลูโคส	1875
ยูเรีย	115
Ferric chloride : FeCl_3	3.5
Sodium bicarbonate : NaHCO_3	675
Potassium phosphate : KH_2PO_4	55
Magnesium sulfate : $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	42.5

3.5 ตะกอนจุลินทรีย์ (bio-sludge) ที่ใช้ในการทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมาจาก 2 แหล่ง คือ

1. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาเป็นตะกอนจากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง(activated sludge)
2. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ เป็นตะกอนจากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (activated sludge)

ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาศึกษาการดูดซับสีในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต(living bio-sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead bio-sludge) โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเมื่อนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละแหล่งแล้วจะนำเข้าไปที่ตู้เย็น(อุณหภูมิ 4 - 8 °C)ทันที เพื่อที่จะได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการดูดซับสีต่อไป

3.5.1 การปรับสภาพ(acclimatization) ตะกอนจุลินทรีย์

นำตะกอนจุลินทรีย์ใส่ลงในถังที่มีน้ำเลี้ยงที่ใช้ในการทดลอง โดยมีการเติมอากาศ และจะต้องมีการถ่ายและเติมน้ำเลี้ยงใส่ลงในถังทุกวัน เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับสภาพน้ำเลี้ยง เป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

3.5.2 การเตรียมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต

นำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการปรับสภาพมากรองผ่านกระดาษกรอง แล้วล้างตะกอนด้วยสารละลาย 0.1 M ของ phosphate buffer (KH_2PO_4 8.5 กรัม, K_2HPO_4 21.75 กรัม, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 44.4 กรัม, NH_4Cl 1.7 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.2 : คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2545: 122) 2-3 ครั้ง จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (A) แล้วนำตะกอนที่ได้ไปหา

ค่าความชื้น (moisture content) (ชยาภาส ทับทอง, 2006: 6) เพื่อจะได้นำไปเทียบหาน้ำหนักแห้งของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตก่อนที่จะนำไปศึกษาความสามารถในการดูดซับต่อไป

และอีกส่วนหนึ่งจะนำตะกอนจุลินทรีย์ไปอบแห้ง (autoclave) ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10 นาที (สวรยา จึงพึงสุพานิช 2546: บทคัดย่อ, Park et al. 2005: 2560 และ Sirianuntapiboon et al. 2006 : 1244) จะได้ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (B) แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25-30 °C) และเก็บไว้ที่โถดูดความชื้น (desiccator) เพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับต่อไป

3.6 วิธีและมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ นั้นจะวิเคราะห์ตามคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อม หนังสือมาตรฐานอเมริกา (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF.) และคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.), 2545 มีรายละเอียด ดังนี้

ตาราง 9 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

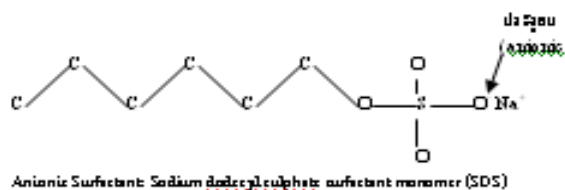
รายการที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	มาตรฐาน
สี	Spectrophotometer Method	-
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	Electronic pH meter with glass electrode Method	APHA, AWWA, WEF, 21 st edition 2005, part 4500-H ⁺ B
อุณหภูมิ	Thermometer Method	APHA, AWWA, WEF, 21 st edition 2005, part 2550- B
ซีโอดี	Dichromate Close Reflux Method	APHA, AWWA, WEF, 21 st edition 2005, part 5220 C
บีโอดี	Dilution Method	APHA, AWWA, WEF, 20 th edition 1998, part 4500-O C และ part 5210 B
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	GF/C drying at 103 °C	APHA, AWWA, WEF, 21 st edition 2005, part 2540 D ที่ 103-105 °C
เอ็มแอลเอสเอส	GF/C drying at 103 °C	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	GF/C drying at 103 °C + 550 °C	-

3.7 สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ชะล้างสี

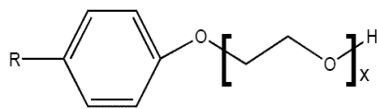
เพื่อล้างสีและสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ในกระบวนการดูดซับให้ออกไป งานวิจัยนี้เลือกใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวชะสีและสารอินทรีย์ออกจากตะกอนจุลินทรีย์ สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นตัวชะแสดงคุณสมบัติในตาราง 10 และได้แสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวบางชนิดในภาพประกอบ 10, 11, 12 และ 13

ตาราง 10 ชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นตัวชะ (elute)

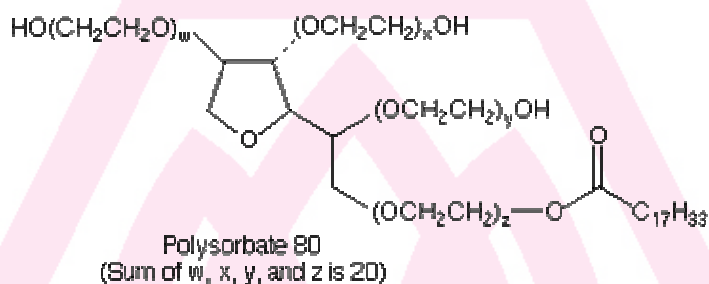
ชื่อสารลดแรงตึงผิว	ชื่อย่อ	ความเป็นประจุ	สูตรเคมี
Sodium dodecyl sulfate	SDS	ประจุลบ	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4^- \text{Na}^+$
Polyethoxylate(10)octylphenol	triton X-100	ไม่มีประจุ	$\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$
Polysorbate 80	tween 80	ไม่มีประจุ	
Sodium hydroxide	-	มีทั้งประจุบวกและลบ	NaOH
Phosphate buffer	-	-	
Cholic acid	-	-	$\text{C}_{24}\text{H}_{40}\text{O}_5$
Sulfuric acid	-	มีทั้งประจุบวกและลบ	H_2SO_4



ภาพประกอบ 10 สูตรโครงสร้างของ SDS

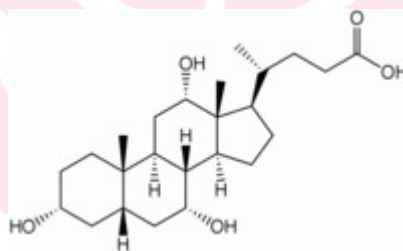


ภาพประกอบ 11 สูตรโครงสร้างของ triton X-100



ภาพประกอบ 12 สูตรโครงสร้างของ tween-80

(<http://www.wcaslab.com/tech/Tween80.htm>)



ภาพประกอบ 13 สูตรโครงสร้างของ cholic acid

3.8 วิธีการทดลอง

3.8.1 การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์

นำตะกอนจุลินทรีย์จาก 2 แหล่ง คือ จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา และจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ มาวิเคราะห์หาค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าเอ็มแอลเอสเอส(Mixed Liquor Suspended Solid : MLSS) และค่าเอ็มแอลวีเอสเอส(Mixed Liquor Volatile Suspended Solid : MLVSS) ตามวิธีมาตรฐาน APHA, AWWA, WPCF (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater)

3.8.2 ระยะเวลาสัมผัส(contact time)ของการดูดซับสีย้อม

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสี จะวิเคราะห์ผลการทดลองจากการหาร้อยละความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง เพื่อให้ทราบถึงเวลา(เวลาสัมผัส)ที่น้อยที่สุดที่เข้าสู่จุดสมดุลในการดูดซับ สีย้อมที่ใช้ คือ RR141 และ RB221 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 2,000 มก./ล. (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) สารละลายสีย้อมสังเคราะห์มีความเข้มข้น 40 มก./ล. ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.2 (Sirianuntapiboon et al. 2006 และปณิศา สาลี. 2547) ทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยมีลำดับการทดลองดังนี้

1. นำตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องการศึกษา ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
2. เติมสารละลายสีย้อมที่ต้องการศึกษาที่มีความเข้มข้นสี 40 มก./ล. จำนวน 100 มล.
3. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C ที่ระยะเวลาที่กำหนด
4. เก็บสารละลายในขวดรูปชมพู่ในช่วงเวลาที่กำหนดข้างต้น ไปเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายส่วนใสกับตะกอน
5. นำสารละลายส่วนใส ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละสี(สีแดงที่ 545 nm และสีน้ำเงินที่ 611 nm)
6. แปรผลค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เป็นความเข้มข้นของสารละลายสี โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีที่ได้จากกราฟมาตรฐาน จากข้อ 3.3.2 (ภาคผนวก ข) เพื่อกำหนดหาความสามารถในการดูดซับสีในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์. 2544 : 41) และความสามารถในการดูดซับในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมตะกอนจุลินทรีย์(Arami et al. 2005) ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{ความสามารถในการดูดซับสี (\%)} = \frac{(C_o - C_e) \times 100}{C_o}$$

$$\text{ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g-cell)} = \frac{(C_o - C_e) \times V}{M}$$

- โดย C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมก่อนถูกดูดซับด้วยตะกอนจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- C_e = ความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมหลังถูกดูดซับด้วยตะกอนจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- V = ปริมาตรของสารละลายสีข้อมที่ใช้ (ลิตร)
- M = น้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการดูดซับสี (กรัม)

7. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความสามารถในการดูดซับในหน่วยเปอร์เซ็นต์กับระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์

3.8.3 ความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อมและไม่มีสีข้อม การทดลองใช้ความเข้มข้นของสีข้อมเท่ากับ 40 มก./ล. โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา และระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ตามลำดับ เมื่อปริมาตรตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 2,000 มก./ล (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) ซึ่งในการทดลองนี้จะได้ผลการทดลองเป็นความสามารถในการดูดซับสีข้อม, COD และ BOD₅ ของตะกอนจุลินทรีย์ โดยแสดงหน่วย มก./ก-เซลล์) ทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยมีลำดับการทดลองดังนี้

1. นำตะกอนที่ต้องการศึกษามาใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
2. เติมสารละลายสีข้อมที่มีความเข้มข้นสี 40 มก./ล. จำนวน 100 มล.
3. เข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาและระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ตามลำดับ
4. กรองผ่านกระดาษกรอง จะได้ส่วนที่เป็นน้ำ(ส่วนใส) และตะกอน
5. นำน้ำส่วนใสแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

5.1 นำไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละสี(สีแดงที่ 545 nm และสีน้ำเงินที่ 611 nm) เพื่อที่จะคำนวณหาความสามารถในการดูดซับสีเช่นเดียวกับข้อ 3.8.2

5.2 นำไปหาค่าบีโอดี

5.3 นำไปหาค่าซีโอดี

6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1. จนถึงข้อ 5. ทำให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ทั้งก่อนดูดซับและหลังการดูดซับ เพื่อที่จะนำมาใช้คำนวณหาความสามารถในการดูดซับสีและความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและค่าบีโอดี ทั้งนี้ได้แสดงวิธีการคำนวณอย่างละเอียดในภาคผนวก ง.

3.8.3 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

การศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการดูดซับสีโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับตัวในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อมและไม่ข้อม โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จำนวน 2,000 มก./ล.(เทียบกับน้ำหนักแห้ง) และนำมาดูดซับสีข้อม 2 ชนิด ได้แก่ RR 141 และ RB 221 ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยาและตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ตามลำดับ ที่สถานะความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3, 5, 7, 9, และ 11 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) เข้มข้น 6 N และสารละลายกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เข้มข้นเป็นตัวปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. นำตะกอนชนิด A และ B มาใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.
2. เติมสารละลายสีข้อมที่มีความเข้มข้นสี 40 มก./ล. จำนวน 100 มล.
3. ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างตามทีระบุไว้ตอนต้น
4. เข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C
5. เก็บน้ำในขวดรูปชมพู่ในช่วงเวลาที่กำหนดข้างต้น มาเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำส่วนใสกับตะกอน
6. นำน้ำส่วนใส ไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละสี(สีแดงที่ 545 nm และสีน้ำเงินที่ 611 nm) เพื่อที่จะคำนวณหาความสามารถในการดูดซับสีเช่นเดียวกับข้อ 3.8.2

7. นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อหาสถานะค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

3.8.5 สารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีโดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

การศึกษาหาสารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ โดยควบคุมปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มก./ล. (เทียบกับน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิ 30 °C และนำมาดูดซับสีข้อม 2 ชนิด ได้แก่ RR 141 และ RB221 ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยา และระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ตามลำดับ โดยปรับสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7 ของ

ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต(A) และค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 3 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (B) จากนั้นนำตะกอน จุลินทรีย์ที่ผ่านการดูดซับสีย้อมมาชะล้างด้วยสารละลายต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 0.1% SDS
- 0.1 % triton-X100
- 0.1 % tween-80
- NaOH(Ghosh, D. and Bhattacharyya, K.G., 2001, Santhy K. and Selvapathy P. 2006 : บทคัดย่อ))
- phosphate buffer
- cholic acid
- H₂SO₄

โดยใช้เวลาในการชะล้างตะกอน 1 ชั่วโมง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. นำตะกอนชนิด A และ B มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
2. เติมสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นสี 40 มก./ล. จำนวน 100 มล.
3. เข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C ในระยะเวลาที่เหมาะสม
4. กรองผ่านกระดาษกรอง จะได้ส่วนที่เป็นน้ำส่วนใสและตะกอน
5. นำน้ำส่วนใสไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาความเข้ม

ของสีที่เหลืออยู่

6. ส่วนของตะกอนนำไปใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล. ที่มีสารชะชนิดต่างๆ จำนวน 100 มล. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง นำน้ำส่วนใสไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหา % การชะของสารชะชนิดต่างๆ ว่าชนิดใดมีความสามารถในการชะดี ที่สุด

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

นำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า t-test

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัย เรื่อง การควบบำบัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ นับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในการบำบัดสีย้อม โดยอาศัยหลักการของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ (Waranusantigul et al. 2003) ที่นับว่ามีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งยังให้ประสิทธิภาพที่ดี (Ponnusami et al. 2007) และยังเป็นการลดปริมาณสารเคมีและพลังงานที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วย (Park et al. 2005 :2560) สำหรับงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะสมบัติคล้ายน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม โดยเลือกใช้สีย้อมรีแอคทีฟสองชนิด คือ Reactive Red 141 (RR141) และ Reactive Blue 221 (RB221) ซึ่งเป็นสีที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมฟอกย้อม กำหนดความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 40 มก./ล. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) สีย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ 2 ชนิดคือ ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living bio-sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead bio-sludge) ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจาก 2 แหล่ง คือ โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา และ โรงงานฟอกย้อมแห่งหนึ่ง จังหวัดสมุทรปราการ ทั้งนี้ที่โรงงานฟอกย้อมยังเป็นสถานที่ที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาศึกษาและวิจัยครั้งนี้ด้วย

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ไม่สามารถระบุประเภทของน้ำได้ว่าเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการใช้สีย้อมประเภทใด น้ำเสียที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นตัวอย่างน้ำเสียที่ได้บ่อกักเก็บน้ำเสียของโรงงานก่อนเข้าบำบัดเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตทุกกระบวนการของโรงงาน อาทิเช่น การฟอกย้อม การพิมพ์ การหล่อเย็น จากน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ น้ำล้างเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งจะมีการปนเปื้อนมลสารต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นสีย้อม สารเคมีต่างๆ เช่น สารฟอกขาว โซดาไฟ เป็นต้น คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจะแตกต่างกันในแต่ละวันและฤดูกาล ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการของลูกค้า และแฟชั่นที่เปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตามตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่เก็บมาทำการศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้จะเป็นสีม่วงแดง ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 12.07 อุณหภูมิของน้ำเสียเท่ากับ 46 °C

ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 ปี พ.ศ. 2539 เกี่ยวกับลักษณะสีของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน พบว่ายังไม่มีหน่วยมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัด เพียงแต่ระบุว่าลักษณะของสีของน้ำทิ้งต้องไม่นำรังเกียจ และเมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาทำการ

วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ ได้ผลดังแสดงในตาราง 11 พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดี(COD) และบีโอดี(BOD) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้ค่ามากกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนสีของน้ำเสียเป็นสีม่วงแดงปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน

ตาราง 11 คุณลักษณะของตัวอย่างน้ำจากโรงงานฟอกย้อม

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการสังเกต/วิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน*
ความยาวคลื่น (λ_{max})	nm	535	-
pH	-	12.07±0.06	5.5-9.0
อุณหภูมิ	°ซ	46	ไม่เกิน 40
สีหรือกลิ่น	-	ม่วงแดง ไม่น่ามอง	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ซีโอดี(COD)	mg/L	1850±187	ไม่เกิน 120
บีโอดี (BOD ₅)	mg/L	1120±56.6	ไม่เกิน 20
ของแข็งแขวนลอย(SS)	mg/L	0.0619±0.008	ไม่เกิน 50
ของแข็งแขวนลอย ระเหยได้(VSS)	mg/L	0.0532±0.05	-
ของแข็งแขวนลอย ที่คงตัว(FSS)	mg/L	0.0120 ±0.03	-
ทีเคเอ็น (TKN)	mg/L	20.15±1.105	ไม่เกิน 100

หมายเหตุ : * ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 ปี พ.ศ. 2539 เกี่ยวกับลักษณะสีของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

