การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

นางสาวจีรานุช ทวนทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF REACTIVE DYE WASTEWATER BY CHEMICAL COAGUALATION

Miss Jeeranuch Thuanthong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี
โดย	นางสาวจีรานุช ทวนทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิสุทธิ์ เพียรมนกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. ผานิต รัตสุข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จีรานุช ทวนทอง : การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (Removal of Reactive dye Wastewater by Chemical Coagulation) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 210 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Modified Polyaluminium chloride, PACl) ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (Aluminumchlorohydrate, ACH) ปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก และปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ น้ำเสียสังเคราะห์ที่นำมาทดลองเป็นสีย้อมรีแอกทีฟที่มีโทนสีแตกต่างกัน ได้แก่ โทนสีน้ำเงิน โทนสีแดง และโทนสีเหลือง ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟทั้ง 3 โทนสีคือ 30 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีโทนสีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลืองร้อยละ 92.05 93.65 และ 93.42 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโทนสีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลืองร้อยละ 59.30 69.45 และ 72.55 ตามลำดับ ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสมของน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟทั้งสามโทนสี คือ 70 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดสีโทนสีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลืองร้อยละ 95.70 95.32 และ 94.29 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโทนสีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลืองร้อยละ 92.52 86.05 และ 60 ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.43 และ 1.41 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม.ผลของโพลีเมอร์ประจุบวกและประจุลบพบว่าโพลีเมอร์สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิดลงได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดี

ผลการทดลองเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้น้ำเสียจากหม้อต้มย้อม น้ำล้างจากหม้อต้มย้อม น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว พบว่าอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์สามารถกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียรวมก่อนบำบัดได้ดีสุดที่ความเข้มข้น 50 มก./ล.โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 91.66-94.66 และ 62.99-76.33 ตามลำดับ ในกรณีน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิด ใช้ปริมาณสารเพียงเล็กน้อยที่ 10 มก./ล.สามารถช่วยกำจัดของแข็งละลายน้ำให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 27.97 และ 28.41 บาท/ลบ.ม. บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....จีรานุช ทวนทอง.....

สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553.....

5070546221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : COLOR REMOVAL / TEXTILE WASTEWATER / CHEMICAL COAGULATION / ALUMINUM CHLOROHYDRATE / POLYALUMINUM CHLORIDE

JEERANUCH THUANTHONG : REMOVAL OF REACTIVE DYE WASTEWATER BY CHEMICAL COAGULATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 210 pp.

This research aimed to study the effect of parameter that impact on factor reactive dye efficiency remove from wastewater by chemical coagulation. The study parameter are pH, quantity of polyaluminium chloride and Aluminum chlorohydrate, quantity of cationic polymer and anionic polymer. The synthesis wastewater in this research is prepared from 3 tones of reactive dye such as blue, red and yellow. The result showed that the optimum quantity of polyaluminium chloride (PACl) for color removal of such reactive dye is 30 mg/l. The Highest color removal efficiency of blue tone, red tone and yellow tone were 92.05 93.65 and 93.42 respectively. COD removal efficiency of blue, red and yellow tone was 59.30 69.45 and 72.55 respectively. Aluminum chlorohydrate (ACH) at concentrated of 70 mg/L was the optimum value for color removal of blue, red and yellow tone were 95.70 95.32 and 94.29 respectively. While efficiency of COD removal of blue, red and yellow tone was 92.52 86.05 and 60 respectively. Chemical cost for PACl and ACH were 0.43 and 1.43 baht per 1 m^3 respectively. The use of cationic and anionic polymer with such coagulant. Could reduce quantity of coagulant and also increase removal reactive dye and COD removal efficiency.

From result of using PACl and ACH with textile processing wastewater such as dyeing wastewater, dye washing wastewater, equalization wastewater and biological treated wastewater. It was shown that ACH and PACl dose of 50 mg/l could remove reactive dye and COD from wastewater range of 91.66-94.66 and 62.99-76.33 respectively. In case of biological treated wastewater, ACH and PACl at concentration of 10 mg/l could remove TDS under industrial wastewater standard. Chemical cost was 27.97 and 28.41 baht per 1 m^3 of raw water, respectively.

Department : Environmental Engineering Student's Signature Jeeranuch Thuanthong

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ดร.ผานิต รัตสุข และ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่งในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่เอื้ออำนวยความสะดวกช่วยเหลือด้านเอกสารและการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้ประสบความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…….... จ

กิตติกรรมประกาศ……. ฉ

สารบัญ…….. ช

สารบัญตาราง……. ฎ

สารบัญภาพ……... ฏ

บทที่ 1 บทนำ……. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย……... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย……... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…… 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 4

2.1 กรรมวิธีการผลิต……. 4

2.1.1 การเตรียมผ้าก่อนการย้อม……... 5

2.1.2 กระบวนการย้อม……...…….. 8

2.1.3 การมองเห็นสี……..…… 9

2.1.4 การจำแนกสีย้อม……. 10

2.1.5 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ……... 16

2.1.6 กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสี (Chromophore)…….. 17

2.1.7 กลุ่มสีรีแอกทีฟ (Reactive Group)…….. 18

2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม……... 19

2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม ……... 19

2.2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม……. 20

2.3 การกำจัดสีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม ……...…… 22

2.3.1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ……..……. 21

2.3.2 การกำจัดสีโดยกระบวนการทางเคมี…….……... 23

2.3.3 การกำจัดสีโดยกระบวนการทางชีวภาพ…….. 24

2.3.4 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม…….. 25

2.4 อนุภาคคอลลอยด์…….…….. 28

บทที่ หน้า

2.4.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์…….. 29
2.4.2 Electric Double Layer Theory…….. 30
2.4.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์…… 32
2.5 กระบวนการตกตะกอน (Coagulation)……... 33
2.5.1 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ ……. 33
2.5.2 ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบกัน……... 37
2.5.3 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร…… 39
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตัวกันตกตะกอน……. 39
2.6.1 ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ…… 38
2.6.2 อุณหภูมิ……... 40
2.6.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ……...…… 40
2.6.4 พีเอชที่เหมาะสม……...…… 40
2.6.5 ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอนและรวมตะกอน…….. 40
2.6.6 เกลือของสารละลาย……...……. 40
2.6.7 ระดับความขุ่นในน้ำ……...…….. 40
2.6.8 เวลาและความแรงในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว…… 41
2.7 การเลือกใช้สารเคมีในการตกตะกอน……. 41
2.7.1 การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน…… 41
2.7.2 การใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน…… 44
2.7.3 การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตเป็นสารตกตะกอน…...……... 47
2.7.4 สารตกตะกอนอื่นๆ …..…….. 47
2.8 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aid)…… 49
2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน…….. 50
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 51
2.10.1 Aluminium chlorohydrate (ACH)…… 51
2.10.2 Polyaluminium chloride(PACl)…… 53
2.10.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดสีย้อมโดยวิธีอื่น……... 54
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย……... 59
3.1 สถานที่ทำการทดลอง……. 59
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย……. 59

บทที่ หน้า

3.3 ผังการไหลการดำเนินการทดลอง…….…….. 60
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย……..... 61
3.4.1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสม(น้ำเสียสังเคราะห์)…… 62
3.4.2 การศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม(น้ำเสียสังเคราะห์) …… 62
3.4.3 การศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม(น้ำเสียสังเคราะห์)….. 65
3.4.4 การศึกษาความเข้มข้นสีที่เหมาะสม(น้ำเสียสังเคราะห์)…….. 65
3.4.5 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสม(ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม)……. 70
3.4.6 การศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม
(ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม)……. 70
3.4.7 การศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม
(ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม)……. 73
3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย…… 75
3.6 คำนวณค่าสารเคมีขั้นต้น……...,… 76
3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์……. 76
3.8 การวัดสี ……. 76
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล…… 77
4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น
100 มิลลิกรัม/ลิตร…… 77
4.2 คุณสมบัติของน้ำเสียจริงจากโรงงานไทยอินเตอร์คอตตอน……... 78
4.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม
รีแอกทีฟด้วยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…… 79
4.3.1 การเปรียบเทียบการกำจัดสีและซีโอดี……. 79
4.3.1.1 ผลของการศึกษาพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์…….. 79
4.3.1.2 ผลการศึกษาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต……. 86
4.3.1.3 ผลของชนิดและความเข้มข้นของโพลิเมอร์…….. 92
4.3.1.4 ผลของชนิดและความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ…… 103
4.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำ
ของสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิด……... 113
4.3.3 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี……. 115

บทที่ หน้า

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจริงจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…….. 117
4.4.1 การเปรียบเทียบการกำจัดสีและซีโอดี……. 117
4.4.1.1 น้ำเสียจากหม้อต้มย้อม……... 117
4.4.1.2 น้ำเสียจากหม้อล้าง……..……... 119
4.4.1.3 น้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัด……. 116
4.4.1.4 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว…….. 124
4.5 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี…….. 125
4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ กับน้ำเสียจริง..... 126
4.7 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนเคมี..... 133
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ…….. 135
5.1 สรุปผลการทดลอง…… 135
5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และ ของแข็งละลายน้ำน้ำเสียสังเคราะห์รีแอกทีฟโดยใช้สารสร้างตะกอนอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……... 135
5.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และ ของแข็งละลายน้ำน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ สรุปได้ดังนี้…….. 135
5.2 ข้อเสนอแนะ……... 136
รายการอ้างอิง……. 137
ภาคผนวก…….. 142
ภาคผนวก ก ผลการทดลองน้ำสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ..... 143
ภาคผนวก ข ผลการทดลองน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม..... 180
ภาคผนวก ค มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน..... 205