4.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของสีย้อมรีแอกทีฟ

สีย้อมที่ทำการศึกษาเป็นประเภทสีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นสีย้อมสังเคราะห์ที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นสีย้อมที่มีประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำสีย้อมมาละลายในน้ำประปา และเติมสารอาหาร ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้ได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าบีโอดี 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ส่วนตาราง 12 เป็นการแสดงคุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ในการศึกษานานวิสัยนี้ ทั้งนี้ความเข้มข้นสีได้จากการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ได้ทำการศึกษา และได้เพิ่มเติมในส่วน ของโครงสร้างของทั้ง 2 สี ที่มีความแตกต่างกันด้วย

ตาราง 12 คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์

พารามิเตอร์	ชนิดของสีย้อม	
	RR 141	RB 221
ลักษณะสี	แดง	น้ำเงิน-ม่วง
ความเข้มข้นสี (mg/L)	40.53±0.13	38.47±0.18
ความยาวคลื่นสูงสุด(นาโนเมตร)	545	611
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.29±0.02	8.28±0.01
ค่าซีโอดี(COD ; mg/L)	2023±49	2023±49
ค่าบีโอดี (BOD ₅ ; mg/L)	1412.5±17.68	1425±35.35
ของแข็งแขวนลอย(SS; mg/L)	-	-
ค่าทีเคเอ็น (TKN ; mg/L)	25.70±0.57	24.65±0.64
โครงสร้าง(chemical class)	disazo	formazan (metal complex)

4.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ (bio-sludge)

ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาศึกษาเป็นตะกอนจากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (activated sludge) โดยที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) ในขณะที่โรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางอุตสาหกรรมฟอกย้อม ตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้มาจะเก็บมาจากตะกอนจุลินทรีย์หมุนเวียนกลับหรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สลัดจ์หมุนเวียนกลับ(return activated sludge) ซึ่งเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ ที่ก้นถังตกตะกอนที่จะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศ ตะกอนจุลินทรีย์จะถูกนำมาทำการวิเคราะห์หา ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) และค่าเอ็มแอลวีเอสเอส (MLVSS) ดังแสดงผลในตาราง 13

ตาราง 13 คุณลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์

พารามิเตอร์	ตะกอนจุลินทรีย์	
	โรงบำบัดน้ำเสียรวม สี่พระยา	โรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ
ค่าความชื้น(%)	83.67	80.46
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.30	6.5
ค่าเอ็มแอลเอสเอส(MLSS : mg/L)	9900±80.3	9700±25.2
ค่าเอ็มแอลวีเอสเอส(MLVSS : mg/L)	7920±64.2	7840±52.5

จากตาราง 13 จะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา และ โรงฟอกย้อมจังหวัดสมุทรปราการ ให้ค่าความชื้นมีค่าเป็น 83.67 % และ 80.46 % ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเท่ากับ 7.30 และ 6.5 ตามลำดับ ค่าเอ็มแอลเอสเอสมีค่าเป็น 9,900±80.3 mg/L และ 9,700±25.2 mg/L ตามลำดับ และค่าเอ็มแอลวีเอสเอสมีค่าเท่ากับ 7,920±64.2 mg/L และ 7,840±52.5 mg/L ตามลำดับ ทั้งนี้ตะกอนจุลินทรีย์ของโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์มีมาก โดยที่ส่วนประกอบพวกสารอินทรีย์นี้จะย่อยสลายทางชีววิทยาได้ง่ายและมีความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้ยังมีปริมาณอาหารเสริมและมีสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม และมีจุลินทรีย์ในน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ 2548: 5-2) ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ของโรงงานฟอกย้อมเป็นตะกอนที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อมและกระบวนการผลิตอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการฟอกย้อม

4.4 ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับสี โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living bio-sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)

การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับสีที่ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เพราะว่าตะกอนจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีอาหารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม จึงควรมีความสามารถในการดูดซับสีได้ดี ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกันกับวัสดุดูดซับอื่นๆ ด้วย เช่น ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น รายงานการวิจัยต่อไปนี้จะกล่าวถึงความสามารถในการดูดซับ

จากการที่ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาไม่ได้ผ่านการดูดซับสีใดๆ มาก่อน ผู้วิจัยจึงทำการปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียดังเคราะห์ที่มีสีขุ่น กับในน้ำเสียดังเคราะห์ที่ไม่มีสีขุ่น เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีสีขุ่นกับไม่มีสีขุ่นว่าความสามารถในการดูดซับสีกรณีใดจะดีกว่า

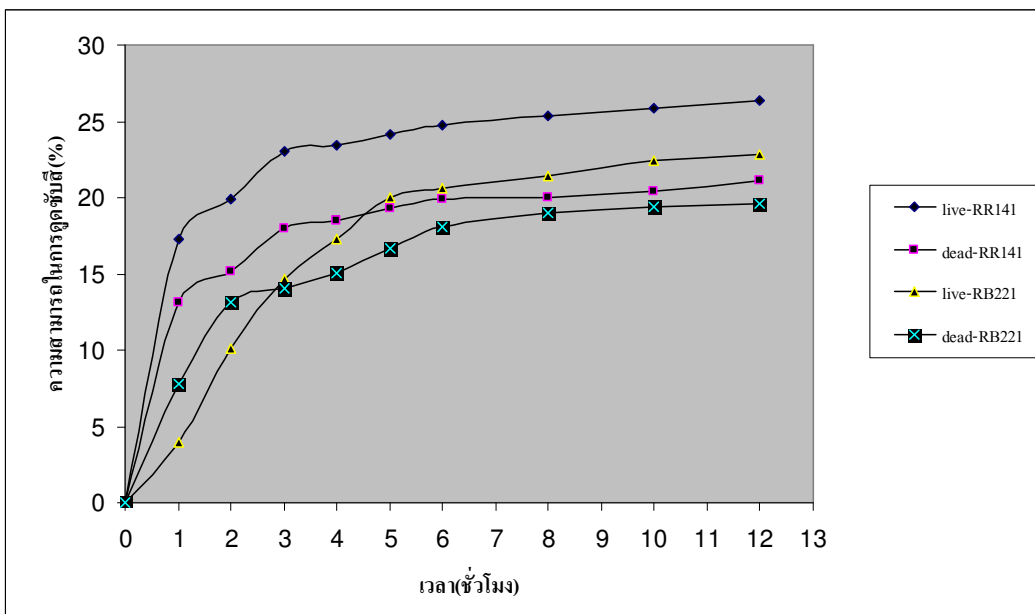
ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อมมีการดูดซับสีอยู่แล้ว จึงสามารถนำมาศึกษาวิจัยได้ ไม่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพใดๆ ก่อนทำการทดลอง

4.4.1 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีขุ่น

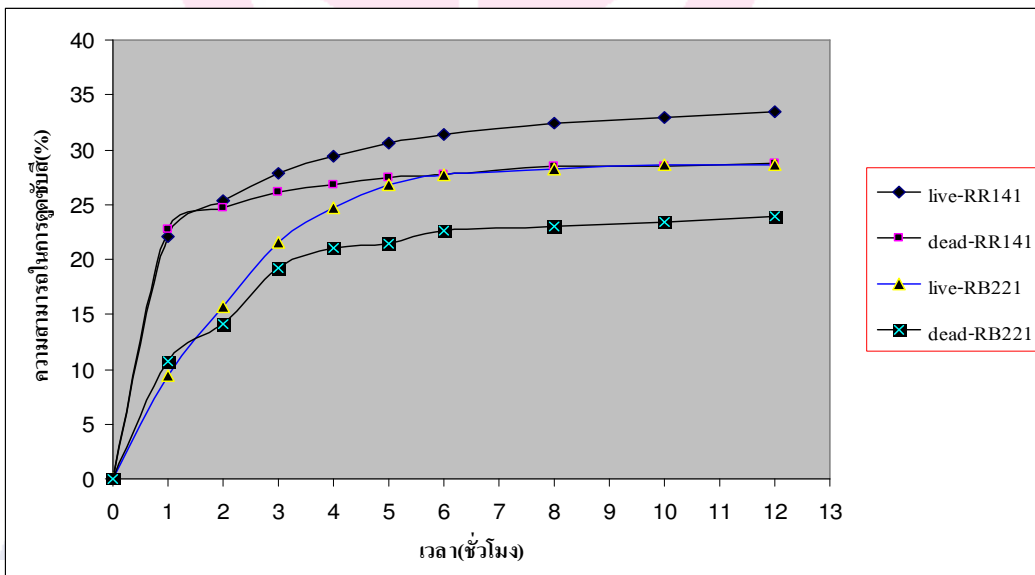
การศึกษาระยะเวลาสัมผัส(contact time) ของการดูดซับสี ทำโดยวัดค่าร้อยละความสามารถในการดูดซับสีเปรียบเทียบกับระยะเวลาสัมผัส ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาและตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม ดังภาพประกอบ 14, 15 และ 16 ตามลำดับ

1) สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

จากภาพประกอบ 14 และ 15 พบว่าระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีขุ่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา ไม่ควรเกิน 6 ชั่วโมง ไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีขุ่นไม่ได้ช่วยให้ตะกอนจุลินทรีย์นั้นมีความสามารถในการดูดซับสีขุ่นได้เร็วขึ้นหรือสูงขึ้นแต่อย่างใด เพราะตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่นำมาทดลองไม่ได้ดูดซับสีใดๆ มาก่อน โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่งเดียวกันที่มีการดูดซับสีขุ่นทั้ง RR141 และ RB221



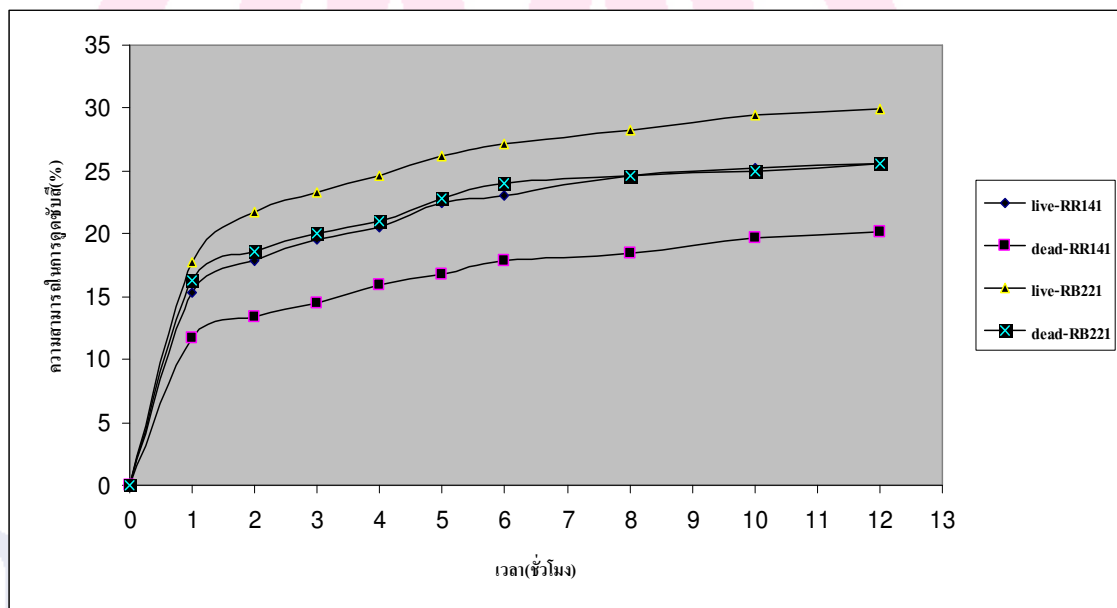
ภาพประกอบ 14 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ (จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีสีข้อม)



ภาพประกอบ 15 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ (จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ไม่มีสีข้อม)

2) สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ

จากภาพประกอบ 16 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสให้มากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสีเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงงานฟอกย้อมที่เหมาะสมนั้นไม่ควรเกิน 3 ชั่วโมง ไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือไม่มีชีวิต จึงกล่าวได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมนี้เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพราะสามารถดูดซับได้เร็ว ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีระยะเวลาสัมผัสมากกว่านั้นอาจเป็นไปได้ว่าระยะเวลาปรับสภาพจุลินทรีย์(acclimation)สั้นไป ซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์เพียง 7 วัน



ภาพประกอบ 16 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีที่เวลาต่างๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม

จากผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ผู้วิจัยเลือกระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาและตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม ตามลำดับ เพื่อนำไปศึกษาและทดลองขั้นต่อไปเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับสีของ ความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีไอดี และค่าบีไอดี

4.4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต สีย้อมที่ใช้ในการทดลองคือ RR141 และ RB221 ซึ่งทำโดยศึกษาความสามารถในการดูดซับสี ความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและค่าบีโอดีในหน่วย มิลลิกรัม/กรัม-เซลล์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำผลไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบให้ผล ดังแสดงในตาราง 14 – 20

4.4.2.1 กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา สำหรับสีย้อม RR141

ตาราง 14 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที (t - test)	p-value
สี				
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	3.78	.86	-3.074	.043
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	5.18	.27		
COD				
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	183.34	136.76	-.066	.950
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	189.58	132.74		
BOD				
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม	112.50	91.55	-.202	.847
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม	126.67	106.00		

จากตาราง 14 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของสีย้อม RR141 พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสี ในตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมมีค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย = 5.18) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อม (ค่าเฉลี่ย = 3.78) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีย้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อม โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ -3.07 และ ค่า p-value เท่ากับ .043 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐานสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอน

จุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีเชื่อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีเชื่อมกล่าวคือ ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีเชื่อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีเชื่อม โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีเชื่อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยเป็น 5.18 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีเชื่อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยเป็น 3.78 mg/g-cell

สำหรับความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ พิจารณาจากค่า p-value เท่ากับ .950 และ .847 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน อธิบายว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดี และ บีโอดีได้เช่นเดียวกันไม่ว่าจะได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีเชื่อมหรือไม่สีเชื่อม โดยให้ความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีเฉลี่ยประมาณ 186.46 mg/g-cell และ ความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีเฉลี่ยประมาณ 119.59 mg/g-cell

ตาราง 15 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีเชื่อม RR141 ระหว่างตะกอน

จุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยากับความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p-value
สี			1.526	.197
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	4.95	.52		
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	4.01	1.11		
COD			52.785	.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	303.08	5.39		
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	69.83	6.99		
BOD			19.884	.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	205.00	16.43		
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	34.16	5.00		

จากตาราง 15 เป็นผลการวิเคราะห์ของสีย้อม RR141 พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย= 4.95)ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 4.01) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 1.52 และ ค่า p-value เท่ากับ .197 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมทั้งพระยาที่เป็นน้ำเสียชุมชนนั้นไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกัน โดยให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยประมาณ 4.48 mg/g-cell

ค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอไซด์ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 303.08) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 69.83) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 52.785 และ ค่า p-value เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอไซด์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอไซด์ได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอไซด์เป็น 303.08 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอไซด์เป็น 98.83 mg/g-cell

ค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอไซด์ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 205) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 34.16) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 19.884 และ ค่า p-value เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอไซด์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอไซด์ได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอไซด์เป็น 205 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอไซด์เป็น 34.19 mg/g-cell

4.4.2.2 กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา สำหรับสี่ข้อม

RB221

ตาราง 16 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสี่ข้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสี่ข้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p-value
สี่				
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อม	5.08	.68	-1.72	.137
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม	5.99	.80		
COD				
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อม	188.25	135.64	-.053	.959
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม	193.33	134.15		
BOD				
ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อม	116.66	91.49	-.091	.931
ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม	122.5	90.49		

จากตาราง 16 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของสี่ข้อม RB221 พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสี่ในตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อมมีค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย = 5.99) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อม (ค่าเฉลี่ย = 5.08) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม โดยใช้สถิติทดสอบ ที่ (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ -1.722 และ ค่า p-value เท่ากับ .137 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสี่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม กล่าวคือตะกอนจุลินทรีย์ทั้งที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสี่ข้อมและตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสี่ข้อม จะมีความสามารถในการดูดซับสี่ได้เช่นกัน โดยให้ความสามารถในการดูดซับสี่เฉลี่ยประมาณ 5.53 mg/g-cell

สำหรับความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีจะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ พิจารณาจากค่า p-value เท่ากับ .959 และ .931 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากรัง บำบัดน้ำเสียที่พระยา มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดี ได้เช่นเดียวกันไม่ว่าจะได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีขมหรือไม่สีขม โดยให้ ความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีเฉลี่ยเป็น 190.79 mg/g-cell และ ความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีเฉลี่ยเป็น 119.58 mg/g-cell

ตาราง 17 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีขม RB221 ระหว่างตะกอน จุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p-value
สี				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	6.16	.60	3.176	.020
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	4.91	.50		
COD			74.789	.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	307.58	4.53		
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	73.99	4.29		
BOD			45.822	.000
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	198.33	4.08		
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	40.83	5.53		

จากตาราง 17 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของสีขม RB221 พบว่าค่าเฉลี่ย ความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย= 6.16)ที่สูงกว่าตะกอน จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 4.91) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที่ (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 3.176 และค่า p-value เท่ากับ .020 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน สรุปได้ว่า ความสามารถในการดูดซับสีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต กับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากรังบำบัดน้ำเสียที่พระยาที่เป็น น้ำเสียชุมชนนั้นพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอน

จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 6.16 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 4.91 mg/g-cell

ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 307.58) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 73.99) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 74.789 และ ค่า p-value เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีเป็น 307.58 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีเป็น 73.99 mg/g-cell

ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 198.33) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 40.83) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 45.822 และ ค่า p-value เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีเป็น 198.33 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีเป็น 40.83 mg/g-cell

4.4.2.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาระหว่างสีย้อม RR141 กับ RB221

ด้วยค่าสถิติทดสอบในข้อ 4.4.2.1 และข้อ 4.4.2.2 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์มาจากแหล่งเดียวกันคือโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา เมื่อนำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบจะสามารถบอกได้ว่า

1. กรณีตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะพบว่าสำหรับสีย้อม RR141 นั้นให้ผลที่ไม่แตกต่าง(ตาราง 15) อาจเนื่องจากโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก แต่สำหรับสีย้อม RB221 จะเห็นได้อย่างชัดเจน คือตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีที่ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ตาราง 17) อธิบายว่าสีย้อม RB221 มีโมเลกุลเล็กกว่า(เมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อม RR141) จึงทำให้อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

2. เมื่อทำการทดลองในสีย้อมที่แตกต่างกัน พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อม RR141 มีค่าเฉลี่ยเป็น 5.18 mg/g-cell ส่วนความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 5.53 mg/g-cell (จะแสดงผลวิเคราะห์ให้เห็นอย่างชัดเจนในตาราง 20 และ 21 กรณีตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม) อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 ได้มากกว่า สีย้อม RR141 เนื่องจาก โมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากจึงทำให้เกิดการเบียดเสียดของโมเลกุลสีย้อมที่จะเข้าไปรูพรุน มีผลให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าไปในรูพรุนได้น้อย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่า ในทางกลับกันสีย้อม RB221 โมเลกุลจะมีขนาดเล็กกว่าจึงสามารถที่จะเข้าไปในรูพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 เกิดขึ้นได้มากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของชลธิชา ไม่เสื่อมสุข (ชลธิชา ไม่เสื่อมสุข, 2545: 64) ที่ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อม Reactive Red 141 กับ Reactive Blue 19 โดยใช้ถ่านบิทูมินัสและถ่านกะลามะพร้าวพบว่าถ่านทั้ง 2 ชนิดสามารถดูดซับสี Reactive Blue 19 ได้ดีกว่า Reactive Red 141 เนื่องจากสี Reactive Blue 19 มีขนาดเล็กกว่าจึงสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในโพรงของถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า เช่นเดียวกับการวิจัยของ Lei และคณะ(Lei et al. 2002) ที่พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดมีความสามารถในการดูดซับ MTBE (methyl tertiary-butyl ether) และ TCE(trichloroethene) ได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากขนาดโมเลกุลแตกต่างกัน พบว่าโมเลกุลของ TCE มีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของ MTBE ทำให้โมเลกุลสามารถเข้าดูดซับในโพรงของถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า

4.4.2.4 กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม สำหรับสีย้อม RR141

ตาราง 18 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p- value
สี				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	4.07	.08	6.216	.054
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	3.18	.18		
COD				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	290.83	10.61	30.478	.019
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	60.83	1.18		
BOD				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	182.50	3.53	50.216	.001
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	31.66	2.35		

จากตาราง 18 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของสีย้อม RR141 พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย= 4.07)ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 3.18) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 6.216 และ ค่า p-value เท่ากับ .054 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อมนั้นไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกัน โดยให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยประมาณ 3.625 mg/g-cell ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 290.83) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 60.83) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 30.478 และ ค่า p-value เท่ากับ .019 ซึ่งน้อยกว่า

ระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ทั้งนี้อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีเป็น 290.83 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีเป็น 60.83 mg/g-cell

ค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 182.50) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 31.66) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 50.216 และ ค่า p-value เท่ากับ .001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีเป็น 182.50 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีโอดีเป็น 31.66 mg/g-cell

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เนื่องจากกลไกของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์(ซีโอดีและบีโอดี) และมีการย่อยสลายโดยเอนไซม์ (extracellular and intracellular enzyme) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ, 2548)

4.4.2.5 กรณีศึกษาตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม สำหรับสีย้อม RB221

ตาราง 19 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับสีย้อม RB221 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตกับความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p- value
สี				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	4.93	.14	3.388	.095
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	4.30	.22		
COD				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	295.83	5.89	56.120	.008
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	57.50	1.17		
BOD				
ตะกอนจุลินทรีย์มีชีวิต	194.50	5.41	41.923	.011
ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิต	30.16	1.18		

จากตาราง 19 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของสีย้อม RR141 พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย= 4.93)ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 4.30) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที่ (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 3.388 และ ค่า p-value เท่ากับ .095 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากรองงานฟอกย้อมนั้นไม่ว่าจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกัน โดยให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยประมาณ 4.615 mg/g-cell ทั้งนี้อาจเนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการศึกษานั้นมีสีที่อยู่ภายในตะกอนอยู่แล้ว

ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 295.83) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 57.50) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที่ (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 56.120 และ ค่า p-value เท่ากับ .008 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับ

ปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ทั้งนี้อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีเป็น 295.83 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีเป็น 57.50 mg/g-cell

ส่วนค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีไอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย = 194.50) ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (ค่าเฉลี่ย = 30.16) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ 41.923 และ ค่า p-value เท่ากับ .011 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีไอดีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีไอดีได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีไอดีเป็น 194.50 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของบีไอดีเป็น 30.16 mg/g-cell

จากผลการวิเคราะห์ตาราง 18 และตาราง 19 สามารถบอกได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมไม่ว่าจะมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ตาม ความสามารถในการดูดซับสีไม่มีความแตกต่างกัน เปรียบเทียบสภาวะเงื่อนไขเดียวกันโดยทดลองกับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาพบว่าสีย้อม RB 221 ดังแสดงในตาราง 17 ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีมากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ทำให้อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมนั้นที่ตำแหน่งดูดซับ (receptor site) ได้ดูดซับสีไว้แล้วจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำลง

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยค่าสถิติพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจาก โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา มีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจาก โรงงานฟอกย้อม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon และ Saengow (Sirianuntapiboon and Saengow, 2004) ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอน จุลินทรีย์ที่มาจาก โรงงานฟอกย้อม

4.4.2.6 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมระหว่างสีย้อม RR141 กับ RB221

ตาราง 20 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในการดูดซับสีย้อม RR141 กับ สีย้อม RB221

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p-value
สี				
RR141	4.07	.08	-7.374	.030
RB221	4.93	.14		
COD				
RR141	290.83	10.61	-.583	.633
RB221	295.83	5.89		
BOD				
RR141	182.50	3.53	-2.624	.139
RB221	194.50	5.41		

จากตาราง 20 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสีของสีย้อม RB221 มีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย= 4.93)ที่สูงกว่าสีย้อม RR141 (ค่าเฉลี่ย = 4.07) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างสีย้อม RB221 กับสีย้อม RR141 โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ -7.374 และ ค่า p-value เท่ากับ .030 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสีย้อม RB221 กับสีย้อม RR141 อธิบายว่าโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากจึงทำให้เกิดการเบียดเสียดของโมเลกุลสีย้อมที่จะเข้าไปรูพรุน มีผลให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าไปในรูพรุนได้น้อย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีน้อยกว่า ในทางกลับกันสีย้อม RB221 โมเลกุลจะมีขนาดเล็กกว่าจึงสามารถที่จะเข้าไปในรูพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 เกิดขึ้นได้มากกว่า โดยสีย้อม RB221 ให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 4.93 mg/g-cell ทั้งนี้และสีย้อม RR141 ให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 4.07 mg/g-cell ทั้งนี้สามารถอธิบายความเป็นไปได้ว่าด้วยโครงสร้างของสี RB221 มีขนาดเล็กกว่า มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่าโครงสร้างของสี RR141 จึงทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งถ้าอธิบายโดยทฤษฎีเกี่ยวกับธรรมชาติ

ของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับแล้วจะพบว่าขนาดโมเลกุลของสารที่จะถูกดูดซับใหญ่ (RR141) กว่า รุพรุน (ตะกอนจุลินทรีย์) จะทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำลง ในกรณีนี้โครงสร้างของสี RR141 ค่อนข้างใหญ่ จึงอาจเป็นไปได้ว่าทำให้ความสามารถในการดูดซับเกิดขึ้นได้น้อย (Faust. 1988) ส่วนโครงสร้างของสี RB221 เล็กกว่าจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับดีกว่าแสดงว่าสามารถเข้าไปใน รุพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นสารดูดซับได้ หรืออธิบายโดยเทียบกับโพรงของถ่านกัมมันต์ที่จะมีการ ดูดติดผิวเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อสารหรือโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดนั้นมีขนาดเล็กกว่า (นริศญา กวินันทวงศ์. 2542: 65) นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของสี RR141 ที่มีกลุ่มอะโซ มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง(1 634 Da) มีความสามารถในการดูดซับได้น้อย ทั้งนี้การลดสี RR 141 จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการแตกพันธะอะโซ(Bell. 2003)

สำหรับความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีจะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ พิจารณาจากค่า p-value เท่ากับ .633 และ .139 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า ระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจาก โรงงานฟอกย้อมมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีโอดีและบีโอดีได้ เช่นเดียวกันไม่ว่าจะเป็นสีย้อม RR141 หรือสีย้อม RB221

ตาราง 21 ค่าสถิติทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตใน การดูดซับสีย้อม RR141 กับ สีย้อม RB221

ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)	\bar{X}	S.D.	สถิติทดสอบ ที่ (t - test)	p-value
สี				
RR141	3.18	.18		
RB221	4.30	.22	-5.561	.033
COD			2.833	.105
RR141	60.83	1.18		
RB221	57.50	1.17		
BOD			.805	.530
RR141	31.66	2.35		
RB221	30.16	1.18		

จากตาราง 21 เป็นผลการวิเคราะห์ผลการทดลองของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต พบว่าค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดซับสีของสีย้อม RB221 มีค่าเฉลี่ย(ค่าเฉลี่ย= 4.30)ที่สูงกว่าสีย้อม RR141 (ค่าเฉลี่ย = 3.18) เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างสีย้อม RB221 กับสีย้อม RR141 โดยใช้สถิติทดสอบ ที (t-test) ได้ค่า t เท่ากับ -5.561 และ ค่า p-value เท่ากับ .033 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน สรุปได้ว่าความสามารถในการดูดซับสีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสีย้อม RB221 กับสีย้อม RR141 อธิบายว่าโมเลกุลของสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่ และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากจึงทำให้เกิดการเบียดเสียดของโมเลกุลสีย้อมที่จะเข้าไปรูพรุน มีผลให้โมเลกุลของสีย้อมเข้าไปในรูพรุนได้น้อย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีน้อยกว่า ในทางกลับกันสีย้อม RB221 โมเลกุลจะมีขนาดเล็กกว่าจึงสามารถที่จะเข้าไปในรูพรุนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 เกิดขึ้นได้มากกว่า โดยสีย้อม RB221 ให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 4.30 mg/g-cell ทั้งนี้และสีย้อม RR141 ให้ความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 3.18 mg/g-cell

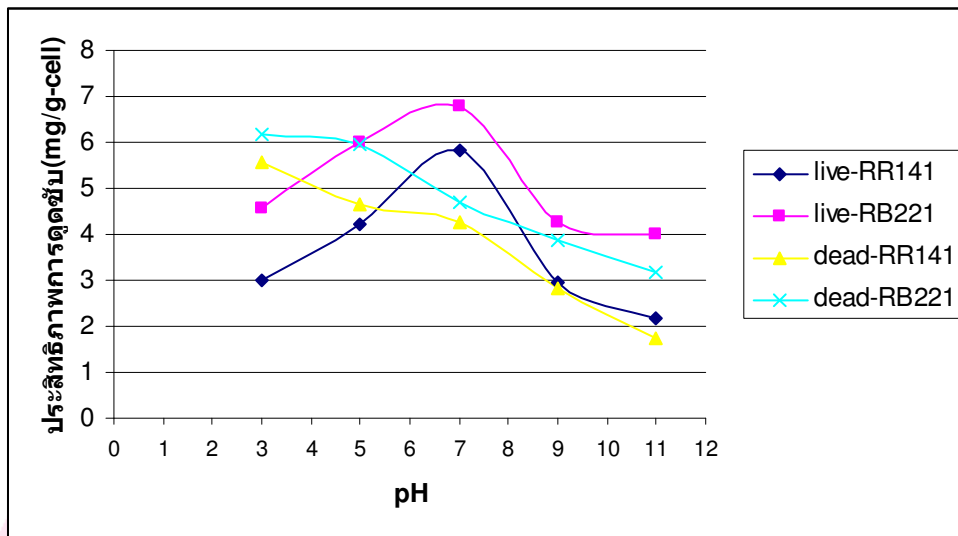
สำหรับความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีจะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ พิจารณาจากค่า p-value เท่ากับ .105 และ .530 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน อธิบายได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจากโรงงานฟอกย้อมมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีได้เช่นเดียวกันไม่ว่าจะเป็นสีย้อม RR141 หรือสีย้อม RB221

4.4.3 การศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

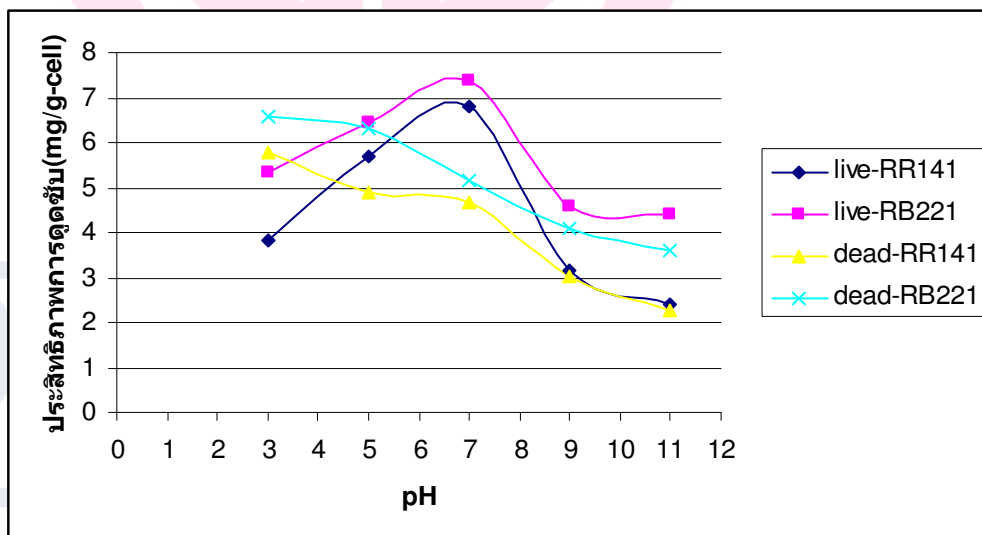
การศึกษาเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ โดยควบคุมปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มก./ล. (เทียบโดยน้ำหนักแห้ง) ที่อุณหภูมิ 30 °C ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมใช้ระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมใช้ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 17, 18 และ 19

4.4.3.1 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสีพระยา

ภาพประกอบ 17 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียดังเคราะห์ที่มีสีย้อม และภาพประกอบ 18 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้รับการปรับสภาพในน้ำเสียดังเคราะห์โดยที่ไม่มีสีย้อม ตามลำดับ



ภาพประกอบ 17 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการดูดซับของตะกอน จุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อม



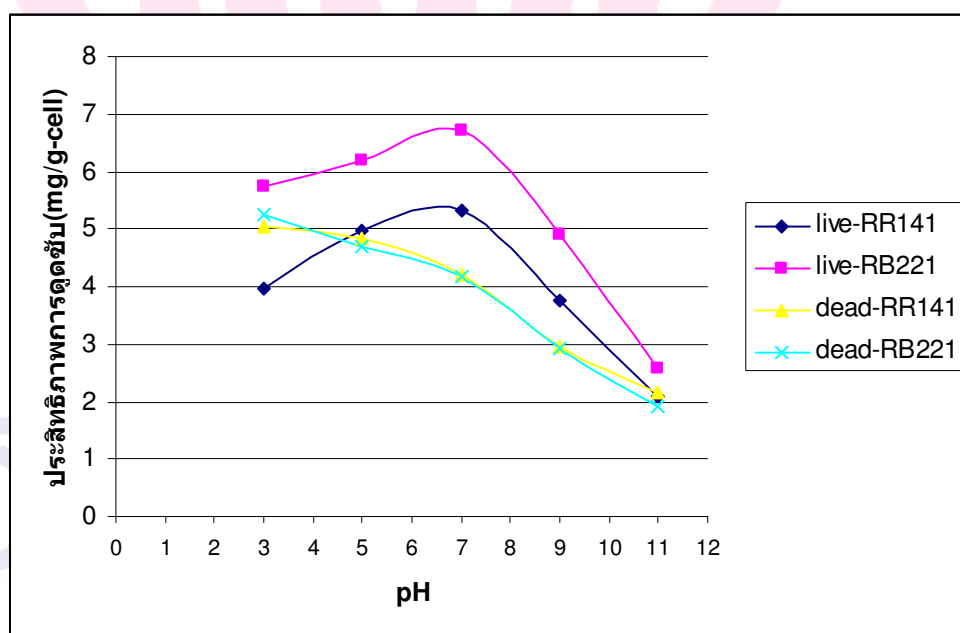
ภาพประกอบ 18 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการดูดซับของตะกอน จุลินทรีย์ที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีสีข้อม