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 210

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	จุดมุ่งหมายของการเตรียมผ้า……	8
2.2	การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน……	15
2.3	แสดงเปอร์เซนต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟ แบ่งตามโทนสีต่างๆ.....	17
2.4	ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอประเภทต่างๆ……..	21
2.5	สรุปเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางเคมีจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในปัจจุบัน……	27
2.6	ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีโอดีความเป็น……	57
3.1	รายละเอียดของสีรีแอกทีฟแต่ละประเภท……	60
3.2	ค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์……..	75
3.3	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ……..	76
4.1	แสดงคุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร …….....	77
4.2	แสดงคุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งของโรงงานไทยอินเตอร์ คอตตอน……..	78
4.3	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……..	81
4.4	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……..	82
4.5	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……..	83
4.6	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงที่พีเอชเหมาะสม...	88
4.7	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินที่พีเอชเหมาะสม…..	89
4.8	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองที่พีเอชเหมาะสม.....	90

ตารางที่		หน้า
4.9	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวก……	96
4.10	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แลโพลีเมอร์ประจุลบ……....	97
4.11	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินอะลูอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวก…...	98
4.12	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุลบ…….	99
4.13	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวก……	100
4.14	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ และโพลีเมอร์ประจุลบ……	101
4.15	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล. …….	107
4.16	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล. …….	108
4.17	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 และ20 มก./ล .ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล. ……...	109
4.18	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ20 มก./ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล. ……...	110
4.19	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล. ……	111
4.20	ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองความเข้มข้นต่างๆด้วย อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50และ20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.…….	112

ตารางที่		หน้า
4.21	สรุปปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ……	117
4.22	สรุปสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีน้ำเสียรวมจากโรงงานฟอกย้อม……..	129
4.23	ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยอื่นๆ…….	131
4.24	ผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่อง FTIR……..	132

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ภาพรวมอุตสาหกรรมสิ่งทอ……..	4
2.2	ปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Substitution……...	18
2.3	ปฏิกิริยาแบบ Necleophilic Addition……	19
2.4	ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการวิจัย…….	26
2.5	การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ……...	28
2.6	ที่มาของประจุไฟฟ้าของอนุภาคดินเหนียว……...	29
2.7	โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory……	31
2.8	แรงระหว่างอนุภาคทั้งสอง……...	32
2.9	แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ……	32
2.10	ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์ (a) ก่อนเติมไอออน (b) หลังจากการเติมไอออนแล้ว.....	33
2.11	การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ……	34
2.12	กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมด้วยโพลิเมอร์……...	37
2.13	เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคต่างๆ.....	38
2.14	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการเกิดกระบวนการตกตะกอน……...	39
2.15	แสดงแบบจำลองวิถีทางอะลูมิเนียมในน้ำ.....	43
2.16	โครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PACl……..	45
2.17	โครงสร้างของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต……	47
3.1	แผนผังการดำเนินการทดลอง.....	61
3.2	แผนผังการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม……	63
3.3	แผนผังการศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม……	64
3.4	แผนผังการศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม.....	66
3.5	แผนผังการศึกษาการปรับเปลี่ยนความเข้มสีที่เหมาะสม……..	67
3.6	แผนผังการทดลองการตกตะกอนทางเคมีกับน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม.....	69
3.7	แผนผังการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม……	71
3.8	แผนผังการศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม.....	72

ภาพที่		หน้า
3.9	แผนผังการศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม……..	74
4.1	น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร…….	77
4.2	น้ำจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งจากโรงงานไทยอินเตอร์คอตตอน……..	78
4.3	ร้อยละการกำจัดสี ซีโอดีน้ำ และของแข็งละลายน้ำ น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมแอกทีฟที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์	85
4.4	พีเอชและค่าของแข็งละลายน้ำหลังตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…….	86
4.5	ก)ประสิทธิภาพการกำจัดสี ข)ค่าซีตาโพเทนเชียล โดยใช้สารเฟอร์ริกคลอไรด์ตกตะกอนสีรีแอกทีฟ blue 49 at pH 7 และ yellow 84 at pH 6	92
4.6	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…….....	93
4.7	ร้อยละการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก……...	103
4.8	ร้อยละการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ…….	104
4.9	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีเริ่มต้น……	113
4.10	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีเริ่มต้น……..	114
4.11	สรุปประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภทสีต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต……...	116
4.12	สรุปประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภทสีต่างๆ ด้วยโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…….	116
4.13	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อต้มย้อมที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……...	120

ภาพที่		หน้า
4.14	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อต้มย้อมหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……..	120
4.15	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อล้างที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…….	121
4.16	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อล้างหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ……..	122
4.17	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์…….	124
4.18	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……..	124
4.19	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดร่วมด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับโพลิเมอร์ประจุบวก……..	125
4.20	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดร่วมด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับโพลิเมอร์ประจุลบ…….	125
4.21	ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์……	126
4.22	สรุปผลการทดลองของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม……..	130
4.23	สรุปค่าใช่จ่ายสารเคมีสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม……..	130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญในการนำเข้าเงินตราต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเครื่องนุ่งห่มเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์

กระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นสารเคมี ไม่ว่าจะเป็นสีย้อม กรด ด่าง สารปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ เช่น สารตกแต่ง สารฟอกขาว เป็นต้น และสิ่งที่ขาดไม่ได้ก็คือน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมและพิมพ์ผ้าที่ต้องใช้ในปริมาณที่มาก เพื่อให้ได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่มีสีสันสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อม ตลอดจนความพอใจ ความรู้สึกของผู้บริโภค ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจึงเกิดขึ้นจากน้ำและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมและกระบวนการพิมพ์ผ้า น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจึงมีทั้งสี สารแขวนลอย น้ำมัน และของเสียไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ ปนเปื้อนออกมา นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิที่สูง มีสภาพเป็นด่าง มีกลิ่นแรงและสีน่ารังเกียจ เมื่อน้ำเสียที่มีสีถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (หรือสิ่งแวดล้อม) จะทำลายความสวยงามของธรรมชาติแล้วยังทำให้สมดุลทางธรรมชาติเสียไปอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสีที่พบในน้ำเสียซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์จะไปบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ ส่งผลกระทบให้พืชที่อยู่ในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ส่งผลให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในน้ำลดลง ซึ่งมีผลให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำอาจตายได้ น้ำเสียก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะควรจะต้องมีกระบวนการกำจัดหรือบำบัดน้ำก่อนเพื่อลดปริมาณสีและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ นับเป็นการป้องกันหรือแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ (สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2550) จากการศึกษาเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดใหญ่ พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาและระบบเติมสารเคมีอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือควบคู่กันไปด้วยกันสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์และสารแขวนลอยได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่สีจากการย้อมผ้าชนิดต่างๆ ยังคงเหลืออยู่ในน้ำ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์,2522)

การกำจัดสีในน้ำเสีย ต้องพิจารณาถึงลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้นๆ ควบคู่กันไป เช่น สีย้อม ปริมาณสารเคมีและส่วนประกอบของน้ำเสีย เป็นต้น วิธีการกำจัดสีสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การบำบัดทางชีวภาพ การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนทางเคมี การกรอง การดูดติดผิว การใช้โอโซน เป็นต้น ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการใดที่ประหยัดและดีที่สุดในการกำจัดสีของน้ำเสียนอกจากปัญหาสีและสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียแล้ว ยังพบว่าน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ยังมีปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงด้วย ซึ่งการบำบัดด้วยวิธีทางเคมีทั่วไปพบว่าต้องมีการปรับพีเอชของน้ำเสียให้เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้และอาจมีผลทำให้ค่าของแข็งละลายน้ำในน้ำหลังการบำบัดสูงขึ้นด้วยซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำหลังการบำบัด งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีและ ซีโอดี จากน้ำเสียฟอกย้อมโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการเพิ่มของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียหลังบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์
2. ศึกษาผลของพีเอช ชนิดและปริมาณโพลีเมอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วย สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์
3. ศึกษาผลของสารตกตะกอนต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำหลังการบำบัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. การทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีย้อมรีแอคทีฟ ที่มีโครงสร้างสี 3 ประเภท ได้แก่ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง
3. น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมมีทั้งน้ำทิ้งจากหม้อย้อม น้ำเสียรวมและน้ำที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพแล้ว
4. การวิจัยกระทำโดยใช้อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar Test) สารตกตะกอนที่ใช้ในการวิจัยนี้คืออะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต(Aluminum Chlorohydrate, ACH) และโพลีอะลูมิเนียมครอไรด์(Polyaluminiumchloride,PACl) โดยปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณสารช่วยตกตะกอน(polymer) 2 ชนิด คือโพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ
5. พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช ความเข้มสี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำ และปริมาณตะกอน ฯลฯ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