จากภาพประกอบ 17 และ 18 เป็นผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนจุลินทรีย์ จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่ปรับสภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีข้อมและไม่มีสีข้อม ตามลำดับ พบว่าให้ผลในทำนองเดียวกัน คือไม่ว่าจะเป็นสีข้อม RR141 หรือ สีข้อม RB221 ตะกอน

จุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 และยังเป็นที่ยืนยันอย่างแน่ชัดด้วยว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับที่ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เท่ากันพบว่าตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับสีของ RB221 ได้มากกว่าสีของ RR141 กล่าวคือที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตดูดซับสีของ RB221 และ RR141 ได้ 7.36 และ 6.82 มก./ก. เซลล์ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตดูดซับสีของ RB221 และ RR141 ได้สูงสุด 5.15 และ 4.67 มก./ก. เซลล์ ตามลำดับ

4.4.3.2 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ



ภาพประกอบ 19 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ

จากภาพประกอบ 19 เป็นผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ที่ให้ผลในทำนองเดียวกันกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา กล่าวคือตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสีของ RB221 และ RR141 ได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

เป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ได้ดีกว่าที่ต่ำกว่าสถานะอื่น และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ได้ดีกว่าที่ต่ำกว่าสถานะอื่น

นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับสีที่ต่ำลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 ไม่ว่าจะทำการศึกษากับสีย้อม RR141 หรือ RB 221 ก็ตาม และตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวยังมีความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 ได้ดีกว่าสีย้อม RR141

4.4.4 การศึกษาสารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์

การศึกษาค้นหาสารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 2,000 มก./ล. สีย้อม 2 ชนิด คือ RR 141 และ RB 221 ควบคุมอุณหภูมิ 30 °C ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต สารละลายที่ใช้ คือ 0.1% SDS, 0.1% triton-X100, 0.1% tween-80, 0.1 M ของ NaOH, 0.1 M ของ phosphate buffer, 0.1% cholic acid และ 0.1 M ของ H₂SO₄ โดยใช้เวลาในการชะล้างตะกอน 1 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตาราง 22, 23, 24 และ 25 ตามลำดับ

ก. สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

ตาราง 22 ผลของความสามารถในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์(ที่มีชีวิต)ของ โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

สีย้อม	ประเภทตะกอนจุลินทรีย์	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (%)						
		SDS	triton-X100	tween-80	NaOH	phosphate buffer	cholic acid	H ₂ SO ₄
RR 141	น้ำเสีย	125.75	106.16	81.17	37.54	15.42	6.12	0.00
	สังเคราะห์ที่มีสีย้อม	±7.86	±3.11	±2.85	±6.77	±1.38	±2.47	
RB 221	น้ำเสีย	72.32	53.39	44.04	27.89	8.18	4.35	0.00
	สังเคราะห์	±3.87	±2.94	±2.26	±4.34	±2.87	±1.76	
RB 221	น้ำเสีย	123.32	102.13	69.76	31.90	11.65	5.23	0.00
	สังเคราะห์+สีย้อม	±6.24	±4.55	±4.12	±7.52	±2.70	±4.25	
RB 221	น้ำเสีย	93.29	47.73	44.55	18.23	6.41	3.90	0.00
	สังเคราะห์	±5.60	±3.23	±3.20	±8.20	±4.04	±2.27	

ตาราง 23 ผลของความสามารถในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตของโรงพยาบาล
น้ำเสียรวมสี่พระยา

ลีย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการชะล้างลีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต(%)						
		SDS	Triton- X100	Tween-80	NaOH	Phosphate buffer	Cholic acid	H ₂ SO ₄
RR 141	น้ำเสีย	141.95	127.50	85.81	51.15	20.19	7.37	0.00
	สังเคราะห์ ที่มีลีย้อม	±9.85	±3.25	±5.35	±6.71	±2.50	±2.32	
RB 221	น้ำเสีย	86.74	55.90	36.77	35.90	16.76	6.24	0.00
	สังเคราะห์	±4.75	±5.51	±2.94	±1.90	±2.49	±3.83	
RB 221	น้ำเสีย	121.28	109.88	86.20	24.47	18.48	7.24	0.00
	สังเคราะห์ +ลีย้อม	±7.28	±8.84	±8.50	±2.32	±5.05	±0.90	
RB 221	น้ำเสีย	90.00	45.78	35.30	21.35	14.59	4.24	0.00
	สังเคราะห์	±9.47	±4.38	±4.60	±6.76	±4.32	±2.47	

จากผลความสามารถในการชะล้างลีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่แสดงในตาราง 22 และ ตาราง 23 โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ พบว่าทั้งลีย้อม RR 141 และ RB 221 จะให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ 0.1% SDS มีความสามารถในการชะล้างลีย้อมได้มากที่สุด รองมาได้แก่ 0.1% triton-X100, 0.1% tween-80, 0.1 M ของ NaOH, 0.1 M ของ phosphate buffer และ 0.1% cholic acid ตามลำดับ ส่วน 0.1 M ของ H₂SO₄ นั้นไม่สามารถชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ได้ และยังพบอีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะถูกชะล้างได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต

ข. สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ

ตาราง 24 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตของโรงงานฟอกย้อม

สีย้อม	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต(%)						
	SDS	Triton-X100	Tween-80	NaOH	Phosphate buffer	Cholic acid	H ₂ SO ₄
RR	66.51	40.80	32.51	18.40	12.13	4.10	0.00
141	±3.54	±2.55	±1.60	±0.63	±1.30	±2.32	±0.00
RB	55.13	39.93	32.60	16.61	11.23	4.05	0.00
221	±10.39	±7.28	±6.33	±3.85	±1.37	±1.48	±0.00

ตาราง 25 ผลของประสิทธิภาพในการชะล้าง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตของโรงงานฟอกย้อม

สีย้อม	ความสามารถในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต(%)						
	SDS	Triton-X100	Tween-80	NaOH	Phosphate buffer	Cholic acid	H ₂ SO ₄
RR	79.25	52.40	33.64	20.43	11.21	5.73	0.00
141	±3.69	±2.55	±1.60	±3.04	±1.30	±2.32	±0.00
RB	72.40	58.31	41.22	20.42	13.17	5.10	0.00
221	±6.76	±4.85	±5.88	±3.85	±1.37	±2.97	±0.00

การศึกษาการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจาก โรงงานฟอกย้อมพบว่าให้ผลในการทำงานเดียวกันกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาคือ 0.1% SDS มีประสิทธิภาพในการชะล้างตะกอนที่มากที่สุด

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมักมีสีเข้ม เป็นที่น่ารังเกียจเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะทำให้สีในแหล่งน้ำนั้นมีสี แม้ว่าสีที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งนั้นอาจมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม จึงต้องมีการบำบัดหรือกำจัดสีที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งก่อนที่จะปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดให้สีในน้ำทิ้งจะต้องอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงาน จึงต้องผ่านระบบบำบัดก่อนเพื่อกำจัดหรือบำบัดสีรวมทั้งสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียก่อน

กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา(biological treatment) นับว่าเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก โดยกระบวนการนี้จะอาศัยจุลินทรีย์ในการลดสี โดยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่ จะมีการทำลาย กิน ดูดซับสีหรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย

การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์จาก 2 แหล่ง คือ ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา ซึ่งเป็นน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม ใน 2 ลักษณะ คือ เป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living bio-sludge) และตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต (dead bio-sludge) โดยทำการศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมรีแอคทีฟ 2 ชนิด คือ สีย้อม reactive red 141(RR141) และ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อม reactive blue221(RB221) โดยทำการวิเคราะห์จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสีย และผลของปริมาณค่าตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี ค่าประสิทธิผลการดูดซับ เป็นต้น เพื่อทำการศึกษเกี่ยวกับ

1. คุณลักษณะของน้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์
2. ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของตะกอนจุลินทรีย์
3. การดูดซับสีน้ำเสียของตะกอนจุลินทรีย์
4. สารละลายที่เหมาะสมในการชะล้างสีฟอกย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์

5.2 สรุปผลการวิจัย

ตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับสีได้เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ ซึ่งนอกเหนือจากการดูดซับสีแล้วยังสามารถดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดี (Santhy K. and Selvapathy P. 2006 : บทคัดย่อ) และบีไอดีได้ ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ 2000

มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.2 อุณหภูมิ 30 °C พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากระบบน้ำเสียรวมสี่พระยาจะใช้ระยะเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมใช้ระยะเวลาสัมผัสที่สั้นกว่า คือ 3 ชั่วโมง ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีและปริมาณสารอินทรีย์ได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต และเมื่อทำการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่าจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 แต่สำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 โดยมี Sodium dodecyl sulfate (SDS) เป็นตัวชะที่ทำให้ความสามารถในการชะล้างสีข้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์ได้มากถึง 79 %

5.2.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาและโรงฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ ให้ค่าความชื้นมีค่าเป็น 83.67 % และ 80.46 % ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเท่ากับ 7.30 และ 6.5 ตามลำดับ ค่าเอ็มแอลเอสเอสมีค่าเป็น 9,900±80.3 mg/L และ 9,700±25.2 mg/L ตามลำดับ และค่าเอ็มแอลวีเอสเอสมีค่าเท่ากับ 7,920±64.2 mg/L และ 7,840±52.5 mg/L ตามลำดับ

5.2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีข้อม

ระยะเวลาสัมผัส(ที่น้อยที่สุด)ในการดูดซับสีโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ใช้เวลา 6 ชั่วโมง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตจะใช้ระยะเวลาสัมผัสที่น้อยกว่า คือ 3 ชั่วโมง เท่านั้น เมื่อควบคุมอุณหภูมิที่ 30°C ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 2000 มก./ล. ที่ความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จากโรงฟอกย้อมนี้เป็นวัสดุชีวภาพในการดูดซับที่เหมาะสมกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาเพราะสามารถดูดซับได้เร็ว

5.2.3 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์จาก

โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีข้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีข้อม

ความสามารถในการดูดซับสีข้อม RR141 ระหว่างตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีสีข้อมและไม่มีสีข้อมให้ผลที่แตกต่างกัน โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีข้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยเป็น 5.18 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีข้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ยเป็น 3.78 mg/g-cell แต่สำหรับสีข้อม RB221 ให้ผลที่ไม่แตกต่างไม่ว่าจะใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่มีสีข้อมหรือตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียที่ไม่มีสีข้อมก็ตาม

5.2.4 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาเมื่อทดลองกับสีย้อม RR141 จะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตให้ผลความสามารถในการดูดซับที่ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อทดลองกับสีย้อม RB221 พบว่าโดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 6.16 mg/g-cell ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับสีเฉลี่ย 4.91 mg/g-cell

5.2.5 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม

ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมเมื่อทดลองกับสีย้อม RR141 และสีย้อม RB221 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตให้ผลความสามารถในการดูดซับสีที่ไม่แตกต่างกัน โดยตะกอนจุลินทรีย์จะมีความสามารถในการดูดซับสีย้อม RB221 ได้ดีกว่าสีย้อม RR141

5.2.6 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและ บีไอดี

สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยาเมื่อทดลองกับสีย้อม RR141 พบว่าความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตให้ผลที่แตกต่างกัน โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 303.08 และ 205 mg/g-cell ตามลำดับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 98.83 และ 34.19 mg/g-cell สำหรับสีย้อม RB221 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 307.58 และ 198.33 mg/g-cell ตามลำดับ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 73.99 และ 40.83 mg/g-cell ตามลำดับ

ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อมเมื่อทดลองกับสีย้อม RR141 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 290.83 และ 182.50 mg/g-cell ตามลำดับ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 60.83 และ 31.66 mg/g-cell ตามลำดับ สำหรับสีย้อม RB221 พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 295.83 และ 194.50 mg/g-cell ตามลำดับ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีเป็น 57.50 และ 30.16 mg/g-cell ตามลำดับ

5.2.7 ผลการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตให้ความสามารถในการดูดซับสีได้สูงสุดที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตให้ความสามารถในการดูดซับได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับสีย้อม RR221 จะให้ผลที่สูงกว่าสีย้อม RR141

5.2.8 ผลการศึกษาความสามารถในการชะล้างสีของตัวชะ

Sodium dodecyl sulfate เป็นตัวชะที่เหมาะสมในการชะล้างสีย้อมออกจากตะกอนจุลินทรีย์มากกว่าตัวชะอื่น ซึ่งได้แก่ triton X-100, tween-80, NaOH, phosphate buffer, cholic acid และ H_2SO_4 และยังพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะถูกชะล้างสีย้อมออกได้ง่ายกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต

5.3 อภิปรายผล

5.3.1 ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีย้อม

ด้วยระยะเวลาสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำเสียน้ำเสียกับจุลินทรีย์ยิ่งมากเท่าใด โอกาสในการดูดซับยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย (Santhy K. and Selvapathy P. 2006 : บทคัดย่อ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงควรเพิ่มระยะเวลาปรับสภาพจุลินทรีย์(acclimation)ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียน้ำเสียรวมสี่พระยาให้นานกว่า 7 วัน เพื่อที่จะตรวจสอบความสามารถในการดูดซับว่ามากขึ้นหรือใช้ระยะเวลาสัมผัสเร็วกว่า 6 ชั่วโมงหรือไม่ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการใช้จุลินทรีย์ที่มีชีวิต (living microorganisms) จะเกิดกระบวนการเมตาโบลิซึมของสีโดยจุลินทรีย์ ทำให้ค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} เดิมลดลง มีการเพิ่มค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอีกที่หนึ่ง จึงควรมีการวัดสีของน้ำด้วยวิธีมาตรฐานในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI Tristimulus Filter Method) ที่เป็นการวัดที่ไม่ขึ้นอยู่กับเฉดสี แต่จะมีการศึกษาในทุกๆ ความยาวคลื่นของน้ำเสีย

5.3.2 การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์จาก

โรงบำบัดน้ำเสียน้ำเสียรวมสี่พระยากับโรงงานฟอกย้อม

ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียน้ำเสียที่มีสีย้อมเพราะตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียน้ำเสียที่มีสีย้อมจะมีการดูดซับสีไว้บางส่วนอยู่ก่อนแล้ว เมื่อเกิดกระบวนการดูดซับจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้อยลงขึ้น ในขณะที่ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีการปรับสภาพในน้ำเสียน้ำเสียที่ไม่มีสีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีได้มากกว่าเพราะยังไม่เกิดกระบวนการดูดซับใด ๆ มาก่อนเลย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียน้ำเสียรวมสูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากโรงงานฟอกย้อม (Sirianuntapiboon et al. 2004 : 276)

ซึ่งเป็นการสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับสารดูดซับหรือวัสดุดูดซับที่นำมาใช้ประโยชน์ในการดูดซับสี เพื่อบำบัดน้ำเสีย ประกอบกับมีงานวิจัยที่ทำการศึกษากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้มุ่งเน้นไปยัง สารดูดซับที่จะมาทดแทนที่ถ่านกัมมันต์ที่มีราคาแพง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ต้องกำจัดทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์และยังไม่มีสารดูดซับสีมาก่อน อาทิเช่น โคลดิน-โคลโตซาน ซิลิกา หรือมีการนำเอา วัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย เช่น ไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม หรือแม้กระทั่งไมยราบยักษ์ เป็นต้น(นิตยา ชาอุ่น และรัตนา สนั่นเมือง : ออนไลน์)

ด้วยในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 2000 mg/L ความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 40 mg/L ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าสิ่งที่น่าจะศึกษาเพิ่มเติมคือปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ควรใช้ในปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสมและให้ความสามารถในการดูดซับได้ดีที่สุด หรือความเข้มข้นของสีย้อมควรเป็นเท่าใดที่จะให้ความสามารถในการดูดซับได้มากที่สุด เพราะจากการศึกษางานวิจัยของสานิต ไชยยะ พบว่าเมื่อใช้ ดินเหนียวไฮโดรทลไซท์ เป็นสารดูดซับ เมื่อเพิ่มปริมาณสารดูดซับจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น(สานิต ไชยยะ. 2547: 92)

5.3.3 การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการดูดซับสีย้อมระหว่างเซลล์ที่มีชีวิตกับเซลล์ที่ไม่มีชีวิต พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะสามารถดูดซับสีย้อมได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ตายแล้วเมื่อเปรียบเทียบต่อน้ำหนักแห้ง อธิบายได้ว่าการลดสีจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีจุลชีพ (microorganisms) ที่มีชีวิตอยู่ในระบบฯ ด้วย (Panswad et al. 2005) เพราะกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเกิดทั้งกระบวนการสร้างตะกอน(coagulation) และกระบวนการทางชีวภาพ(sorption) (Basibuyuk. 2001) ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีกลไกในการบำบัดสีทั้งการดูดซับทางชีวภาพ (biosorption) การดูดซับนั้นอาจจะเป็นการดูดซับไว้ที่ผนังเซลล์ (Sirianuntapiboon. 1988 และ Aksu. 2005) และอาจจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ โดยจุลชีพ(biodegradation) ของสีที่ถูกดูดซับเข้าไปในเซลล์ได้อีกด้วย (Ohmomo. 1988) แต่ในส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะมีเพียงแต่กลไกในการบำบัดสีจากการดูดซับสีไว้ที่ผนังเซลล์เท่านั้น (Sirianuntapiboon et al. 2006 และ Sirianuntapiboon et al. 2004) ซึ่งถ้าเปรียบเทียบการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์เช่นเดียวกับการกำจัดสีโดยจุลินทรีย์แล้ว งานวิจัยของประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์ ได้นำเสนอว่าในสภาพจุลินทรีย์ที่ตายแล้วจะมีความต้องการที่จะใช้ชีวมวล(biomass)ในการดูดซับสีและสารตกค้างต่างๆ ในน้ำเสีย และอาจมีคุณสมบัติ โครงสร้างหรือตำแหน่งของการดูดซับหรือความสามารถในการจับและการดูดซับเปลี่ยนไป (อรไท สุขเจริญ 2545 : 122) แต่สำหรับจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีกิจกรรมเพิ่มเติมใน ส่วนของการดูดซับและย่อยสลายโดยเอนไซม์หรือกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์

(ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์. 2548 : 17-18) เกิดขึ้นได้ทั้งที่บริเวณภายนอกเซลล์และยังสามารถแพร่เข้าไปภายในเซลล์ได้ด้วยเมตาโบลิซึมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์

5.3.4 การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและ บีไอดี

ตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีได้ดีทั้งนี้เพราะวิธีการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาจะสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดีกว่าวิธีทางกายภาพและทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดี (Sirianuntapiboon et al. 2005) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดีและบีไอดีได้สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ทั้งนี้เพราะเพราะกลไกของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีความสามารถกำจัดพวกสารอินทรีย์ (ซีไอดีและบีไอดี) ที่อยู่ในรูปของ colloidal หรือ dissolved ในน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ 2536 : 4) และมีการดูดซับสารอินทรีย์ มีการย่อยสลายโดยเอนไซม์ (extracellular and intracellular enzyme) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. 2548 และ เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ 2537 : 4) เกิดขึ้นด้วย

5.3.5 การศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับ

5.3.5.1 ผลของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับไม่มีชีวิต

ความสามารถในการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเกิดได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ोधบายได้ว่าจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียจะสามารถเจริญเติบโตและแบ่งตัวได้รวดเร็วที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6.5 ถึง 7.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา (ดวงพร คันธโชติ. 2545 : 23, เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2536 : 106 และพิไลพรรณ พงษ์พล และบัญญัติ สุขศรีงาม. 2521 : 331)

สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการดูดซับที่สูงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการดูดซับที่น้อยลง เพราะค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) นั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน $[H^+]$ กล่าวคือที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนที่น้อย ซึ่งสอดคล้องกับสมการ $pH = -\log[H^+]$ ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ เพราะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน $[H^+]$ จะมีค่าน้อย ทำให้มีไฮดรอกไซด์ไอออน $[OH^-]$ ซึ่งมีประจุเป็นลบในปริมาณมาก ทำให้ประจุโดยรอบตะกอนจุลินทรีย์เป็นประจุลบเช่นเดียวกับสีย้อมทั้ง RR141 และ RB221 ที่มีประจุลบ (anionic dyes) ทำให้เกิดการผลักกันในระหว่างเกิดกระบวนการดูดซับบนพื้นผิวของตะกอนจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เป็นไปตามทฤษฎีการดูดซับ(Perrich. 1981) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ming-Shen Chio และคณะ (Ming-Shen Chio et al. 2003.) ที่พบว่าความสามารถในการดูดซับสีรีแอคทีฟ (Reactive Red 189) ด้วย

สารดูดซับไคโตซานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของชลธิชา ไม่เสื่อมสุข (ชลธิชา ไม่เสื่อมสุข, 2545 : บทคัดย่อ) ที่พบว่าความสามารถในการดูดซับสีรีแอคทีฟ (Reactive Red 141 และ Reactive Blue 19) ด้วยสารดูดซับถ่านบิโทมินัสและถ่านกะลามะพร้าว จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายลดลง งานวิจัยของรัตนา รุจิรวนิช (รัตนา รุจิรวนิช, 2543 : 45) ที่ศึกษาการดูดซับของสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคตินและไคโตแซน พบว่าปริมาณสีรีแอคทีฟที่ถูกดูดซับในสารละลายที่มีสภาพเป็นด่างจะต่ำกว่าปริมาณสีรีแอคทีฟที่ถูกดูดซับในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด และการศึกษาการดูดซับสีของสีย้อมรีแอคทีฟเช่นกันโดยใช้ Cucurbituril ที่ความเข้มข้น 1 g/g ในสภาพที่มีแคลเซียมอย่างน้อยเพียง 1-5 mmol/L เท่านั้น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 4.0-7.5 จะมีผลต่อการดูดซับได้ดี แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นแล้วจะทำให้การดูดซับสีลดลง (Karcher et. al. 1999)

ในทางตรงกันข้ามที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จะพบว่าในสารละลายให้ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน $[H^+]$ ที่มีค่าสูง สีย้อมที่ใช้ศึกษาไม่ว่าจะเป็น RR141 หรือ RB221 เป็นประจุลบ (ประจุทั้งสองนั้นตรงกันข้าม) จึงทำให้ลดผลในการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับหรือตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิตมีความสามารถในการดูดซับที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์น่าจะมีค่าความเป็นประจุบวก ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบาย (มันสิน ตันฑุลเวศน์, 2542: 131-154 และ Sundstrom และ Klei 1979) ที่กล่าวว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการดูดซับ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ ดังตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวกและตัวดูดซับมีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำๆ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการแย่งกันที่จะถูกดูดซับของสารถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับ $[H^+]$ ในสารละลาย เป็นต้น

5.3.5.2 ผลของสีย้อม RR141 กับ RB221

ความสามารถในการดูดซับสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตพบว่าสีย้อม RB221 ให้ผลการดูดซับที่ดีกว่าสีย้อม RR141 อธิบายความเป็นไปได้ว่า สีย้อม RB221 มีโครงสร้างขนาดเล็กกว่าสีย้อม RR141 จึงสามารถเกิดการดูดซับเข้าไปในตำแหน่ง active size ของตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสีย้อม RR141 และอาจเกิดจากผลของโครงสร้างของสีย้อม RB221 ที่เป็น metal complex จะไปทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ ($C_5H_7O_2N$) ที่มีชีวิต (จงจินต์ ผลประเสริฐ : เอกสารประกอบการสอน, 11-7) ดังสมการ ทำให้เกิดการจับกันเป็นลิแกนด์ (ligand) ระหว่าง metal กับ HCO_3^-



ในทางตรงกันข้ามสีย้อม RR141 มีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดผลของ Steric effect และประกอบกับสีย้อม RR141 มีโครงสร้างทางเคมีเป็นกลุ่มสีอะโซ ซึ่งตัวสีจะมีอะตอมฮาโลเจนชนิด

คลอรีนทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ในโมเลกุลและมีประจุลบที่ละลายน้ำได้ (Colour index, third edition; second revision, 1982, 7 : 7216) และมีหมู่ไตรอะซีนิล (triazinyl) ที่เรียกว่า ไซยานูริกคลอไรด์ (cyanuric chloride) ที่เป็นส่วนสำคัญทำให้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย (มณฑา โกสง, 2536 : 42) และเป็นหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาในการติดสีได้ดีและรวดเร็ว (colourway, 2002 : 55) จึงอาจทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ย่อยสลายสียอมได้เพียงเล็กน้อย จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับของสียอม RR141 น้อยกว่าสียอม RB221

5.3.6 การศึกษาผลของความสามารถในการชะล้างตะกอนจุลินทรีย์

5.3.6.1 ผลของค่าความเป็นประจุของตัวชะ

ด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวจะเป็นการเพิ่มการละลายของสียอมในน้ำได้ส่งผลให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายได้เพิ่มขึ้น (Van and Ward 1999 : 130-137) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า Sodium dodecyl sulfate (SDS) มีความสามารถในการชะล้างตะกอนได้มากกว่าสารละลายตัวอื่นๆ ที่ใช้ใน งานวิจัย ได้แก่ triton X-100, tween-80, NaOH, phosphate buffer, cholic acid และ H_2SO_4 อธิบายความเป็นไปได้ว่าเนื่องจากสารที่นำมาใช้ชะล้างตะกอนจุลินทรีย์เป็นสารลดแรงตึงผิวเกือบทั้งหมด โดยเฉพาะ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ เมื่อนำมาใช้ชะล้างสียอมที่มีประจุเป็นลบ เหมือนกัน ย่อมจะเกิดผลดีกัน และยังบ่งบอกได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่คาดว่าจะมีประจุเป็นบวกนั้น มีแรงยึดเกาะกับสียอมที่มีประจุเป็นลบค่อนข้างต่ำ แสดงว่ากระบวนการดูดซับระหว่างตะกอน จุลินทรีย์กับสียอมเป็นกระบวนการดูดซับทางกายภาพที่เป็นแรงค่อนข้างอ่อน เพราะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือ ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (ในที่นี้หมายถึงสียอม) กับโมเลกุล ที่ผิวหน้าตัวดูดซับ (ในที่นี้หมายถึงสียอม) (Danald, 1995) จึงทำให้ความสามารถในการชะล้าง เกิดขึ้นได้ดีเมื่อใช้ SDS ซึ่งมีประจุเป็นลบ จึงทำให้เกิดกระบวนการดูดซับทางเคมีที่มีการ แลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนพร้อมกับกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุด้วย

ในส่วนของตัวชะ triton X100 และ tween 80 จะให้ความสามารถในการชะที่ต่ำกว่า SDS เพราะเป็นตัวชะที่ไม่มีประจุและมีโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่ จึงอาจทำให้การแพร่เข้าไปภายใน เซลล์จุลินทรีย์เกิดขึ้นได้น้อยกว่า

และตัวชะ NaOH และ H_2SO_4 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบที่นิยม ใช้กัน และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูง มีความแรง น่าจะเป็นตัวชะได้ดีกว่า แต่ผลกลับเป็นตรงกันข้าม คือให้ความสามารถในการชะล้างสียอมได้น้อยกว่า SDS, triton X100 และ tween 80 อธิบายได้ว่าเนื่องจากตัวชะทั้งสองจะมีการแตกตัวทำให้เกิดไอออนขึ้น ในรูปของ Na^+ , OH^- , H^+ , SO_4^{2-} อาจทำให้เกิดสารประกอบตัวใหม่เกิดขึ้น เช่น Na_2SO_4 มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น เปลี่ยนแปลงไปได้ เพราะผู้วิจัยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดของสีนั้น

5.3.6.2 ผลของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

จากผลการศึกษาจะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตจะให้ความสามารถในการชะที่ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต อธิบายความเป็นไปได้ว่าในส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตนั้นจะเป็นการจับหรือดูดซับสีย้อมเท่านั้น แต่ในกรณีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจะมีกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์เพิ่มเข้ามา (ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์ 2548 : 17-18) จึงทำให้การชะล้างสีของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเกิดขึ้นได้น้อยกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เมื่อใช้ตัวชะเดียวกัน

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการดูดซับสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยตะกอนจุลินทรีย์ มีข้อเสนอแนะในการทำการทดลองสำหรับผู้สนใจ ดังนี้

- 1) ควรศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและให้ความสามารถในการดูดซับได้ดีที่สุด
- 2) ควรศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับ เพราะอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการดูดซับและกิจกรรมทางชีวภาพของจุลินทรีย์
- 3) ควรศึกษา Adsorption isotherm ของสภาวะการดูดซับต่างๆ

การนำไปใช้ประโยชน์

ผลจากงานวิจัยนี้ทำให้ได้แนวทางในการพัฒนาไปใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อม ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมในประเทศไทย กล่าวคือ

- 1) ตะกอนจุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ในการบำบัดสีน้ำเสียได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอน
- 2) สามารถลดสีย้อมรีแอกทีฟซึ่งเป็นแม่สีหลักที่โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ในการฟอกย้อม และผสมให้ได้สีต่างๆ ที่เป็นสีที่ยากต่อการย่อยสลาย
- 3) ได้แนวคิดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำวัสดุชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ โดยการติดตั้งระบบชะล้างต่อจากระบบบำบัดน้ำเสีย

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มิตรนรา
การพิมพ์, 2536.

_____. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 3. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์,
2537.

โกมล เอี่ยมเสมอ. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟชนิดอาโซโดยกระบวนการเอสปีอาร์
แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกซึ่งมีและไม่มีสารอาหารที่ส่งเสริมกระบวนการอีพีอาร์.

ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541 ถ่ายเอกสาร.

ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ และคณะ. การบำบัดสีน้ำทิ้งของโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีทางเคมี. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2543.

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่ง
ประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ :
บริษัท จุดทอง จำกัด, 2545.

ควบคุมมลพิษ, กรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. สรุปเกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสีย
และโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง
ประเทศไทย, 2546.

จงจันต์ ผลประเสริฐ. เคมีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. เอกสารประกอบการสอน, นครราชสีมา :
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.

จารุทัศน์ มลิณฑะเลข. การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี.

ปริญญาานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537
ถ่ายเอกสาร.

ชลธิชา ไม่เสื่อมสุข. ผลของภาวะออกซิเจนต่อการดูดซับสีรีแอกทีฟบนถ่านกัมมันต์.

ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

ชยาภาส ทับทอง. “การกำจัดไอออนตะกั่วจากน้ำเสียด้วยตะกอนจุลินทรีย์.”

วารสารวิจัยสถานะแวดล้อม. 28(1): 1-12, 2549.

ดวงพร คันธโชติ. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2545.

- ต่อพงษ์ กริธาชาติ. การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการ
การดูดซับด้วยแอคทีเวตต์คาร์บอน. ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541 ถ่ายเอกสาร.
- เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟในสารละลายสีย้อมในการดูดซับด้วยซิลิกา-อลูมินาที่
ใช้แล้ว. ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
2544 ถ่ายเอกสาร.
- นิตยา ชาอุ่น และรัตนา สนั่นเมือง. การศึกษาสมมูลของการดูดซับสีรีแอกทีฟด้วยถ่านและถ่าน
กัมมันต์เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม. [ออนไลน์] : [เข้าถึง 17
พฤษภาคม 2550]
- นิรนาม. “การกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ โดยการใช้เชื้อรา.” *คัลเลอร์เวย์*. 35
(กรกฎาคม-สิงหาคม) : 32-36, 2544.
- นันทยา ยานูเมศ. “เทคโนโลยีความเป็นมลพิษและมลพิษของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ใน
อุตสาหกรรมสิ่งทอ,” *คัลเลอร์เวย์*. 1(6) : 21-41; 2539.
- นริศญา กวินันตวงศ์. การบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการ PAC-UF. ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม.
กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542 ถ่ายเอกสาร.
- นฤมล ศิริทรงธรรม. “เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ,”
คัลเลอร์เวย์. 2(12) : 51-55; 2540.
- บุญเรียง ขจรศิลป์. การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลในการวิจัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป
SPSS for Windows Version 10-12. กรุงเทพฯ : บริษัท เอส.พี.เอ็น. การพิมพ์ จำกัด,
2548.
- บุษรา ประทุมญาติ. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์. ปรินูญานิพนธ์
วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545 ถ่ายเอกสาร.
- ปณิศา สาลี. การบำบัดสีย้อมประเภทไดเร็กซ์จากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยระบบถ่านกัมมันต์
ชนิดเกล็ด-เอสปีอาร์. ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.
- ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์. การหาวิธีที่เหมาะสมในการดูดซับสีจากน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงาน
ย้อมผ้าโดยเชื้อ *Lentinus polychrous*. รายงานการวิจัย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
สำนักงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2548 คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี: 17-18, 2548.

เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

พิไลพรรณ พงษ์พล และบัญญัติ สุขศรีงาม. จุลชีววิทยา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. ชลบุรี :
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน, 2521.

พัชรียา ฉัตรเท. “การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า,” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 144:
10-11, 2546.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. “สี กลิ่นและรส (Color, Odor and Flavor)” [ออนไลน์] :
www2.diw.go.th/research/เอกสารเผยแพร่/6-ColorOdorTaste-w.pdf
[เข้าถึง 27 สิงหาคม 2548]

มันสิน ตัณฑุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ :
บริษัท แซน. อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์, 2542 ก.

_____. วิศวกรรมการประปา เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2542 ข.

_____. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

มณฑา โกเสง. เอกสารประกอบการสอนวิชาคหกรรม 457 การย้อมสีและพิมพ์ผ้า. กรุงเทพฯ :
ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสานมิตร, 2536.

รัตนา รุจิรวนิช. การดูดซับของเสียอมประเภทย่อยน้ำใต้ดินและไคโตแซน. รายงาน
ผลการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช, มิถุนายน, 2543.