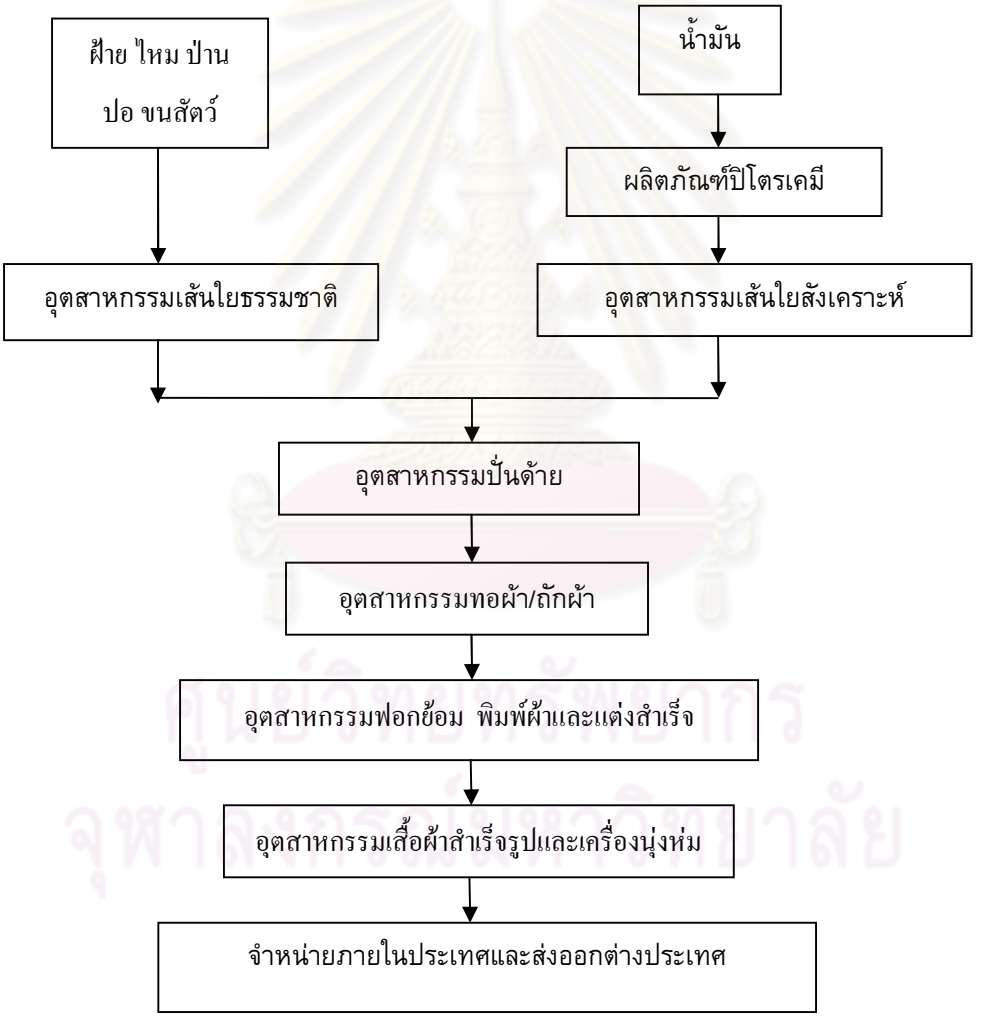
เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีทั้งในด้านประสิทธิภาพและต้นทุนในการกำจัดสีน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการผลิต

โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยมีลักษณะครบวงจร ครอบคลุมตั้งแต่อุตสาหกรรมเส้นใย อุตสาหกรรมปั่นด้าย อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า อุตสาหกรรมฟอกย้อม พิมพ์และแต่งสำเร็จ และอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ดังนั้นอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้าจัดเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอดังกล่าว ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปผลิตหรือจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไปได้ ดังรูป 3.1



รูปที่ 2.1 ภาพรวมอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ที่มา : คู่มือการกำกับดูแลอุตสาหกรรมฟอกย้อม,2551โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามวัตถุดิบ ดังนี้

1. การฟอกย้อมเส้นใย หรือเส้นด้าย
2. การฟอกย้อมผ้าทอ
3. การฟอกย้อมผ้าถัก

สำหรับโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 5 กระบวนการหลัก ดังนี้

1. กระบวนการเตรียมวัสดุก่อนย้อม เช่น การเผาขน การลอกแป้ง การขจัดสิ่งสกปรก การฟอกขาว และการชุบมัน เป็นต้น
2. กระบวนการให้สี เช่น การย้อม และการผนึกสี เป็นต้น
3. กระบวนการอบแห้งและการตกแต่งสำเร็จ
4. กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ
5. กระบวนการบรรจุ

2.1.1 การเตรียมผ้าก่อนการย้อม

กระบวนการเตรียมผ้า นับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากการฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้เพราะขั้นตอนนี้เป็นการนำเส้นด้ายหรือผ้าดิบออกจากโรงปั่นหรือทอ มาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้านั้นให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จได้เป็นอย่างดี

ขั้นตอนในการเตรียมผ้าโดยทั่วไปมี 5 ขั้นตอน คือ

1) การเผาขน (singeing)
2) การลอกแป้ง (desizing)
3) การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring)
4) การฟอกขาว (bleaching)
5) การชุบมัน (mercerization)

1) การเผาขน (singeing)

ปกติผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนจะประกอบด้วยเส้นใยสั้น จึงมักพบว่ามีปลายเส้นใยโผล่ออกมาบนผิวผ้า และส่วนนี้เองที่มีผลทำให้ผ้าติดไม่สม่ำเสมอ และสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการเผาขนหรือเส้นใยสั้นๆ ที่โผล่ออกมาบนผิวผ้า การเผาขนมี 3 วิธี ได้แก่ การใช้เปลวก๊าซ แผ่นโลหะความร้อน และไฟฟ้า (เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, 2541) แต่การเผาขนด้วยเปลวก๊าซเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เพราะมีประสิทธิภาพสูงและการเดินเครื่องจักรก็ง่ายกว่าวิธีอื่น การเผาขนอาจเผาขนผ้าทั้งสองด้านหรือเผาแต่เพียงด้านเดียวก็ได้ การเผาขนขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของผ้า และจุดมุ่งหมายของการนำผ้านั้นไปใช้งาน อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญก็คือ ต้องเผาให้ขนไหม้สม่ำเสมอทั่วกันทั้งผืนผ้า และไม่ใช้ความร้อนสูงจนกระทั่งเส้นใยเสื่อมคุณภาพ นอกจากนี้ถ้าจะให้ได้ผลดีที่สุดต้องทำการเผาขนหลังจากการลอกแป้ง จึงจะกำจัดเส้นใยสั้นที่โผล่บนผิวผ้าได้สม่ำเสมอ แต่ในทางปฏิบัติมักทำ

การเผาขนก่อนการลอกแป้ง ทั้งนี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขนจะมีผลต่อพีเอชของน้ำในขั้นตอนต่อไปที่มีการใช้น้ำในกระบวนการ เช่น การลอกแป้ง การกำจัดสิ่งสกปรก เป็นต้น

2) การลอกแป้ง (desizing)

ในขั้นตอนการทอผ้าจำเป็นต้องมีการลงแป้งเพื่อทำให้ด้ายยืนแข็ง และทอได้ง่ายขึ้น นอกจากจะใช้แป้งแล้วยังมีการนำสารสังเคราะห์ซึ่งเรียกว่าสารไซซิง (sizing agent) เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol; PVA) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxyl methyl cellulose; CMC) โพลีอะไครลิก (polyacrylic) เป็นต้น แป้งหรือสารไซซิงข้างต้นจำเป็นต้องมีการกำจัดออกก่อนเพื่อทำให้การทำความสะอาดเส้นใยในขั้นตอนต่อไปได้ผลดี การลอกแป้งอาจทำโดยนำผ้าแช่น้ำร้อนให้เส้นใยพองตัว เพื่อทำให้สารช่วยย่อย (เอนไซม์) เข้าไปทำปฏิกิริยากับแป้งบนเส้นใยได้ง่าย ซึ่งทำให้แป้งหลุดออกจากเส้นใยและอยู่ในน้ำทิ้งของกระบวนการ วิธีนี้จะทำให้การเอาแป้งออกได้ผลดีโดยเฉพาะเมื่อใช้วิธีเอาแป้งออกแบบต่อเนื่อง (เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, 2541)

กระบวนการลอกแป้งสามารถกระทำได้ด้วยวิธีอื่นๆ อีก นอกจากวิธีการต้มด้วยสารช่วยย่อยดังที่ได้กล่าวข้างต้น คือ แช่และหมักด้วยกรด (acid-steeping) แช่และหมักด้วยเชื้อต่างๆ (rot-steeping) และการใช้สารออกซิไดซ์ซิง (oxidizing agent) (สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ, 2525) ดังนั้นสารเคมีที่นิยมใช้ในการลอกแป้งมี 2 ประเภท คือ สารลอกแป้งประเภทเอนไซม์และสารลอกแป้งประเภทออกซิไดซ์ซิง สารลอกแป้งแต่ละประเภทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ทั้งนี้ต้องเลือกให้เหมาะสมจึงจะทำการลอกแป้งได้ผลดีที่สุด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้สารลอกแป้ง ได้แก่ ชนิดของสารไซซิง ชนิดของเครื่องจักร กรรมวิธีการผลิต สารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ร่วม เป็นต้น ประโยชน์ของการลอกแป้งมีดังนี้คือ ทำให้ผ้าเปียกน้ำได้ดีและสม่ำเสมอขึ้น เป็นผลให้กระบวนการผลิตในขั้นต่อไปมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประหยัดเวลาและสารเคมี และทำให้ผ้านุ่ม ไม่หยาบกระด้าง

3) การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring)

การทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่ติดบนเนื้อผ้าเป็นขั้นตอนที่จำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะผ้าฝ้ายหรือเส้นใยธรรมชาติ เพื่อทำให้เส้นใยสะอาดและบริสุทธิ์ ช่วยให้สีย้อมสามารถซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น วิธีการทำความสะอาดมีหลายวิธี เช่น การต้มในหม้อเคียร์ (kier boiling) การอัดสารเคมีแล้วอบไอน้ำ (pad steam) แบบต่อเนื่องโดยการรวมถังซักหลายๆ ถังและที่อบไอน้ำแบบถังรูปตัวเจ (j-box) หรือรูปตัวยู (u-box) เข้าด้วยกัน

การกำจัดสิ่งสกปรกในเส้นใยฝ้ายจะมีกรรมวิธียุ่งยากกว่าเส้นใยประดิษฐ์ เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีสิ่งสกปรกตามธรรมชาติปนเปื้อน ได้แก่ สารขี้ผึ้ง (wax) ขี้ผึ้งเทียม (wax-like substance) แพคติน โปรตีน เศษใบไม้ เปลือกเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ส่วนเส้นใยประดิษฐ์ (เช่น โพลีเอสเทอร์ไนลอน) มีความสกปรกน้อยกว่าเส้นใยฝ้าย และสิ่งสกปรกจากเส้นใยเหล่านี้ส่วนมากเป็นสาร

หล่อลื่นที่ถูกเติมเข้าไปในช่วงปั่นด้ายและทอเป็นผ้าผืน จึงสามารถกำจัดได้ง่ายกว่าเส้นใยฝ้าย เพียงแค่การต้มด้วยสบู่หรือเพิ่มโซดาแอชอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4) การฟอกขาว (bleaching)