รุจิเรข จันทรอำไพ และ มนต์กร ราชกรกิจ. “การกำจัดสังกะสีจากดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง
ที่ใช้แล้ว,” คัลเลอร์เวย์. 3(19) : 62-67; 2547.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. คู่มือควบคุมและปฏิบัติงานระบบบำบัดมลพิษ
โรงงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2542.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพฯ : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2548.

ลิลี โกศัยยานนท์. คู่มือวิชาการสิ่งทอ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2541.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง, ประกาศเรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการ
ระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม.

กรุงเทพฯ : 2539.

- วีระพงษ์ แซ่โจ้ว. การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยระบบ Sequencing Batch Reactor System สำหรับบำบัดสีน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม. ปรินิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545 ถ่ายเอกสาร.
- วิวรรณ ขจรเกียรติคุณ. การใช้ถังกรองดูดซับในการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในการบำบัดขั้นสุดท้าย. ปรินิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539 ถ่ายเอกสาร.
- วิภาดา นวลทวี และ ศรีประภา กล้วยไม้ ณ อรุณยา. การบำบัดสีไคเร็กซ์ด้วยผงผักตบชวา. ปรินิพนธ์ วท.บ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540 ถ่ายเอกสาร.
- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, สมาคม. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม. กรุงเทพฯ : 2544.
- ศานิต ไชยยะ. อุณหพลศาสตร์และจลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมบนสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายไฮโดรทัลไซท์. ปรินิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- สวรรณยา จึงพิงสุพานิช. การประยุกต์ใช้ระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) สำหรับบำบัดสีน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม. ปรินิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546 ถ่ายเอกสาร.
- อัจฉรา ไสละสูตร. คู่มือการย้อมสี. กรุงเทพฯ : อักษรบัณฑิต, 2517.
- อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย : คณะกรรมการวิชาการสาขาวิชาการสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545.
- อรไท สุขเจริญ. “การดูดซับไอออนตะกั่วโดยเชื้อจุลินทรีย์,” วารสารวิจัย. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 5(1) : 114-133, 2545.
- อภิชาติ หิรัญจิตต์. การกำจัดสีย้อมรีแอททีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดซับผิวและโคแอกูเลชัน. ปรินิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539 ถ่ายเอกสาร.
- อำนาจ วัจจัน และ พรรณี บุญสุยา. สถิติทั่วไป. กรุงเทพฯ : 2548.

- Alkan M. et al. "Removal of reactive blue 221 and acid blue 62 anionic dyes from aqueous solutions by sepiolite," **Dyes and Pigments**. 65 : 251-259, 2005.
- Arami, M., N.Y. Limaee, N.M. Mahnoodi and N.S. Tabrizi. "Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent : Equilibrium and kinetic studies," **Colloid and Interface Science**. 288 : 371-376, 2005.
- Assadi, M. and Jahangiri, M. "Textile Wastewater Treatment by *Aspergillus niger*," **Desalination**. 141, 1-6, 2001a.
- Assadi, M., Rostami, K., Shahvali, M. and Azin, M. "Decolorization of Textile Wastewater by *Phanerochaete chrysosporium*," **Desalination**. 141, 331-336, 2001b.
- APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition., Washington, DC, USA, 1998.
- APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition., Washington, DC, USA, 2005.
- Aksu, Z. "Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review," *Process Biochem*. 40 : 997-1026, 2005.
- Basibuyuk M.; Yilmaz T.; Kayranli B.; Yuceer A.; Forster C.F. "The Use of Waterworks Sludge for the Treatment of Dye Wastes" [Online] *Environmental Technology*, 23(3), March, 345-351, 2001. Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed September 21, 2005]
- Buckley, C.A., "Membrane technology for the treatment of dyehouse effluents," **Water Science Technology**. 25 : 203-209, 1992.
- Bell, J. and Buckley, C.A. "Treatment of a textile dye in the anaerobic baffled reactor"[online] *Water SA*, 29(2) (April. 2003) Available : [http:// www.wrc.org.za](http://www.wrc.org.za) [Accessed September 21, 2005]
- Carr, C. **Chemistry of the Textile Industry**. London : Blackie Academic, 1995.
- Colour index. Third edition. **The Society of Dyes and Colourists**. Great Britain, H Charlesworth & Co. Ltd, Huddersfield. England. 2 : 2455, 1971.
- _____. **The Society of Dyes and Colourists**. Great Britain, H Charlesworth & Co. Ltd, Huddersfield. England. 7 : 7216, 1982.
- Colourway. **Principle of Textile Dyeing** Bangkok. 40, May-June, 2002 .

- Danald, L.S. **Environmental Soil Chemistry**. USA: Academic Press. 1995.
- Derwalle, F.B. and Chain, E.S.K. "Biological Regeneration of Powdered Activated Carbon Added to Activated Sludge Units," **Water Research**. 13, 439-446, 1977.
- Dipak, S. And James, A.S. "Enhanced Trichloroethene Desorption for Longterm Contaminated Soil Using Triton X-100 and pH Increase," **Environmental Science and Technology**. 31, 1997.
- Ernst, W.R. "Adsorption of Textile Dyes from Aqueous Solution by Activated Carbon from Peanut Halls," **GRAI 7924**. 84, 1979.
- Faust, D.S. and Aly, O.M. "Removal of Organic by Activated Carbon," **Chemistry of Water Treatment**. Butterworths Publisher, Boston, 199-216, 1988.
- Ferguson, J.F., Keoy, G.F.P., Merrill, M.S., and Benedict, A.H. "Powdered Activated Biological Treatment : Low Detention Time Process," Processing 31st **Annual Industry Waste Conference**. Purdue University, 468-479, 1976.
- Ghash, M.M., F.E. Woodard, O.J. Sproul, P.B. Knowlton and F.D. Gverton. "Treatability studies and design considerations for textile wastewater," **Water and Waste Eng.** 1(4), 35-41, 1978.
- Ghosh, D., Bhattacharyya, K.G., "Removing colour from aqueous medium by sorption on natural clay: A study with methylene blue," *Indian Journal of Environmental Protection* 21(10), 903-910, 2001, Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed May 2, 2007]
- Hassler, J.W. **Purification with Activated Carbon**, International Textbook Company Ltd., New York, 1974.
- Japan External Trade Organization. "Waste water Treatment(Textile & Dyeing)," **Japan**. 1-13, 1993.
- Johnson, A. **The theory of coloration of textiles**, 2 nd.ed. West Yorkshier: Society of Dyes and Colourists, 1989.
- Karcher, S. Kornmuller A. and Jekel, M. "Removal of Reactive Dyes by Sorption/Complexation with Cucurbituril." [Online] *Water Science and Technology*, 40: 425-433, 1999, Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed September 21, 2005]

- Kawamura, S. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities.** 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 37, 2000.
- Kim, Seong Jun., Ishikawa, Kenichi., Hirai, Mitsuyo. and Makoto, Shoda. "Characteristics of a newly isolated fungus, *Geotrichum candidum* Dec 1, which decolorizes various dyes," **Journal of Fermentation and Bioengineering.** 79(6), 601-607, 1995.
- Knapp, J. S., Newby, P. S. and Reece, L. P. "Decolorization of dyes by wood-rotting basidiomycete fungi," **Enzyme and Microbial Technology.** 17(7), 664-668, 1995.
- Ingamells, W. **Colour for Textiles : A user's handbook.** Oxford: Society of Dyers and Colourists, 1993.
- Liversidge, R.M., Lloyd, G.J., Wase, D.A.J. and Forster, C.F. "Removal of Basic Blue 41 Dye from Aqueous Solution by Linseed Cake," **Process Biochemistry.** 32, 473-477, 1997.
- Lourenco, N.D., Novais, J.M. and Pinheiro, H.M. "Effect of Some Operational Parameters on Textile Dye Biodegradation in a Sequential Batch Reactor," **Journal of Biotechnology.** 89, 163-174, 2001.
- Ming-Shen Chiou and Hsing-Ya Li. "Adsorption behavior of **reactive** dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads," **Chemosphere,** 50(8), 1095-1105, 2003.
- Mochidzuki, K and Takeuchi, M. "The effects of some inhibitory components on biological activated carbon processes," **Water Research.** 33(11), 2609-2616, 1999.
- Namasivayam, C. and Yamuna, R.T. "Adsorption of Direct Red 12B by Biogas Residual Slurry Equilibrium and Rate Process," **Environment Pollution.** 89, 1-7, 1995.
- Namasivayam, C., Prabha, D. and Kumutha, M. "Removal of Direct Red and Acid Brilliant Blue by Adsorption on to Banana Pith," **Bioresource Technology.** 64, 77-79, 1998.
- Nigam, P., Singh. D. and Marchant, R. "An investigation of the biodegradation of textile dyes by aerobic and anaerobic microorganism," **Environmental Biotechnology.** 278-293, 1995.
- Nigam, P., Banat, IM., Singh. D., and Marchant, R. "Microbial process for the decolorisation of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes," **Process Biochemistry.** 31(5), 435-442, 1996.
- Ohmomo, S., Kainuma, M., Kamimura K., Sirianuntapiboon, S. Aoshima, I. and Atthasumpunna, P. "Adsorption of Melanoidin to the Mycelium of *Aspergillus oryzae* Y-2-32," **Agric,Biol.Chem.** 52(2), 381-386, 1988.

- Panswad T. and Luangdilok W., "Decolorization of Reactive Dyes with Different Molecular Structures under Different Environmental Conditions" *Water Research*, 34, 4177-4184, 2000. Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed September 21, 2005]
- Park, D., Yun, Y. and Park J.M., "Use of dead fungi biomass for the detoxification of hexavalent chromium: screening and kinetics," *Process Biochemistry*. 40, 2559-2565, 2005.
- Perrich, J.R. **Activated Carbon Adsorption for Wasterwater Treatment**. CRC Press Inc., Florida, 37-46, 1981.
- Ponnusami, V., Krithika. V., Madhuram. R. and Srivastava. S.N., "Biosorption of reactive dye using acid-treated rice husk: Factorial design analysis," *Journal of Hazardous Materials*. 142(1-2), 397-403, 2007, Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed May 13, 2007]
- Poots, V..J.P., Mckay, G. and Healy, J.J., "The removal of Acid Dye from Effluent Using Natural Adsorbent-I," *Water Research*. 10, 1061-1066, 1975.
- Santhy K. and Selvapathy P., "Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon," *Bioresource Technology*, 97(11) , 1329-1336, 2006, Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed Jan 4, 2007]
- Senthilkumaar, S., Kalaamani. P., Porkodi. K., Varadarajan. P.R. and Subburaam, C.V., "Adsorption of dissolved Reactive red dye from aqueous phase onto activated carbon prepared from agricultural waste," *Bioresource Technology*. 97(14), 1619, 2006.
- Shaw, C.B., Carliell, C.M. and Wheatly. A.D. "Anaerobic/Aerobic Treatment of Colored Textile Effluents using Sequencing Batch Reactors," *Water Research*. 36, 1993-2001, 2002.
- Shore, J. **Colorant and auxiliaries : Organic chemistry and application properties**. Vol. 1, Yorkshire, Dyes's company publication trust, 1-31, 1990.
- Shore, J. **Dyeing with Reactive Dyes**. The Alden Press, Manchester, 189-245, 1995.
- Sirianuntapiboon S. and Srisornsak P. "Removal of disperse dyes from textile wastewater using Bio-sludge," *Bioresource Technology*. 30(5), 2007, 1057-1066. Abstract Available: <http://www.sciencedirect.com> [Accessed January 11, 2007]
- Sirianuntapiboon, S. and Saengow W. "Removal of Vat Dyes from Textile Wastewater Using Biosludge," *Water Qual. Res*. 30, 276-284, 2004.

- Sirianuntapiboon S. Somchai P. Ohmomo S and Atthasumpunna P. "Screening of Filamentous Fungi Having the Ability to Decolorize Molasses Pigment," **Agric,Biol.Chem.** 52(2), 387-392, 1988.
- Sirianuntapiboon, S. Chairattanawan, K. and Jungphongsukpanich, S. "Some properties of a sequencing batch reactor system for removal of vat dyes," **Bioresource Technology.** 97(10) July 2006, Pages 1243-1252
- Society of Dyers and Colorists. **Color Index. V.6 [Prepared by] the Society of Dyers and Colourists and the American Association of Textile Chemists and Colorists.** 3rd ed. rev ed. Bradford : Society of Dyers and Colourists, 1973.
- Sponza, D.T. and Isik, M. "Decolorization and Azo Dye Degradation by Anaerobic/Aerobic Sequential Process," **Enzyme and Microbial Technology.** 31, 102-110, 2001.
- Sundstrom, D.W. and Klei, H.B. **Wastewater Treatment.** New Jersey, Prentice-Hall, 241-253, 1979.
- Thangamani, K.S. Sathishkumar,M. Sameena,Y. Vennilamani,N. Kadirvelu,K. Pattabhi S. and Yun. S.E. "Utilization of modified silk cotton hull waste as an adsorbent for the removal of textile dye (reactive blue MR) from aqueous solution," **www.sciencedirect.com**[Online]. *Bioresource Technology* , 98(6) , April 2007, 1265-1269. [Accessed December 28, 2005]
- Tom Veiros and Bala Krishnan. **Surfactant-Enhanced Treatment of Oil-Contaminated Soil and oil-Based Drill Cutting**, U.S. EPA Final Report Grant Number R827015-01-0, Environmental Research Laboratory, U.S.EPA, University of Oklahoma, 2001.
- Van, Hamme, J.D. and Ward, O.P. " Influence of chemical surfactants on the biodegradation of crude oil by a mixed bacterial culture," **Can. J. Microbial.** 45 : 130-137, 1999.
- Voyutsky, S. **Colloid Chemistry**, Moscow, Mir Publishers, 1978.
- Walker, G.M. and Weatherley, L.R. "Biological activated carbon treatment of industrial wastewater in stirred tank reactors," **Chem. Eng. J.** 75 , 201–206, 1999.
- Waranusantigul , P., Pokethitiyook. P., Kruatrachue.M. and Upatham. ES. "Kinetic of basic dye(methylene blue) biosorption by giant duckweed(Spirodela polyrrhiza)," *Environ Pollut*, 125(3), 385-392, 2003. Abstract Available: **www.sciencedirect.com**[Online]. [Accessed May 16, 2007]

www.asiachem.com/reactive_dye.htm . [Accessed May 11, 2007]

www.chemtrack.org/ : [Accessed May 11, 2007]

www.wcaslab.com/tech/Tween80.htm : [Accessed May 11, 2007]

www.2spi.com/catalog/supp/triton-x-100.html : [Accessed May 11, 2007]



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก
ข้อมูลความยาวคลื่นของสีย่อยที่ได้จาก
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง ก1 ผลที่ได้จากการหาค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive red 141

ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
400	0.127	660	0.013
410	0.120	670	0.012
420	0.113	680	0.012
430	0.109	690	0.012
440	0.112	700	0.012
450	0.127		
460	0.167	ตรวจซ้ำ	
470	0.227	530	0.553
480	0.293	532	0.557
490	0.352	534	0.559
500	0.437	536	0.566
510	0.525	538	0.570
520	0.551	540	0.572
530	0.553	542	0.575
540	0.572	544	0.577
550	0.558	546	0.574
560	0.424	548	0.562
570	0.241	550	0.558
580	0.127		
590	0.060		
600	0.029	ตรวจซ้ำ	
610	0.019	544	0.577
620	0.015	545	0.578
630	0.014	546	0.574
640	0.014		
650	0.013		

สรุป สีย้อม reactive red 141 ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 545 นาโนเมตร

ตาราง ก2 ผลที่ได้จากการหาค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive blue 221

ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
400	0.101	670	0.177
410	0.088	680	0.117
420	0.079	690	0.079
430	0.080	700	0.058
440	0.086		
450	0.092		
460	0.108	ตรวจซ้ำ	
470	0.122	600	0.809
480	0.144	602	0.820
490	0.165	604	0.832
500	0.195	606	0.834
510	0.236	608	0.839
520	0.286	610	0.836
530	0.339	612	0.841
540	0.396	614	0.836
550	0.474	616	0.831
560	0.570	618	0.826
570	0.658	620	0.805
580	0.714		
590	0.761	ตรวจซ้ำ	
600	0.809	610	0.836
610	0.836	611	0.842
620	0.805	612	0.841
630	0.696	613	0.840
640	0.570	614	0.836
650	0.406		
660	0.276		

สรุป สีย้อม reactive blue 221 ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 611 นาโนเมตร



ภาคผนวก ข
กราฟมาตรฐานของสารละลายย้อม

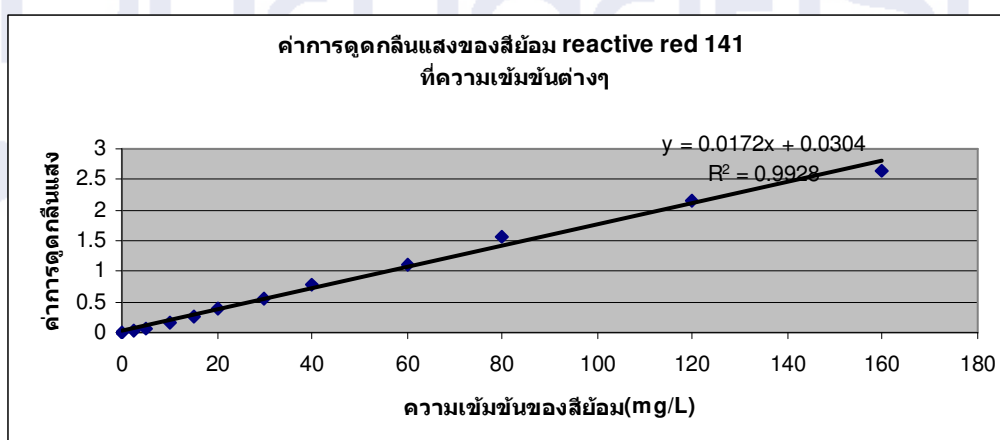
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายสี reactive red 141(RR141) และ reactive blue 221(RB221)