เป็นขั้นตอนของการขจัดสีที่มีอยู่บนเส้นใย ส่วนใหญ่ติดมาตามธรรมชาติหรือจากการปนเปื้อนที่เกิดในขั้นตอนการปั่นหรือการทอ ซึ่งหลังจากทำความสะอาดแล้วจะยังคงมีสีและวัสดุเจือปนอื่นๆ เหลืออยู่ในผ้า การฟอกขาวจะทำให้สิ่งเหล่านั้นสลายตัวหรือลดน้อยลง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การฟอกขาวสมบูรณ์ การฟอกขาวเพื่อนำไปย้อมกึ่งฟอกขาว เป็นต้น

การฟอกขาวมีความจำเป็นเฉพาะกับผ้าที่จะนำไปทำเป็นผ้าขาวและผ้าย้อมสีอ่อนเพื่อให้ได้ความขาวหรือได้สีที่สดใส สำหรับผ้าที่นำไปย้อมสีเข้มอาจไม่จำเป็นต้องฟอกขาวก็ได้ สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งค่อนข้างสะอาดและขาวอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องฟอกขาวก็ได้ ยกเว้นกรณีที่ต้องการนำไปทำเป็นผ้าขาว

สารฟอกขาวที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide; H_2O_2) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium Hypochlorite; NaOCl) และโซเดียมคลอไรต์ (Sodium Chlorite; $NaClO_2$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคลอรีนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้สารคลอรีนจะทำให้เส้นใยเปราะและเหลืองได้เพราะยังคงมีคลอรีนเหลือค้างอยู่ ตรงกันข้ามถ้าฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้เส้นใยเสียหายน้อย เส้นใยขาวสะอาดทนทานกว่า และวิธีฟอกก็ง่ายกว่าด้วย

การฟอกขาวที่สมบูรณ์ให้ผลดังนี้ คือ จะได้ผ้าที่มีความขาวอย่างสม่ำเสมอและถาวรเมื่อเก็บไว้นานๆ ผ้าไม่กลับเป็นสีเหลือง ผ้าที่ฟอกแล้วต้องมีการดูดซึมสีย้อมและสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งต้องไม่ทำให้ผ้าเปื่อย การฟอกขาวเส้นใยให้ได้ผลดีจะต้องมีสภาวะดังต่อไปนี้ คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานพอ มีการยึดตัวต่ำและสามารถหดตัวกลับได้อย่างอิสระในระหว่างการฟอก ผ้าจะต้องมีการคลี่ตัวออกเพื่อป้องกันการยับ (โดยเฉพาะเส้นใยโพลีเอสเตอร์) และจะต้องมีมาตรฐานเดียวกันในกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ

5) การชุบมัน (mercerization)

การชุบมันหรือเมอร์เซอไรซ์เป็นการเพิ่มความเงามันให้กับเส้นด้ายและผ้า ซึ่งส่วนใหญ่มักกระทำกับเส้นใยฝ้ายและลินินหลังขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวมาแล้ว โดยนำผ้ามาอัดด้วยสารละลายโซดาไฟเข้มข้น (ร้อยละ 15-30) ให้ซึมเข้าไปภายในทั้งที่ผ้ายังถูกดึงให้ตึงอยู่ ซึ่งในทางปฏิบัติกระทำได้โดยแช่ผ้าให้จมอยู่ในสารละลายโซดาไฟ แล้วผ่านลูกกลิ้งบีบน้ำออก

หลังจากผ่านขั้นตอนการชุบมันแล้ว สมบัติทางเคมีของฝ้ายไม่เปลี่ยนแปลง แต่

สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป คือ ทำให้ลักษณะบิดเป็นเกลียวของเส้นใยคลายตัวกลับมาเป็นเส้นเรียบ ระนาบมีความเสถียรและมีความคงทนมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้เส้นใยส่วนที่เป็นผลึกมีการขยายตัวและหลวมมากขึ้น มีผลทำให้การดูดซึมสีย้อมและสารเคมีดีขึ้นในขั้นตอนต่อไป

สามารถสรุปจุดมุ่งหมาย วิธีการและสารเคมีของการเตรียมผ้าได้โดยแสดงในตารางที่2.1

ตารางที่ 2.1 จุดมุ่งหมายของการเตรียมผ้า

ขั้นตอน	จุดมุ่งหมาย	วิธีการและสารเคมี
เผาขน	กำจัดขนหรือเส้นใยที่โผล่เหนือผ้า	เปลวไฟ แผ่นความร้อน
ลอกแป้ง	ย่อยและกำจัดแป้ง ทำให้เส้นใยพองตัว	เอนไซม์ สารออกซิไดซ์ซิง
กำจัดสิ่งสกปรก	กำจัดสิ่งสกปรก ทำให้สีซึมเข้าไปในเส้นใยมากขึ้น	น้ำสบู่
ฟอกขาว	กำจัดสารมีสี ทำให้ผ้าขาวขึ้น	โซดาไฟ น้ำสบู่
ชุบมัน	ทำให้เส้นใยพองตัวอย่างสม่ำเสมอ และสามารถดูดซึมสีย้อมได้ดีขึ้น	สารออกซิไดซ์ซิง โซดาไฟเข้มข้น

ที่มา : เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, 2541

2.1.2 กระบวนการย้อม

2.1.2.1 การย้อมสี

กรรมวิธีในการย้อมผ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การย้อมในหม้อย้อมแบบครั้งคราว และย้อมแบบต่อเนื่องในเครื่องย้อม การย้อมแบบเป็นครั้งคราวนั้นให้ปริมาณน้ำเสียน้อยแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกสูง ส่วนเครื่องย้อมแบบต่อเนื่องให้ผลตรงกันข้ามเนื่องจากกรรมวิธีการย้อมแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน ทางด้านตัวสีย้อม สารช่วยย้อม และความสามารถติดสีบนเนื้อผ้าเป็นต้น จึงทำให้มีปริมาณสารมลพิษที่ติดมากับน้ำย้อมแตกต่างกัน การย้อมที่มีประสิทธิภาพ คือ การย้อมให้ผ้ามีสีสม่ำเสมอเท่ากันตลอด สีย้อมต้องติดเส้นใยเข้าไปถึงภายในและต้องทนทานต่อการซักล้างไม่หลุดออกได้ง่าย

2.1.2.2 สีย้อม

สีย้อมมีหลายชนิด การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ การเกิดสภาวะนี้เกิดเมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดกันแน่น อิทธิผลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใยได้ คือ

1) ไฮโดรเจนบอนด์ (hydrogen bond)
2) แรงแวนเดอวัลล์ (Van der waal's forces)

3) แรงอิออน (ionic forces)

4) โควาเลนต์บอนด์ (covelent bond)

แรงดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แรงดึงดูดทางเคมีที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ โควาเลนต์บอนด์ (covelent bond) นอกจากอิทธิพลของแรงทั้ง 4 ชนิดนี้แล้ว อิทธิพลของรูปร่างและขนาดโมเลกุลของสีก็มีผลต่อการยึดติดหรือมีผลกระทบต่อการย้อมอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสียิ่งเล็กและยาวเท่าไหร่ก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้น ทำให้การติดสีดีขึ้นหรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบน และมีความกว้างความยาวมากๆ จะทำให้การติดสีมีความคงทนสูงมากขึ้น

สรุปได้ว่าการที่โมเลกุลของสีย้อมยึดติดกับโมเลกุลของเส้นใยเป็นผลเนื่องจากแรงทางเคมีและฟิสิกส์ โดยมีสารบางอย่างเข้าช่วยเพื่อที่จะทำให้โมเลกุลของสีย้อมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดียิ่งขึ้น สารบางอย่างนี้คือ สารช่วยย้อม (additive)

2.1.2.3 สารช่วยย้อม

สารช่วยย้อม คือ สารเคมีที่ใส่ลงไปในกระบวนการย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดติดสีได้มากขึ้น ทำให้สีที่ติดเส้นใยมีความคงทนและสม่ำเสมอ

สารช่วยย้อมแบ่งเป็น 7 ประเภทด้วยกัน คือ

1) กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีน และไนล่อนเมื่อใช้สีย้อมเอสิด
2) ด่าง ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมอะโซอิค แวต และกำมะถัน
3) เกลือใช้ในการย้อมด้วยสีเอสิด และการย้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
4) สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวต
5) สารนำ (carrier) ใช้เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
6) สารละลายอินทรีย์ ใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
7) สารรีดิวซิง ใช้สำหรับรีดิวซ์สีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

สารช่วยย้อมแต่ละประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็นสารเคมีต่างๆ มากมาย ดังนั้นสีย้อมแต่ละชนิดมีสารช่วยย้อมแตกต่างกันไป เป็นผลทำให้น้ำเสียจากกระบวนการย้อมแตกต่างกันไปด้วย

2.1.3 การมองเห็นสี

การมองเห็นสีจะเกิดได้เมื่อมีองค์ประกอบสี่ประการคือ แสง วัตถุ(สี) นัยน์ตาของผู้มองเห็นและสมองที่จะวิเคราะห์หรือตีความสิ่งที่เห็น ส่วนแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ต้นกำเนิดแสงอาจมาจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดแสงอื่นที่มนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้นก็ได้ ช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์สามารถรับภาพได้อยู่ในช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร โดยแสงธรรมชาติ

หรือแสงแดดสามารถถูกแยกออกโดยการให้แสงส่องผ่านปริซึม ซึ่งจะทำให้เกิดการแบ่งสีตามลักษณะความยาวคลื่นคือ สีม่วง สีน้ำเงิน สีน้ำเงิน-เขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง ซึ่งในโมเลกุลของสีย้อม (อ้างถึงใน อติชาติ ปานเจริญ, 2527) มนุษย์สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากเกิดการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมในโมเลกุลสีย้อม ซึ่งกลุ่มอะตอมดังกล่าวเรียกว่า “โครโมฟอร์” (chromophores) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) : -NO (หรือ =N-OH)
2) กลุ่มไนโตร (Nitro Group) : $-NO_2$ (หรือ =NO.OH)
3) กลุ่มอะโซ (Azo Group) : -N=N-
4) กลุ่มเอททิลีน (Ethylene Group) : C=C
5) กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) : C=O
6) กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-Nitrogen Group) : C=NH และ -CH=N-
7) กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group) : C=S และ -C-S-S-C-

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรเมติก โดยการดูดกลืนแถบแสงสีขาวไว้บางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีแตกต่างกันออกไป สีย้อมโดยทั่วไปนอกจากจะต้องมีกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีกลุ่มอะตอมอีกหนึ่งชนิดได้แก่ กลุ่มอะตอม “ออกโซโครม” (auxochromes) อันได้แก่ –OH, $-NH_2$, -NHR, $-NR_2$, $-SO_3$ และ –COOH เพื่อให้สีย้อมสามารถทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลใดที่ปราศจากกลุ่มอะตอมออกโซโครม โมเลกุลนั้นจะแสดงสมบัติของสีออกมาได้แต่จะขาดสมบัติในการยึดติดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่า “โครมาเจน” (chromagen) ยกตัวอย่างเช่น สีย้อมอะมิโนเอโซเบนซิน (aminoazobenzene dyestuff) มีสูตรโมเลกุลดังนี้ คือ H_2N -N=N- ซึ่งกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์คือ –N=N- กลุ่มอะตอมออกโซโครม คือ $–NH_2$ และโมเลกุลที่เรียกว่าโครมาเจนคือ -N=N-ทั้งกลุ่มโครโมฟอร์ ออกโซโครม และโครมาเจนนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาการแบ่งกลุ่มของสีย้อมตรมสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2.1.4 การจำแนกสีย้อม (อัจฉราพร ไศละสูต, 2527)

การจำแนกสีย้อม สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ สามารถแบ่งสีย้อมได้เป็น 2 ชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่า สีย้อม (Dyes) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายน้ำเรียกว่า ปิกเมนต์ (Pigments)

2) จำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี จะมีความยุ่งยากสำหรับผู้ที่ไม่ได้ผ่านการศึกษาด้านเคมีมาโดยตรง นอกจากนี้ สีในกลุ่มเคมีเดียวกันอาจมีวิธีการย้อมแตกต่างกัน ใช้กับเส้นใยแตกต่างกัน อีกประการหนึ่งคือ สูตรโครงสร้างที่แท้จริงของสีย้อมหลายชนิดที่นิยมใช้ใน

ปัจจุบันยังไม่ทราบกันเป็นที่แน่ชัด ทำให้มีข้อจำกัดในการจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้ อย่างไรก็ตาม สามารถจำแนกสีตามโครงสร้างเคมีของสีได้ดังนี้

2.1) Azo Colorants

2.1.1) Aromatic Diazo Compound

- Diazotization and Diozo Compounds
- The Coupling Reaction

2.2.2) Azo Compound

- Basic Dyes
- Acid Dyes
- Mordant and Premetallized Dyes
- Direct Dyes
- Azoic Dyes

2.2) Phenylmethane Dyes

2.3) Xantene Dyes

2.4) Indigoid Dyes

2.5) Polycyclicquinone (Anthraquinone, etc.) Dyes

2.5.1) Anthraquinone Group – Vat Dyes

- Acylamino Anthraquinones
- Condensation Products of Amino Anthraquinone and Cyanuric Chloride
- Anthraquinone Acridones
- Benzanthrones
- Anthanthrones
- Pyranthone and Flavanthrone
- Anthrimides
- Carbazoles
- Sulfur-Containing Anthraquinone Compounds

2.5.2) Napthalenic Acid Group – Vat Dyes

2.5.3) Esters of Anthraquinone – Vat Dyes

2.5.4) Anthraquinonoid – Acid Dyes

2.6) Sulfur Fusion Dyes

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7) Amine Oxidation Colorants

2.8) Phthalocyanine Colorants

2.9) Onium Dyes

2.10) Reactive Dyes

2.11) Pigments

2.3) จำแนกตามลักษณะทางกายภาพและทางเคมีเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

2.1.4.1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน

สีย้อมที่ใช้ในโรงงานทอผ้ามีอยู่มากมายหลายชนิด ตามชนิดของเส้นใยหรือผ้าที่จะนำไปย้อม สีย้อมอาจจำแนกได้หลายประเภทตามลักษณะทางกายภาพ โดยแบ่งออกเป็นสารสีที่ละลายน้ำได้และสารสีที่ไม่ละลายน้ำ หรือจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งวิธีนี้ยุ่งยากด้วยอาศัยความรู้ทางเคมีและสูตรโครงสร้างของสีด้วย วิธีจำแนกสีย้อมที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่าย ได้แก่ การจำแนกสีย้อมตามการใช้งาน ซึ่งแบ่งสีย้อมทั้งหมดออกเป็น 11 ประเภทด้วยกัน คือ

1) สีดิสเพิร์ส (disperse dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยอะซิเตท หรือเส้นใยสังเคราะห์บางชนิดที่ดูดซึมน้ำได้น้อย สีย้อมนี้ไม่ละลายน้ำแต่เป็นละอองละเอียด ละลายอยู่ในน้ำเมื่อมีสารช่วยกระจาย (dispersing agent) ที่เหมาะสม จะสามารถใช้ย้อมในน้ำธรรมดาได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอื่นช่วยนอกเสียจากสารพา (carrier) บางตัวที่ช่วยให้สีเข้าไปใกล้เส้นใยเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้

สีดิสเพิร์สแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณากลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีเอโซ (azo dyes) และสีย้อม amino anthraquinone ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้ปกติจะประกอบด้วยอนุพันธ์ของ ethanolaine-$NH_2CH_2CH_2OH$ หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

2) สีเอสิด (azid dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมซึ่งมีสภาพเป็นกรดเจือจาง จะนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ใช่เซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน และโพลีเอสเตอร์ ตัวสีย้อมเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน

3) สีย้อมอะโซอิค (azoic dyes)

นิยมใช้ย้อมเซลลูโลสเท่านั้น ตัวสีไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล ซึ่งละลายน้ำได้ก่อนแล้วจึงนำไปย้อมทับอีกครั้งหนึ่งด้วยเกลือไดอะโซเนียม (diazonium salt) เกลือนี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล เกิดเป็นสารประกอบเอโซที่ให้สีบนเส้นใย ปฏิกิริยานี้เรียกว่า คัปลิง (coupling)

4) สีย้อมเบสิค (basic dyes)

ใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด โดยย้อมติดเส้นใยเซลลูโลสได้เพียงเล็กน้อยหรือไม่ติดเลย ตัวสีย้อมเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครโมฟอร์ (chromofore) ให้แคทอิออน ทำให้เรียกสีนี้ว่า สีแคทอิออน ย้อมติดกับเส้นใยได้โดยประจุบวกของโมเลกุลสีย้อมจะจับกับประจุลบของเส้นใย

5) สีย้อมไดเรกต์ (direct dyes)

บางครั้งเรียกว่า สีย้อมฝ้าย เนื่องจากเป็นสีสังเคราะห์ชนิดแรก ที่สามารถย้อมติดเส้นใยได้โดยตรง ไม่ต้องเติมสารช่วยย้อม แต่ในปัจจุบันจะใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้สูงขึ้น สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอโซ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคซึ่งทำให้ตัวสีละลายน้ำได้

สีย้อมนี้ให้คุณสมบัติในการย้อมคงทนตลอด จนราคาแตกต่างกันมาก ถ้าเป็นสีที่คงทนดี โครงสร้างของสีจะซับซ้อนมากขึ้น ราคาต้นทุนการผลิต และราคาจำหน่ายย่อมสูงขึ้นด้วย

6) สีย้อมเมอร์แดนท์ (merdant dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ตัวสีย้อมกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นสีย้อมในกลุ่มสีย้อมเอสิดที่สามารถก่อเป็นสารเชิงซ้อนกับโลหะ แล้วจะมีความคงทนต่อกระบวนการใช้น้ำ (wet fastness) ได้ดีกว่าไม่ย้อมทับ

7) สีย้อมซัลเฟอร์ (sulfur dyes)

ใช้ย้อมผ้าฝ้ายโดยเฉพาะ ราคาค่อนข้างถูก แต่สีย้อมไม่สดใส ตามปกติแล้วสีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ได้มีผู้ผลิตสีย้อมชนิดนี้ขึ้นมาใหม่ โดยนำตัวสีย้อมไปทำการรีดิวซ์ ทำให้สีย้อมชนิดนี้ละลายน้ำได้ สีย้อมชนิดนี้ได้ชื่อว่าสีซัลเฟอร์เพราะว่า สารที่นำรีดิวซ์เป็นสารละลายของโซเดียมซัลไฟด์ และโครโมฟอร์ของสีย้อมซัลเฟอร์ ประกอบด้วยกลุ่มธาตุซัลเฟอร์ (sulfonic group) เมื่อสีย้อมละลายในน้ำแล้วจะแทรกซึมตัวเข้าไปในเส้นใยและสามารถทำให้ยึดติดกับเส้นใยได้อย่างถาวร โดยการออกซิไดส์ตัวสีย้อมกลับคืนสู่สภาพเดิมที่ไม่ละลายน้ำด้วยวิธีทำปฏิกิริยากับอากาศ

8) สีย้อมแวต (vat dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยเฉพาะใยฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ไม่ละลายน้ำต้องใช้สารรีดิวซ์ที่เหมาะสมมาทำให้ละลาย ที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ สีย้อมเมื่อถูกรีดิวซ์แล้วจะให้สารประกอบลิวโค (leuco compound) ซึ่งมีสีคราม และมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ และเมื่อนำเส้นใยไปสัมผัสอากาศ สารประกอบลิวโคจะถูกออกซิไดซ์กลับคืนสภาพเป็นสีแวตที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้เกิดการติดทนอย่างถาวรกับเส้นใยได้ดี สีย้อมชนิดนี้มี

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือ สีครามอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (anthraquinoid)

9) สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dyes)

ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด ละลายน้ำได้คุณสมบัติเป็นแอนอิออนเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยโควาเลนต์บอนด์ กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่เซลลูโลส สมบัติการละลายและดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้สีเข้าอยู่ในเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาตัวสีจะติดกับเส้นใย

10) สีย้อมโลหะ (metallic dyes)

สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำหลายชนิดใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส และให้สีต่างๆ กัน เมื่อย้อมแล้วต้องทำให้สารนี้ยึดจับตัวในเส้นใย

11) สีย้อมโอเนียม (onium dyes)

นิยมใช้พิมพ์มากกว่าย้อมผ้า จัดเป็นสารสีที่สามารถทำให้ละลายน้ำได้รูปแบบการย้อมดำเนินคล้ายกับสีแวต คือต้องทำให้ตัวสีย้อมกลับคืนสู่สภาพเดิมไม่ละลายน้ำด้วยการออกซิไดซ์กลับคืน

การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งานแสดงในตารางที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน (อภิชาติ หิรัญจิตต์, 2539)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม	พันธะหรือกลไกติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
เอซิด (acid dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 3-5 - สมมติว่าเส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 องศาเซลเซียส
เมทัลคอมเพล็กซ์เอซิด (metal complex acid)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้น้อย - สีติดแน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 5-7 - สมมติว่าเส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 องศาเซลเซียส
ไดเร็กท์ (direct dye)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- พันธะไอออนิก	- แช่ในสารละลายด่างอ่อน - เติมอิเลคโตรไลท์โซเดียมคลอไรด์โซเดียมซัลเฟตและสีย้อมที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส
เบสิก (basic dye)	- ประจุบวก - ละลายน้ำได้ดี	- อะครีลิก	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4-6 - เติมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส
ดิสเพอร์ส (disperse dye)	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- โพลีเอสเทอร์ - ไนลอน - อะครีลิก - เซลลูโลส - อะซิเทต	- เนื่องจากเป็นคอลลอยด์จึงเป็นการดูดติดผิวเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มีพีเอช 4-5 - เติมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิถึง 130 องศาเซลเซียส
รีแอกทีฟ (reactive acid)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส - ขนสัตว์	- พันธะโควาเลนท์	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมเกลือเพื่อกระจายสีไปสู่เส้นใย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน (อภิชาติ หิรัญจิตต์, 2539)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม	พันธะหรือกลไกติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
รีแอกทีฟ(reactive acid) (ต่อ)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส - ขนสัตว์	- พันธะโควาเลนท์	- หลังจากนั้นเติมด่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยกับสีย้อม
อะโซอิค (asoic dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- เกิดการตกผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเลคโตรไลท์
แว็ต (vat dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- เกิดการตกผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเลคโตรไลท์
มอร์แดนท์หรือโครม (mordant or chrome)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่น	- ขนสัตว์	- พันธะเชิงซ้อนของเส้นใย โครม และสีย้อม	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมโซเดียมไดโครเมต เติมสีย้อมเพิ่มอุณหภูมิถึง 98 องศาเซลเซียส

ที่มา : Buckley, 1992

2.1.5 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ

กลุ่มเคมีของสีรีแอกทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้

S-D-T-X

โดย S คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้สูง โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟนิก ($-SO_2Na$) ซึ่งติดอยู่กับกลุ่มโครโมฟอร์

D คือ กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่ากลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophore)

T คือ กลุ่มอะตอมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างกลุ่มรีแอกทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ (Bridging Group) เช่นกลุ่ม –NH-, -NHCO-, $-SO_2-$, $-NHSO_2-$ และ $-NCH_3-$ เป็นต้น

X คือ กลุ่มรีแอกทีฟ (Reactive Group) ซึ่งจะเป็นกลุ่มที่ทำให้สีทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย

ในบางกรณีกลุ่มรีแอกทีฟก็จะติดกับระบบโครโมฟอร์โดยตรง ไม่ต้องมีตัวเชื่อมก็ได้ และกลุ่มรีแอกทีฟส่วนใหญ่เป็นสาร Heterocyclic ring ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบของ Heterocyclic ring มีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถทำปฏิกิริยา และคุณสมบัติอื่นๆ ของสี จากส่วนประกอบที่กล่าวมานี้ พบว่ามีสองส่วนที่สำคัญคือ สารที่ทำให้เกิดสี และกลุ่มรีแอกทีฟ โดยส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้ จะเป็นปัจจัยที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

2.1.6 กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสี (Chromophore)

กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีส่วนใหญ่พัฒนามาจากสีแอซิด โดยแบ่งโครงสร้างได้เป็นหลายกลุ่มดังนี้

1) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Unmetallised Azo เป็นหลักซึ่งสีรีแอกทีฟส่วนใหญ่จะมีสารที่ทำให้เกิดสีชนิดนี้เป็นส่วนมาก
2) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Metal-Complex Azo เป็นหลัก
3) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลัก
4) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Phthalocyanine เป็นหลัก
5) กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Azo เป็นหลัก ในสี่กลุ่มที่มีกลุ่มรีแอกทีฟแบบ Bifunctional

กลุ่มสารที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมรีแอกทีฟนั้น ต่างก็มีโครงสร้างที่แตกต่างกันซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยองค์ประกอบของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟนั้น แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 2.3 แสดงเปอร์เซนต์การกระจายของลักษณะโครงสร้างของกลุ่มโครโมฟอร์ในสีรีแอกทีฟแบ่งตามโทนสีต่างๆ (Shore., 1990)

Chemical class	**Distribution in hue section (%)**								**% of all reactive dyes**
	Yellow	Orange	Red	Violet	Blue	Green	Brown	Black	
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

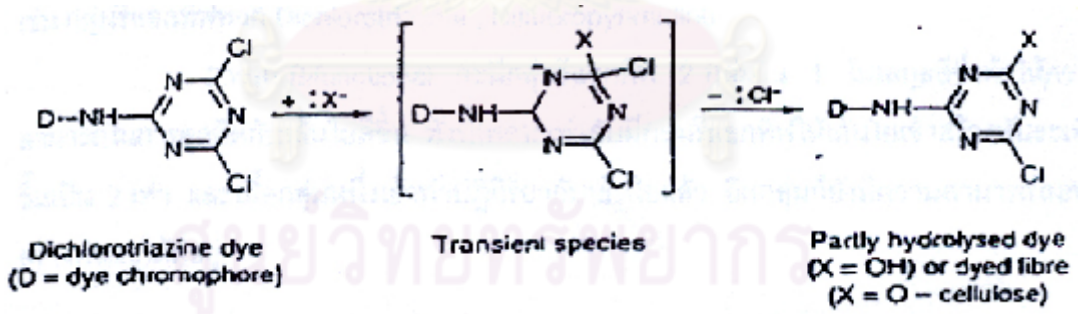
จากตารางจะเห็นได้ว่าสีรีแอกทีฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสีโครโมฟอร์ชนิด Azo (Unmetallised Azo Metal-complex Azo) เป็นส่วนมากสูงถึงร้อยละ 81 และถ้าไม่รวมสีรีแอกทีฟที่มีโทนสีฟ้าและสีเขียว ซึ่งประกอบด้วยโครโมฟอร์ประเภท Anthraquinone และ Phthalocyanine เป็นส่วนใหญ่แล้วพบว่า สีรีแอกทีฟจะมีกลุ่มอะโซ เป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึงร้อยละ 95 ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม ถ้าสามารถทำลายพันธะอะโซในกลุ่มโครโมฟอร์ของสีรีแอกทีฟได้ก็จะสามารถลดสีในน้ำเสียได้

ดังนั้นสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่สีรีแอกทีฟ โทนสีแดง โทนสีน้ำเงินและโทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknown) โดยทราบสูตรโครงสร้างสีซึ่งเป็นสีย้อมที่มีกลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้าง Unmetallised Azo เป็นหลัก ซึ่งสีรีแอกทีฟส่วนใหญ่จะมีสารที่ทำให้เกิดสีชนิดนี้เป็นส่วนมาก

2.1.7 กลุ่มสีรีแอกทีฟ (Reactive Group)

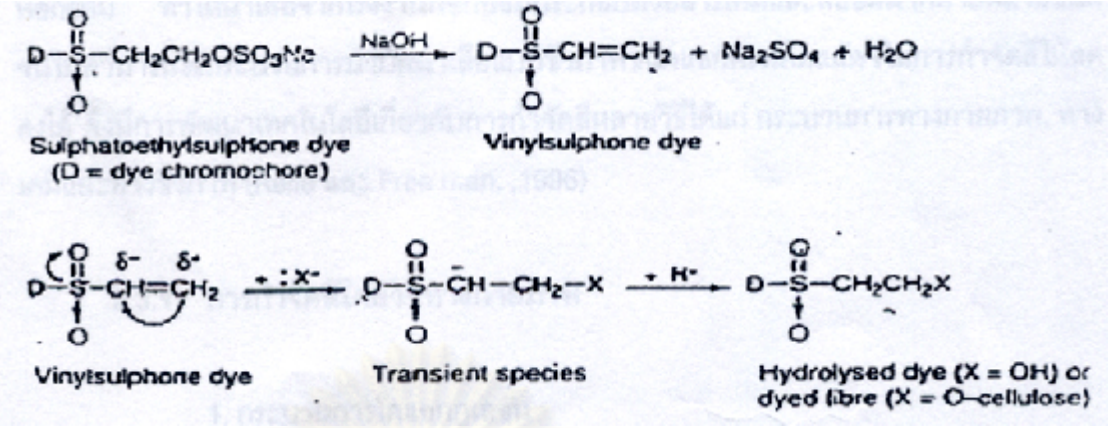
กลุ่มรีแอกทีฟเป็นกลุ่มที่มีหน้าที่สร้างพันธะกับเส้นใยทำให้สีย้อมสามารถดูดติดกับเส้นใยได้ การสร้างพันธะระหว่างกลุ่มรีแอกทีฟกับเส้นใยแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

1. เส้นใยหรือไฮดรอกไซด์อิออนเข้าไปแทนที่อะตอมฮาโลเจนในกลุ่มรีแอกทีฟในโมเลกุลของสีย้อมทำให้เกิดเป็นธันธะระหว่างสีกับเส้นใยขึ้น ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาแบบ (Nucleophilic Substitution) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาแบบ Nucleophilic Substitution (ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2543)