ทำได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 545 และ 611 นาโนเมตร ตามลำดับ ค่าที่ได้แสดงดังภาคผนวก ตาราง ข1 และ ตาราง ข2 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้นี้ไปสร้างกราฟโดยให้ความเข้มข้นของสารละลายสีเป็นแกน X และค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายสีซึ่งเป็นเส้นตรง ดังภาพประกอบ ข1 และภาพประกอบ ข2

ตาราง ข1 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive red 141 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

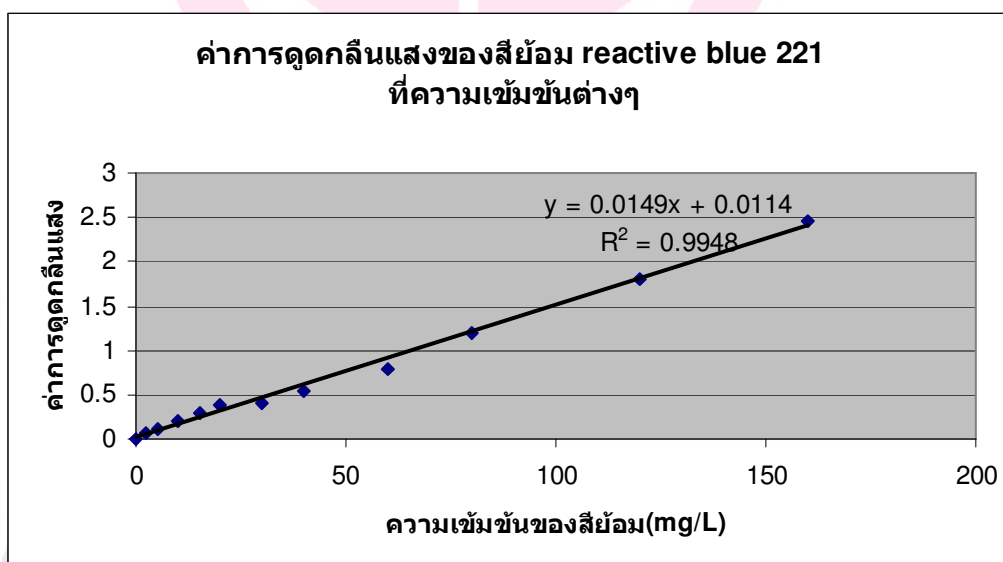
ความเข้มข้น(มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงสีย้อม reactive red 141
0	0
2.5	0.026
5	0.072
10	0.178
15	0.255
20	0.388
30	0.541
40	0.795
60	1.098
80	1.571
120	2.15
160	2.648



ภาพประกอบ ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสี reactive red 141

ตาราง ข2 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม reactive blue 221 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงสีย้อม reactive blue 221
0	0
2.5	0.061
5	0.105
10	0.201
15	0.285
20	0.388
30	0.403
40	0.552
60	0.797
80	1.185
120	1.808
160	2.461



ภาพประกอบ ข2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม reactive blue 221



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการศึกษาระยะเวลาสัมพัทธ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

เพื่อหาระยะเวลาสัมพัทธ์ของการดูดซับสีของรีแอกทีฟของตะกอนจุลินทรีย์โรงบำบัดน้ำเสีย
แสดงข้อมูลในตาราง ค1 – ตาราง ค 8

ตาราง ค1 ระยะเวลาดำเนินการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีแดงในการดูดซับสี RR141

ตะกอนจุลินทรีย์สีแดงประเภทมีชีวิต (live bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.729	40.616	0.000	0.000	0.000
1	0.608	33.581	7.035	17.320	3.517
2	0.590	32.535	8.081	19.896	4.041
3	0.568	31.256	9.360	23.045	4.680
4	0.565	31.081	9.535	23.476	4.767
5	0.560	30.791	9.825	24.190	4.913
6	0.556	30.558	10.058	24.764	5.029
8	0.552	30.326	10.290	25.335	5.145
10	0.548	30.093	10.523	25.909	5.262
12	0.545	29.919	10.697	26.337	5.349

ตาราง ค2 ระยะเวลาดำเนินการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีแดงในการดูดซับสี RR141

ตะกอนจุลินทรีย์สีแดงประเภทไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.664	36.837	0.000	0.000	0.000
1	0.581	32.012	4.825	13.098	2.412
2	0.568	31.256	5.581	15.150	2.791
3	0.550	30.209	6.628	17.993	3.314
4	0.547	30.035	6.802	18.465	3.401
5	0.542	29.744	7.093	19.255	3.547
6	0.538	29.512	7.326	19.885	3.663
8	0.537	29.453	7.384	20.044	3.692
10	0.535	29.337	7.500	20.360	3.750
12	0.530	29.047	7.791	21.149	3.895

ตาราง ค3 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิตในการดูดซับสี RR141

ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิตประเภทมีชีวิต (live bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.664	36.837	0.000	0.000	0.000
1	0.524	28.698	8.140	22.096	4.070
2	0.503	27.477	9.360	25.410	4.680
3	0.488	26.605	10.233	27.778	5.116
4	0.478	26.023	10.814	29.356	5.407
5	0.470	25.558	11.279	30.619	5.640
6	0.465	25.267	11.570	31.408	5.785
8	0.459	24.919	11.919	32.355	5.959
10	0.455	24.686	12.151	32.986	6.076
12	0.452	24.512	12.326	33.460	6.163

ตาราง ค4 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิตในการดูดซับสี RR141

ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีชีวิตประเภทไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.729	40.616	0.000	0.000	0.000
1	0.570	31.372	9.244	22.760	4.622
2	0.556	30.558	10.058	24.764	5.029
3	0.546	29.977	10.640	26.195	5.320
4	0.542	29.744	10.872	26.768	5.436
5	0.537	29.453	11.163	27.484	5.581
6	0.535	29.337	11.279	27.770	5.640
8	0.530	29.047	11.570	28.486	5.785
10	0.530	29.047	11.570	28.486	5.785
12	0.528	28.930	11.686	28.772	5.843

ตาราง ค5 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงินในการดูดซับสี RB221

ตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงินประเภทมีชีวิต (live bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.516	34.320	0.000	0.000	0.000
1	0.496	32.959	1.361	3.964	0.680
2	0.465	30.850	3.469	10.109	1.735
3	0.442	29.286	5.034	14.668	2.517
4	0.429	28.401	5.918	17.245	2.959
5	0.415	27.449	6.871	20.020	3.435
6	0.412	27.245	7.075	20.614	3.537
8	0.408	26.973	7.347	21.407	3.673
10	0.403	26.633	7.687	22.398	3.844
12	0.401	26.497	7.823	22.795	3.912

ตาราง ค6 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงินในการดูดซับสี RB221

ตะกอนจุลินทรีย์สีน้ำเงินประเภทไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.516	34.320	0.000	0.000	0.000
1	0.477	31.667	2.653	7.730	1.327
2	0.450	29.830	4.490	13.082	2.245
3	0.445	29.490	4.830	14.073	2.415
4	0.440	29.150	5.170	15.064	2.585
5	0.432	28.605	5.714	16.650	2.857
6	0.425	28.129	6.190	18.038	3.095
8	0.420	27.789	6.531	19.029	3.265
10	0.418	27.653	6.667	19.425	3.333
12	0.417	27.585	6.735	19.623	3.367

ตาราง ก7 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีในการดูดซับสี RB221

ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีประเภทมีชีวิต (live bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.535	35.612	0.000	0.000	0.000
1	0.486	32.279	3.333	9.360	1.667
2	0.453	30.034	5.578	15.664	2.789
3	0.422	27.925	7.687	21.586	3.844
4	0.406	26.837	8.776	24.642	4.388
5	0.395	26.088	9.524	26.743	4.762
6	0.390	25.748	9.864	27.698	4.932
8	0.387	25.544	10.068	28.271	5.034
10	0.385	25.408	10.204	28.653	5.102
12	0.385	25.408	10.204	28.653	5.102

ตาราง ก8 ระยะเวลาสัมพัทธ์การดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีในการดูดซับสี RB221

ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีประเภทไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.516	34.320	0.000	0.000	0.000
1	0.462	30.646	3.673	10.704	1.837
2	0.445	29.490	4.830	14.073	2.415
3	0.419	27.721	6.599	19.227	3.299
4	0.410	27.109	7.211	21.011	3.605
5	0.408	26.973	7.347	21.407	3.673
6	0.402	26.565	7.755	22.596	3.878
8	0.400	26.429	7.891	22.993	3.946
10	0.398	26.293	8.027	23.389	4.014
12	0.395	26.088	8.231	23.984	4.116

เพื่อหาระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อม
แสดงข้อมูลในตาราง ก9 – ตาราง ก 12

ตาราง ก9 ระยะเวลาดำเนินการสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RR141

ตะกอนจุลินทรีย์สีแดงประเภทมีชีวิต (live bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.709	39.453	0.000	0.000	0.000
1	0.602	33.233	6.221	15.765	3.110
2	0.584	32.186	7.267	18.419	3.634
3	0.572	31.488	7.965	20.189	3.983
4	0.566	31.140	8.314	21.107	4.157
5	0.552	30.326	9.128	23.133	4.564
6	0.548	30.093	9.360	23.372	4.680
8	0.537	29.453	10.000	25.347	5.000
10	0.533	29.221	10.233	25.934	5.116
12	0.530	29.047	10.407	26.376	5.203

ตาราง ก10 ระยะเวลาดำเนินการสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RR 141

ตะกอนจุลินทรีย์สีแดงประเภทไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.709	39.453	0.000	0.000	0.000
1	0.635	35.151	4.302	10.904	2.151
2	0.624	34.512	4.942	12.526	2.471
3	0.617	34.105	5.349	13.558	2.674
4	0.608	33.581	5.872	14.883	2.936
5	0.603	33.291	6.163	15.619	3.081
6	0.596	32.884	6.570	16.653	3.285
8	0.592	32.651	6.802	17.241	3.401
10	0.584	32.186	7.267	18.419	3.634
12	0.581	32.012	7.442	18.860	3.721

ตาราง ค11 ระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RB221

ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีประเภทมีชีวิต (live bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.564	37.585	0.000	0.000	0.000
1	0.471	31.259	6.327	16.594	3.163
2	0.450	29.830	7.755	20.633	3.878
3	0.442	29.286	8.299	22.081	4.150
4	0.435	28.810	8.776	23.350	4.388
5	0.427	28.265	9.320	24.797	4.660
6	0.422	27.925	9.660	25.702	4.830
8	0.416	27.517	10.068	26.787	5.034
10	0.410	27.109	10.476	27.872	5.238
12	0.407	26.905	10.680	28.415	5.340

ตาราง ค12 ระยะเวลาสัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์โรงงานฟอกย้อมในการดูดซับสี RB221

ตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีสีประเภทไม่มีชีวิต (dead bio-sludge)					
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีที่ถูกดูดซับ (mg/L)	ความสามารถในการดูดซับสี	
				(%)	mg/g-cell
0	0.564	37.087	0.000	0.000	0.000
1	0.482	31.584	5.578	14.841	2.789
2	0.470	30.779	6.395	17.015	3.197
3	0.463	30.308	6.779	18.278	3.389
4	0.458	29.973	7.211	19.185	3.605
5	0.449	29.369	7.823	20.814	3.912
6	0.443	29.354	8.231	21.189	4.116
8	0.440	29.150	8.435	22.442	4.218
10	0.438	29.014	8.571	22.804	4.286
12	0.435	28.429	8.776	23.349	4.388

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อใช้ข้อมูลตาราง ค12

ก่อนการดูดซับ

1. วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ = 0.564

2. แปลผลเป็นค่าความเข้มข้นของสี โดยใช้สมการกราฟมาตรฐานของสีย้อม RB221

$$Y = 0.0149X + 0.0114$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง, X คือค่าความเข้มข้นของสี (mg/L)

ทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของสี = 37.087 mg/L

หลังการดูดซับ (ระยะเวลาสัมพัทธ์ 3 ชั่วโมง)

1. วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ = 0.463

2. แปลผลเป็นค่าความเข้มข้นของสี โดยใช้สมการกราฟมาตรฐานของสีย้อม RB221

$$Y = 0.0149X + 0.0114$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง, X คือค่าความเข้มข้นของสี (mg/L)

ทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของสี = 30.308 mg/L

สรุปว่า

ก่อนการดูดซับ ค่าความเข้มข้นของสี = 37.087 mg/L

หลังการดูดซับ ค่าความเข้มข้นของสี = 30.308 mg/L

แสดงว่าตะกอนจุลินทรีย์ดูดซับสีย้อม = $37.087 - 30.308 = 6.779$ mg/L

ในการทดลองใช้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ = 2000 mg/L

ความสามารถในการดูดซับสี = 18.278 %

ความสามารถในการดูดซับสี = 3.389 mg/g-cell



ภาคผนวก ง

ข้อมูลการศึกษาความสามารถในการดูฉบับ

ดีและปริมาณสารอินทรีย์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้น, COD, BOD₅ ที่ผ่านการดูดซับ

ตาราง ง1 ตอนที่ 1 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

สีข้อม	ประเภทตะกอน จุลินทรีย์	ครั้งที่	living bio-sludge (mg/L)				dead bio-sludge (mg/L)				
			Abs.	ความ เข้มข้น	COD	BOD ₅	Abs.	ความ เข้มข้น	COD	BOD ₅	
reactive red 141	น้ำเสียสังเคราะห์ + สีข้อม	1	0.787	43.99	2000	1210	0.787	43.99	2000	1210	
			0.638	35.33	1080	620	0.68	37.77	1820	1100	
	น้ำเสียสังเคราะห์	เฉลี่ย	2	0.625	34.57	1110	650	0.684	38.00	1790	1120
			เฉลี่ย		34.95	1095	635		37.88	1805	1110
		1	0.599	33.06	1075	540	0.612	33.81	1780	1090	
			2	0.605	33.41	1098	570	0.62	34.28	1772	1120
					33.23	1086.5	555		34.05	1776	1105
					0.597	39.83	2000	1210	0.597	39.83	2000
	reactive blue 221	น้ำเสียสังเคราะห์ + สีข้อม	1	0.428	28.33	1070	630	0.467	30.99	1780	1085
				2	0.433	28.67	1096	615	0.462	30.65	1795
น้ำเสียสังเคราะห์		เฉลี่ย		28.50	1083	622.5		30.82	1787.5	1097.5	
			1	0.408	26.97	1078	600	0.446	29.56	1765	1085
		2	0.395	26.09	1065	615	0.435	28.81	1772	1070	
				26.53	1071.5	607.5		29.18	1768.5	1077.5	

ตาราง ง1 (ต่อ) ตอนที่ 2 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา

สีข้อม	ประเภทตะกอน จุลินทรีย์	living bio-sludge (mg/g-cell)			dead bio-sludge (mg/g-cell)		
		สี	COD	BOD ₅	สี	COD	BOD ₅
reactive red141	น้ำเสียสังเคราะห์ + สีข้อม	4.33	306.67	196.67	3.11	60.00	36.67
		4.71	296.67	186.67	2.99	70.00	30.00
	เฉลิย	4.52	301.67	191.67	3.05	65.00	33.33
	SD	0.27	7.07	7.07	0.08	7.07	4.71
	น้ำเสียสังเคราะห์	5.47	308.33	223.33	5.09	73.33	40.00
		5.29	300.67	213.33	4.85	76.00	30.00
	เฉลิย	5.38	304.50	218.33	4.97	74.67	35.00
		SD	0.12	5.42	7.07	0.16	1.89
reactive blue221	น้ำเสียสังเคราะห์ + สีข้อม	5.75	310.00	193.33	4.42	73.33	41.67
		5.58	301.33	198.33	4.59	68.33	33.33
	เฉลิย	5.66	305.67	195.83	4.51	70.83	37.50
	SD	0.12	6.13	3.54	0.12	3.54	5.89
	น้ำเสียสังเคราะห์	6.43	307.33	203.33	5.14	78.33	41.67
		6.87	311.67	198.33	5.51	76.00	46.67
	เฉลิย	6.65	309.50	200.83	5.32	77.17	44.17
		SD	0.31	3.06	3.54	0.26	1.65

ตัวอย่างการคำนวณ

I. ลีเยียม RR141

ก่อนการดูดซับ

1. วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ = 0.787
2. แปลผลเป็นค่าความเข้มข้นของสี โดยใช้สมการกราฟมาตรฐานของลีเยียม RR141

$$Y = 0.0172X + 0.0304$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง, X คือค่าความเข้มข้นของสี (mg/L)

ทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของสี = 43.99 mg/L

หลังการดูดซับ (ใช้ข้อมูล ตาราง ง1 ครั้งที่ 1)

1. วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ = 0.638
2. แปลผลเป็นค่าความเข้มข้นของสี โดยใช้สมการกราฟมาตรฐานของลีเยียม RR141

$$Y = 0.0172X + 0.0304$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง, X คือค่าความเข้มข้นของสี (mg/L)

ทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของสี = 35.33 mg/L

ข้อมูลที่ได้จากตาราง ง1 ตอนที่ 1

ก่อนการดูดซับ ค่าความเข้มข้นของสี = 43.99 mg/L

หลังการดูดซับ ค่าความเข้มข้นของสี = 35.33 mg/L

แสดงว่าตะกอนจุลินทรีย์ดูดซับลีเยียม RR 141 = $43.99 - 35.33 = 8.66$ mg/L

ในการทดลองใช้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ = 2000 mg/L

ดังนั้นความสามารถในการดูดซับสี = 4.33 mg/g-cell

II. COD

ก่อนการดูดซับ วัดค่า COD ได้ = 2000 mg/L

หลังการดูดซับ (ใช้ข้อมูลครั้งที่ 1) วัดค่า COD ได้ = 1080 mg/L

แสดงว่าตะกอนจุลินทรีย์ดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดี = $2000 - 1080 = 920$ mg/L

ในการทดลองใช้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ = 3000 mg/L

ดังนั้นความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในค่าของซีไอดี = 306.67 mg/g-cell

หมายเหตุ สำหรับผลการแปลผลของ BOD_5 ก็ทำนองเดียวกันกับ COD (โดยใช้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 3000 mg/L ทั้งนี้ผู้ช่วยวิจัยให้เหตุผลว่าค่าของ COD และ BOD_5 ให้ผลที่ต่ำจึงเพิ่มปริมาณตะกอนจุลินทรีย์)

ตาราง ง2 ตอนที่ 1 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม

สีย้อม	ครั้งที่	living bio-sludge (mg/L)				dead bio-sludge (mg/L)			
		Abs.	ความเข้มข้น	COD	BOD_5	Abs.	ความเข้มข้น	COD	BOD_5
reactive red141		0.762	42.53	2050	1220	0.762	42.53	2050	1220
	1	0.624	34.51	1155	680	0.657	36.43	1870	1130
	2	0.62	34.28	1200	665	0.648	35.91	1865	1120
reactive blue221		0.604	40.31	2050	1220	0.604	40.31	2050	1220
	1	0.462	30.65	1175	652	0.473	31.39	1880	1132
	2	0.456	30.24	1150	648	0.482	32.01	1875	1127

ตาราง ง2 (ต่อ) ตอนที่ 2 สำหรับตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานฟอกย้อม

สีย้อม	living bio-sludge (mg/g-cell)			dead bio-sludge (mg/g-cell)		
	สี	COD	BOD_5	สี	COD	BOD_5
reactive red141	4.01	298.33	180.00	3.05	60.00	30.00
	4.13	283.33	185.00	3.31	61.67	33.33
	4.07	290.83	182.50	3.18	60.83	31.67
	0.08	10.61	3.54	0.18	1.18	2.36
reactive blue221	4.83	291.67	189.33	4.46	56.67	29.33
	5.03	300.00	190.67	4.15	58.33	31.00
	4.93	295.83	190.00	4.30	57.50	30.17
	0.14	5.89	0.94	0.22	1.18	1.18



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก จ

ข้อมูลการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง
ต่อกระบวนการดูดซับ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ผลการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับจากตะกอนจุลินทรีย์

ตาราง จ1 ตอนที่ 1 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ค่า Abs ของ living bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11									
		pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11	
		Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง
reactive red141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	0.620	0.512	0.614	0.472	0.626	0.428	0.615	0.511	0.622	0.544
		0.620	0.520	0.614	0.465	0.626	0.423	0.615	0.515	0.622	0.550
	น้ำเสีย สังเคราะห์	0.620	0.485	0.614	0.420	0.626	0.398	0.615	0.510	0.622	0.542
		0.620	0.492	0.614	0.416	0.626	0.385	0.615	0.504	0.622	0.536
reactive blue221	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	0.548	0.409	0.556	0.375	0.542	0.347	0.546	0.445	0.552	0.438
		0.548	0.418	0.556	0.384	0.542	0.338	0.546	0.437	0.552	0.431
	น้ำเสีย สังเคราะห์	0.548	0.388	0.556	0.360	0.542	0.329	0.546	0.407	0.552	0.425
		0.548	0.395	0.556	0.372	0.542	0.322	0.546	0.415	0.552	0.419

ตาราง จ1 (ต่อ) ตอนที่ 2 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ผลของความเข้มข้น (mg/L) ของ living bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11										
		pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11		
		[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	
reactive red141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	34.28	28.00	33.93	25.67	34.63	23.12	33.99	27.94	34.40	29.86	
		34.28	28.47	33.93	25.27	34.63	22.83	33.99	28.17	34.40	30.21	
	น้ำเสีย สังเคราะห์	34.28	26.43	33.93	22.65	34.63	21.37	33.99	27.88	34.40	29.74	
		34.28	26.84	33.93	22.42	34.63	20.62	33.99	27.53	34.40	29.40	
	reactive blue221	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	36.50	27.05	37.04	24.73	36.09	22.83	36.36	29.50	36.77	29.02
			36.50	27.66	37.04	25.35	36.09	22.22	36.36	28.95	36.77	28.54
น้ำเสีย สังเคราะห์		36.50	25.62	37.04	23.71	36.09	21.61	36.36	26.91	36.77	28.14	
		36.50	26.10	37.04	24.53	36.09	21.13	36.36	27.46	36.77	27.73	

ตาราง จ1 (ต่อ) ตอนที่ 3 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภทตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการดูดซับดี (mg/g-cell) ของ living bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11				
		pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
reactive red141	น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	3.14	4.13	5.76	3.02	2.27
		2.91	4.33	5.90	2.91	2.09
	เฉลี่ย	3.02	4.23	5.83	2.97	2.18
	SD	0.16	0.14	0.10	0.08	0.12
	น้ำเสียสังเคราะห์	3.92	5.64	6.63	3.05	2.33
		3.72	5.76	7.01	3.23	2.50
	เฉลี่ย	3.82	5.70	6.82	3.14	2.41
	SD	0.14	0.08	0.27	0.12	0.12
reactive blue221	น้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	4.72	6.15	6.63	3.43	3.87
		4.42	5.85	6.94	3.70	4.11
	เฉลี่ย	4.57	6.00	6.78	3.57	3.99
	SD	0.22	0.22	0.22	0.19	0.17
	น้ำเสียสังเคราะห์	5.44	6.66	7.24	4.72	4.32
		5.20	6.26	7.48	4.45	4.52
	เฉลี่ย	5.32	6.46	7.36	4.59	4.42
	SD	0.17	0.29	0.17	0.19	0.14

ตาราง จ1 (ต่อ) ตอนที่ 4 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภทตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)				
		pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
RR 141	น้ำเสีย ตั้งเคราะห์ ที่มีสีย้อม	3.02±0.16	4.23±0.14	5.83±0.10	2.97±0.08	2.18±0.12
	น้ำเสีย ตั้งเคราะห์	3.82±0.14	5.70±0.08	6.82±0.27	3.14±0.12	2.41±0.12
RB 221	น้ำเสีย ตั้งเคราะห์ ที่มีสีย้อม	4.57±0.22	6.00±0.22	6.78±0.22	4.25±0.19	3.99±0.17
	น้ำเสีย ตั้งเคราะห์	5.32±0.17	6.46±0.29	7.36±0.17	4.59±0.19	4.42±0.14

ตาราง จ 2 ตอนที่ 1 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่ไม่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ค่า Abs ของ dead bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11										
		pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11		
		Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	
reactive red141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	0.620	0.430	0.614	0.458	0.626	0.483	0.615	0.521	0.622	0.565	
		0.620	0.426	0.614	0.451	0.626	0.476	0.615	0.516	0.622	0.558	
	น้ำเสีย สังเคราะห์	0.620	0.415	0.614	0.442	0.626	0.468	0.615	0.515	0.622	0.548	
		0.620	0.429	0.614	0.448	0.626	0.463	0.615	0.507	0.622	0.541	
	reactive blue221	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	0.548	0.370	0.556	0.384	0.542	0.408	0.546	0.436	0.552	0.462
			0.548	0.364	0.556	0.379	0.542	0.401	0.546	0.428	0.552	0.456
น้ำเสีย สังเคราะห์		0.548	0.358	0.556	0.372	0.542	0.394	0.546	0.425	0.552	0.450	
		0.548	0.352	0.556	0.368	0.542	0.387	0.546	0.427	0.552	0.442	

ตาราง จ2 (ต่อ) ตอนที่ 2 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่ไม่มีชีวิต (โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภท ตะกอน จุลินทรีย์	ผลของความเข้มข้น (mg/L) ของ dead bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11									
		pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11	
		[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง
reactive red141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	34.28	23.23	33.93	24.86	34.63	26.31	33.99	28.52	34.40	31.08
		34.28	23.00	33.93	24.45	34.63	25.91	33.99	28.23	34.40	30.67
	น้ำเสีย สังเคราะห์	34.28	22.36	33.93	23.93	34.63	25.44	33.99	28.17	34.40	30.09
		34.28	23.17	33.93	24.28	34.63	25.15	33.99	27.71	34.40	29.69
reactive blue221	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	36.50	24.39	37.04	25.34	36.09	26.97	36.36	28.88	36.77	30.65
		36.50	23.98	37.04	25.00	36.09	26.50	36.36	28.33	36.77	30.24
	น้ำเสีย สังเคราะห์	36.50	23.57	37.04	24.52	36.09	26.02	36.36	28.13	36.77	29.83
		36.50	23.16	37.04	24.25	36.09	25.54	36.36	28.27	36.77	29.29

ตาราง จ 2 (ต่อ) ตอนที่ 3 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่ไม่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภทตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการดูดซับดี (mg/g-cell) ของ dead bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3-11					
		pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11	
reactive red141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	5.52	4.53	4.16	2.73	1.66	
		5.64	4.74	4.36	2.88	1.86	
	เจลลี่	5.58	4.64	4.26	2.81	1.76	
		0.08	0.14	0.14	0.10	0.14	
	น้ำเสีย สังเคราะห์	เจลลี่	5.96	5.00	4.59	2.91	2.15
			5.55	4.83	4.74	3.14	2.35
		เจลลี่	5.76	4.91	4.67	3.02	2.25
			0.29	0.12	0.10	0.16	0.14
reactive blue221	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีย้อม	6.05	5.85	4.56	3.74	3.06	
		6.26	6.02	4.80	4.01	3.27	
	เจลลี่	6.16	5.94	4.68	3.88	3.16	
		0.14	0.12	0.17	0.19	0.14	
	น้ำเสีย สังเคราะห์	เจลลี่	6.46	6.26	5.03	4.12	3.47
			6.67	6.39	5.27	4.05	3.74
		เจลลี่	6.56	6.33	5.15	4.08	3.61
			0.14	0.10	0.17	0.05	0.19

ตาราง จ 2 (ต่อ) ตอนที่ 4 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
ที่ไม่มีชีวิต(โรงบำบัดน้ำเสียรวมสี่พระยา)

สีย้อม	ประเภทตะกอน จุลินทรีย์	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)				
		pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
reactive red141	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีข้อม	5.58±0.08	4.64±0.14	4.26±0.14	2.81±0.10	1.76±0.14
	น้ำเสีย สังเคราะห์	5.76±0.29	4.91±0.12	4.67±0.10	3.02±0.16	2.25±0.14
reactive blue221	น้ำเสีย สังเคราะห์ ที่มีสีข้อม	6.16±0.14	5.94±0.12	4.68±0.17	3.88±0.19	3.16±0.14
	น้ำเสีย สังเคราะห์	6.56±0.14	6.33±0.10	5.15±0.17	4.08±0.05	3.61±0.19

ผลการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อกระบวนการดูดซับจากตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อม จังหวัดสมุทรปราการ

ตาราง จ 3 ตอนที่ 1 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิต

สีย้อม	ค่า Abs ของ living bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11									
	pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11	
	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง
reactive red141	0.688	0.550	0.688	0.515	0.688	0.508	0.688	0.561	0.688	0.618
	0.688	0.554	0.688	0.520	0.688	0.502	0.688	0.556	0.688	0.615
reactive blue221	0.582	0.409	0.582	0.398	0.582	0.387	0.582	0.437	0.582	0.508
	0.582	0.418	0.582	0.402	0.582	0.383	0.582	0.439	0.582	0.505

ตาราง จ 3(ต่อ) ตอนที่ 2 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิต

สีย้อม	ผลของความเข้มข้น (mg/L) ของ living bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11									
	pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11	
	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง
reactive red141	38.23	30.21	38.23	28.17	38.23	27.77	38.23	30.85	38.23	34.16
	38.23	30.44	38.23	28.47	38.23	27.42	38.23	30.56	38.23	33.99
reactive blue221	38.81	27.05	38.81	26.30	38.81	25.55	38.81	28.95	38.81	33.78
	38.81	27.66	38.81	26.57	38.81	25.28	38.81	29.09	38.81	33.58

ตาราง จ 3 (ต่อ) ตอนที่ 3 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิต

สีย้อม	ความสามารถในการดูดซับ(mg/g-cell) ของ living bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11				
	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
reactive red141	4.01	5.03	5.23	3.69	2.03
เฉลี่ย	3.90	4.88	5.41	3.84	2.12
SD	0.08	0.10	0.12	0.10	0.06
reactive blue221	5.88	6.26	6.63	4.93	2.51
เฉลี่ย	5.57	6.12	6.77	4.86	2.62
SD	0.22	0.10	0.10	0.05	0.07

ตาราง จ 3 (ต่อ) ตอนที่ 4 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่มีชีวิต

สีย้อม	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)				
	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
reactive red141	3.95±0.08	4.96±0.10	5.32±0.12	3.76±0.10	2.08±0.06
reactive blue221	5.73±0.22	6.19±0.10	6.70±0.10	4.89±0.05	2.56±0.07

ตาราง จ 4 ตอนที่ 1 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่ไม่มีชีวิต

สีย้อม	ค่า Abs ของ dead bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11									
	pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH 11	
	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง	Abs ก่อน	Abs หลัง
reactive red141	0.688	0.513	0.688	0.523	0.688	0.545	0.688	0.585	0.688	0.615
	0.688	0.515	0.688	0.520	0.688	0.542	0.688	0.587	0.688	0.612
reactive blue221	0.582	0.430	0.582	0.442	0.582	0.458	0.582	0.495	0.582	0.528
	0.582	0.425	0.582	0.445	0.582	0.461	0.582	0.498	0.582	0.523

ตาราง จ 4 (ต่อ) ตอนที่ 2 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่ไม่มีชีวิต

สีย้อม	ผลของความเข้มข้น (mg/L) ของ dead bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11									
	pH 3		pH 5		pH 7		pH 9		pH11	
	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง	[] ก่อน	[] หลัง
reactive red141	38.23	28.06	38.23	28.64	38.23	29.92	38.23	32.24	38.23	33.99
	38.23	28.17	38.23	28.47	38.23	29.74	38.23	32.36	38.23	33.81
reactive blue221	38.81	28.47	38.81	29.29	38.81	30.37	38.81	32.89	38.81	35.14
	38.81	28.13	38.81	29.49	38.81	30.58	38.81	33.10	38.81	34.80

ตาราง จ 4 (ต่อ) ตอนที่ 3 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่ไม่มีชีวิต

สีย้อม	ความสามารถในการดูดซับ(mg/g-cell) ของ dead bio-sludge ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3-11				
	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
reactive red141	5.09	4.80	4.16	2.99	2.12
	5.03	4.88	4.24	2.94	2.21
	5.06	4.84	4.20	2.97	2.17
	0.04	0.06	0.06	0.04	0.06
reactive blue221	5.17	4.76	4.22	2.96	1.84
	5.34	4.66	4.12	2.86	2.01
	5.26	4.71	4.17	2.91	1.92
	0.12	0.07	0.07	0.07	0.12

ตาราง จ 4 (ต่อ) ตอนที่ 4 ผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับ สำหรับตะกอนจุลินทรีย์
โรงงานฟอกย้อมที่ไม่มีชีวิต

สีย้อม	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g-cell)				
	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11
reactive red141	5.06±0.04	4.84±0.06	4.20±0.06	2.97±0.04	2.17±0.06
reactive blue221	5.26±0.12	4.71±0.07	4.17±0.07	2.91±0.07	1.92±0.12

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

BOD ₅	=	Biological Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
C.I.	=	Colour Index
RR 141	=	สีช้อม Reactive Red 141
RB 221	=	สีช้อม Reactive Blue 221
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids
MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TS	=	Total Solids
TSS	=	Total Suspended Solids
TVS	=	Total Volatile Solids
Adsorption	=	การดูดติดผิว
Adsorption Isotherm	=	ไอโซเทอมการดูดติดผิว
Adsorption Capacity	=	ความสามารถในการดูดซับ
Sorption	=	การดูดซับ
ก.	=	กรัม
มก.	=	มิลลิกรัม
มก./ก-เซลล์	=	มิลลิกรัมต่อกรัม-เซลล์
ล.	=	ลิตร
มล.	=	มิลลิลิตร
ซม.	=	เซนติเมตร
ตร.ซม.	=	ตารางเซนติเมตร
ลบ.ซม.	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
%	=	ร้อยละ