2. เส้นใยหรือไฮดรอกไซด์อิอออนสร้างพันธะกับกลุ่มรีแอกทีฟในโมเลกุลของสีย้อม โดยการสลายพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอม 2 อะตอม ในกลุ่มไวนิลซันโฟน แล้วไฮดรอกไซด์อิออนจะเชื่อมตัวมันเข้าไปกับคาร์บอนตัวสุดท้ายของกลุ่มไวนิลซัลโฟน ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาแบบ (Necleophilic Addition) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาแบบ Necleophilic Addition (ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์, 2543)

การสร้างพันธะกับโมเลกุลสีสามารถเกิดได้ทั้งกับเส้นใยหรือไฮดรอกไซด์อิออน แต่ความสามารถในการสร้างพันธะกับเส้นใยจะมีมากกว่าการสร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์อิออน สีที่สร้างพันธะกับไฮดรอกไซด์อิออน เรียกว่าสีที่ไฮโดรไลซ์ แล้วไม่สามารถสร้างพันธะติดกับเส้นใยได้อีก จึงหลงเหลือไปกับน้ำย้อมและน้ำล้างได้เป็นบางส่วน นอกจากนี้กลุ่มรีแอกทีฟที่มีการพัฒนาคิดค้นขึ้นมาก การพิจารณาจัดกลุ่มขึ้นอยู่กับกลไกในการสร้างพันธะและความคงทนของพันธะนี้ในขั้นตอนต่างๆ หลังการย้อม โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. พวก Monofunctional ส่วนใหญ่จะมีกลุ่มรีแอกทีฟเพียงกลุ่มเดียวในโมเลกุล เช่น กลุ่มรีแอกทีฟที่มีอะตอมฮาโลเจนของสีพวก Anminohalotriazine หรือกลุ่มรีแอกทีฟที่มีกลุ่มไวนิลซัลโฟน นอกจากนี้ยังมีกลุ่มรีแอกทีฟเพียงกลุ่มเดียวแต่มีอะตอมฮาโลเจนมากกว่า 1 อะตอม เช่น กลุ่มรีแอกทีฟพวก Dichlorotriazine, Difluoropyrimidine

2. พวก Bifunctional จะมีกลุ่มรีแอกทีฟ 2 กลุ่มใน 1 โมเลกุลสีซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดติดกับเส้นใยดีขึ้น ทั้งนี้เพราะเท่ากับมีกลุ่มรีแอกทีฟให้เส้นใยเข้าสร้างพันธะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และเมื่อกลุ่มหนึ่งเข้าทำปฏิกริริยากับเส้นใยแล้ว อีกกลุ่มก็ยังมีความสามารถในการสร้างพันธะได้ดีอยู่

2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม (วรวิทย์ เหลืองดิลก, 2544)

แหล่งที่มาของน้ำเสียฟอกย้อมนี้นอกจากสารเคมีดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้ว ยังรวมถึงสิ่งอื่นๆ ที่ปะปนกับเส้นใย เช่น น้ำมันและไขมัน เป็นต้น แหล่งต่างๆ ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีดังนี้

1) น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผ้าหรือเส้นใยก่อนย้อม และขั้นตอนการฟอกย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ และน้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้าง แต่ส่วนใหญ่มักจะถูกปล่อยเป็นน้ำเสียออกมาเกือบทั้งหมด นอกจากนี้น้ำที่ใช้ในกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ

- น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อมหรือการพิมพ์โดยตรง คือ กระบวนการต้มแป้ง กระบวนการทำความสะอาด กระบวนการฟอกขาว กระบวนการชุบมัน กระบวนการย้อมสี/การตกแต่งพิเศษ และกระบวนการพิมพ์ผ้า น้ำที่ได้จากกระบวนการเหล่านี้มีปริมาณไม่มากนัก แต่มักมีความเข้มข้นของสารมลพิษสูง และมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเส้นใยที่นำมาย้อมและกระบวนการย้อมที่ใช้
- น้ำที่ใช้ในการซักล้างหลังจากการฟอกย้อมหรือการพิมพ์ น้ำที่ได้จากกระบวนการนี้มีปริมาณมาก แต่ความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำกว่าน้ำที่ใช้ในการฟอกย้อมหรือการพิมพ์โดยตรง

2) น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมักใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือให้ความร้อนแก่ตู้อบไอน้ำ ไอน้ำนี้ถ้าปล่อยให้เย็นตัวลงและทำให้เกิดการกลั่นตัวในท่อก็จะได้น้ำสะอาดซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ถ้านำไอน้ำนี้ไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงก็เท่ากับไปเพิ่มปริมาณน้ำเสียให้มากขึ้น

3) น้ำหล่อเย็น ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำย้อมให้ลดลงในระยะเวลาอันสั้นโดยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นนี้เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4) น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและการทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ ในบางกรณีน้ำเสียชนิดนี้อาจมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่างๆ สูง ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่ใช้ล้างสกรีนที่ใช้ในการพิมพ์ผ้า หรือน้ำจากการล้างถังเตรียมสี เป็นต้น

6)น้ำจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำจากโรงอาหารและห้องน้ำโรงงาน เป็นต้น

2.2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม (คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม, 2542)

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นดังนี้

1) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดจากแป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใยและเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วสารอินทรีย์อาจเกิดจากสบู่ ไขมัน ซึ่งจะเป็นฝ้าคลุมผิวน้ำ และสารทำความสะอาดที่มีลักษณะเป็น

ฟอง โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้มักมีค่าบีโอดีประมาณ 100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 500-1,200มิลลิกรัมต่อลิตร

2) มีค่าพีเอชและสภาพด่าง (alkalinity) สูง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมักมีค่าพีเอช ประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพด่างประมาณ 300-900 มิลลิกรัมหินปูนต่อลิตร สารที่ทำให้น้ำเสียฟอกย้อมมีค่าพีเอช และค่าสภาพด่างสูงได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต

3) มีอุณหภูมิสูง น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส

4) มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ

5) มีความเข้มสีสูง โดยเป็นสีที่ใช้ย้อมผ้า

6) มีโลหะหนักเจือปนอยู่ โลหะหนักเหล่านี้เจือปนอยู่ในสีย้อมผ้า โดยส่วนใหญ่แล้วได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี

7) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง

โดยสำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2542) ได้ทำการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงตัก (Grab Sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย โดยค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณสี โดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum Cobalt Method) ซึ่งได้ผลสรุปค่าประเมินต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 2.4 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอประเภทต่างๆ

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด[1]					จำนวนข้อมูล
	พีเอช	บีโอดี (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	สี (หน่วย Pt Co)[2]	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าถัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้ายและผ้าหรืออื่นๆ	9.1	230	713	65	400	30

หมายเหตุ: 1 ค่าลักษณะของน้ำเสียที่ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับหรือน้อยกว่าร้อยละ 50

2 การวัดความเข้มสีในหน่วย Pt Co เป็นวิธีที่ผิด เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้จะวัดได้เฉพาะน้ำที่มีสีออกเหลือง

ที่มา : คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอกย้อม, 2542

2.3 การกำจัดสีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม (วรรษวรรณ เที่ยงวรรณกานต์,2546)

การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อมมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการบำบัดน้ำเสียวิธีต่างๆ เพื่อบำบัดน้ำเสียให้ได้น้ำทิ้งออกปราศจากสารอินทรีย์ สีย้อมผ้า และของแข็งต่างๆ แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอได้เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามการเพิ่มประชากร อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อม ทำให้น้ำเสียจากโรงงานประกอบด้วยสารเคมีและสีย้อมมากมายหลายชนิดจนไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพชนิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ในการกำจัดสีให้ลดลงได้ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการกำจัดสีหลายวิธีได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ, ทางเคมีและทางชีวภาพ

2.3.1 การบำบัดน้ำเสียทางเคมี

1) กระบวนการโคแอกกูเลชั่น

เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการกำจัดสีโดยใช้สารเคมี เช่น ปูนขาว สารส้ม เกลือเฟอริก หรือสารโพลิอิเล็กโทรไลต์เติมลงในน้ำเสียที่มีสีเจือปน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนเกิดเป็นฟล็อกแล้วตามด้วยการตกตะกอนฟล็อกที่เกิดขึ้น ซึ่งสีจะถูกจับรวมอยู่ในฟล็อกด้วยจึงทำให้เกิดการลดสีได้ แต่วิธีนี้ต้องใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดสีจึงทำให้เกิดสลัดจ์ทางเคมีขึ้นในปริมาณมากทำให้ต้องเพิ่มวิธีการกำจัดสลัดจ์อีกขั้นตอนหนึ่งและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย และที่สำคัญคือ วิธีนี้ใช้ได้ดีกับสีที่ไม่ละลายน้ำ (Reife และ Freeman, 1996)

2) กระบวนการดูดติดผิว

การกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดติดผิวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งต่ำๆ ซึ่งนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) โดยจะมีพื้นที่ผิวระหว่าง 500-1400 ตารางเมตรต่อกรัม (Reife และ Freeman, 1996) นอกจากนี้ยังมีดินเหนียวดูดซึม ขี้เถ้า ดินเหนียวทนไฟ ซิลิก้าเจล ไม้ โพลิเมอร์สังเคราะห์ ฯลฯ โดยถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสำหรับสีที่ละลายน้ำได้น้อย ซึ่งได้แก่ สีดิสเพอร์ส สีแวท และสีพิกเมนต์

3) กระบวนการไฟฟ้าเคมี

จากการที่สถาบัน American Textile ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมทำให้ทราบต่อมาว่านอกจากจะสามารถกำจัดโลหะหนักแล้วยังสามารถกำจัดสีให้ลดลงได้อีกด้วย จึงทำให้มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นครั้งแรก (Uhrich, 1989 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) โดยใช้ชื่อว่า Andco Environmental Process ซึ่งนอกจากจะสามารถกำจัดสีและโลหะหนักได้แล้วยังสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี และของแข็ง

แขวนลอยได้อีกด้วยโดยจะต้องมีขั้นตอนอื่นๆ ประกอบ เช่น ถังน้ำใส ถังกรอง ตลอดจนการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นพิษออกจากน้ำทิ้ง ทำให้สามารถนำน้ำที่ผ่านขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นกลับไปใช้ในกระบวนการฟอกย้อมได้อีก

4) กระบวนการเมมเบรน

เป็นวิธีการกำจัดสีที่มีประสิทธิภาพสูง ส่วนมากจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่มีความเข้มข้นของสีสูง และน้ำที่ได้จากการบำบัดด้วยวิธีการนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูง

5) การแลกเปลี่ยนอิออน

วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนเหมาะกับสารละลายเจือจาง โดยที่เรซินประจุลบใช้กำจัดสีย้อมที่มีประจุลบ ในขณะที่เรซินประจุบวกใช้กำจัดสีย้อมที่มีประจุบวก เรซินจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนสูงและง่ายต่อการทำรีเจเนอเรท โดยเรซินที่มีประจุบวกจะใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก หรือโซเดียมคลอไรด์ทำรีเจนเนอเรท เรซินประจุลบจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำรีเจนเนอเรท ซึ่งมีการนำวิธีแลกเปลี่ยนไอออนมาใช้กำจัดสีในน้ำเสีย โดยที่ประสิทธิภาพในการลดสีแอซิด สีรีแอกทีฟ และสีดิสเพอร์สสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อย

2.3.2 การกำจัดสีโดยกระบวนการทางเคมี

1) กระบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation)

เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูง โดยให้สีทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เพื่อลดสี สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ คลอรีนในรูปของเหลวหรือก๊าซ ไฮโปรคลอไรด์ และโอโซน รวมทั้งการใช้สารเคมีเฟนตัน ในการใช้สารเคมีเหล่านี้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงทั้งในด้านสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ ในการบำรุงรักษาต้องกระทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากสารเหล่านี้มีความเป็นพิษ

การใช้คลอรีนในการลดสีพบว่ามีประสิทธิภาพการลดสีสูง แต่เมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีคลอรีนเหลือตกค้างในน้ำเสีย อาจทำให้เกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม Ghosh และคณะ (1978) อ้างถึงโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่า เมื่อใช้คลอรีน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีประสิทธิภาพการลดสีจากโรงงานฟอกย้อมเท่ากับ 77 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีคลอรีนตกค้างในน้ำเสียประมาณ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อใช้คลอรีนในปริมาณที่ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่มีคลอรีนตกค้างแต่มีประสิทธิภาพการลดสีเหลือ 57 เปอร์เซ็นต์

ต่อมาได้มีการใช้โอโซนซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีน และไม่มีสารตกค้างในน้ำเสีย จากงานวิจัยของ Horning (1978) อ้างถึงโดย Reife และ Freeman (1996)

พบว่า การใช้โอโซนปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดสีรีแอกทีฟ และสีเบสิกได้ แต่มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับสีดิสเพอร์ส ส่วนในการกำจัดสีไดเรกซ์นั้นมีค่าไม่แน่นอน นอกจากนี้การกำจัดสีด้วยโอโซนสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ได้เพียงเล็กน้อยและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งระบบ

2) กระบวนการรีดักชั่น (Reduction)

เป็นการเติมสารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสี โดยในปฏิกิริยาจะใช้พันธะของโครงสร้างสีเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจนเกิดการสลายพันธะทำให้โครงสร้างสีเปลี่ยนแปลงจึงเกิดการลดสี สารเคมีที่ใช้โดยทั่วไป คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (sodium hydrosulfite) หรือ โซเดียมไดไอโอไนต์ (sodium dithionite) ไทโอยูเรียไดออกไซด์ (thiourea dioxide) หรือ formamidine sulfinic (FAS) acid โซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ดีซัลโฟซีเลต (sodium formaldehydesulfoxylate) และ tin (II) chloride (Reife และ Freeman, 1996)

จากการศึกษาของ Brown และ Hamburger (1987) พบว่าในสภาวะแอนแอโรบิก สามารถลดสีย้อมชนิดอะโซได้ โดยพบว่าการลดสีเกิดจากการสลายพันธะของกลุ่มอะตอมอะโซด้วยปฏิกิริยารีดักชัน แต่เมื่อเกิดการสลายพันธะของอะโซจะทำให้เกิดสารประกอบพวกอะโรมาติกซึ่งเป็นสารพิษ และสารเหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะแอโรบิก จึงมีการนำสารรีดิวส์ซิ่งมาใช้ในกระบวนการบำบัดขั้นต้นและตามด้วยการบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิก นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการลดสีของสารรีดิวส์ซิ่งแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในน้ำเสีย เช่น ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์จะมีประสิทธิภาพการลดสีดีที่สุด ส่วนที่ค่าพีเอชเท่ากับ 10.7 ไทโอยูเรียไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพการลดสีดีที่สุด (Reife และ Freeman, 1996)

2.3.3 การกำจัดสีโดยกระบวนการทางชีวภาพ

1) กระบวนการชีวภาพแบบแอโรบิก

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอโรบิกเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่นแต่ปัญหาที่พบคือการบำบัดสีย้อม เนื่องจากสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาสามารถต้านทานการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนและมีการเติมสารเคมีลงไปในสีย้อมเพื่อให้ทนต่อการออกซิไดซ์โดยสารเคมีและแสง สีบางชนิดมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นการยากที่จุลินทรีย์จะสามารถปรับตัวให้ชินกับน้ำเสียได้ เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทั้งจากกระบวนการย้อม สี ที่ใช้ย้อม และสารช่วยย้อมต่างๆ

2) กระบวนการแอนแอโรบิก

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนด้วยระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก ซึ่งในอดีตได้มีการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียที่ใช้สำหรับระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกเพื่อบำบัดสีย้อม โดยจากผลการศึกษาพบว่ามีแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความสามารถย่อยสลายสีย้อมอาหารชนิดอะโซได้ (Carliell และคณะ, 1995) ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษากลไกการสลายพันธะอะโซด้วยจุลชีพประเภทเดียวกับที่อยู่ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

การศึกษาการลดสีด้วยแบคทีเรียในลำไส้ที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาการลดสีย้อมจากโรงงานฟอกย้อมภายใต้สภาวะไร้อากาศ เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่มักจะมีกลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพันธะอะโซ ดังนั้น ถ้ามีการทำลายพันธะอะโซได้กลุ่มโครโมฟอร์ของสีย้อมเหล่านี้ก็จะไม่สามารถแสดงสีได้ต่อไป ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในระยะหลังที่มีการผลิตสีรีแอกทีฟขึ้นมาใช้ ถึงแม้จะเป็นสีที่ยึดติดกับเส้นใยได้เป็นอย่างดีแต่ก็เป็นสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง ทำให้น้ำเสียที่มีสีย้อมรีแอกทีฟหลงเหลืออยู่ยิ่งบำบัดได้ยาก

3) กระบวนการแอนแอบิก-แอโรบิก

จากการย่อยสลายสีด้วยกระบวนการแอนแอโรบิกจะเกิดสารประกอบอะโรมาติกเอมีนขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการใช้กระบวนการแอโรบิกมาย่อยสลายสารที่เกิดขึ้น เพื่อให้น้ำเสียที่ออกจากระบบไม่มีสารที่เป็นอันตราย

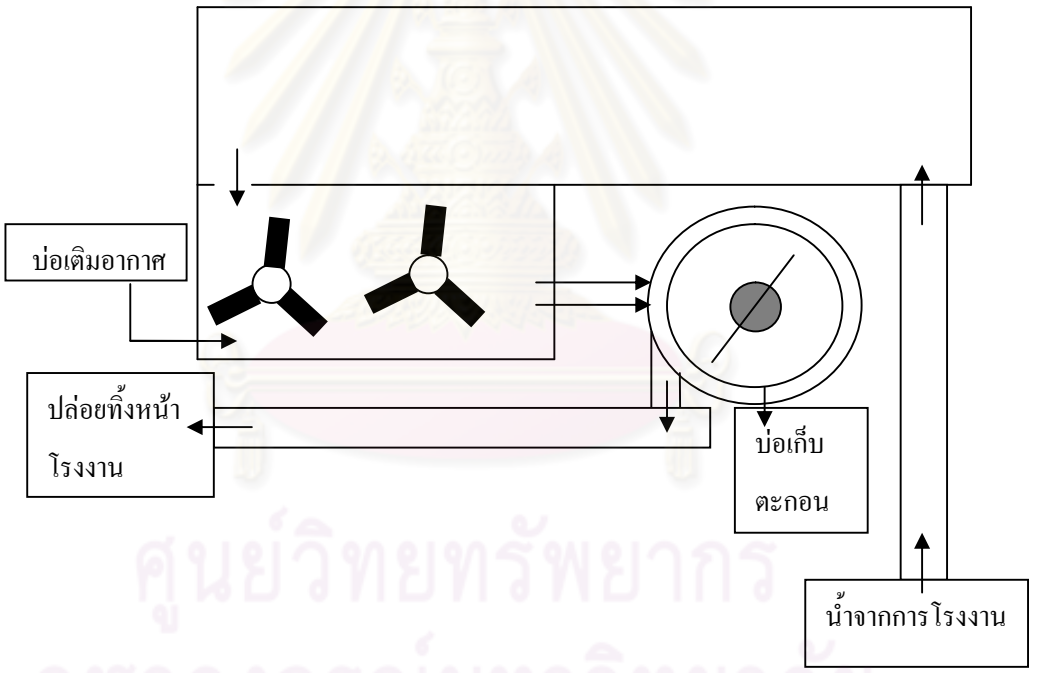
2.3.4 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานบริษัทไทยอินเตอร์คอตอนการทอ จำกัดระบบที่ใช้เป็นแบบ Activated Sludge (AS) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาโดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียดังรูปที่ 2.4

ระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (sedimentation Tank) น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีสลัดจ์อยู่สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิค จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถัง

เติมอากาศให้ได้ตามกำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

แผนผังบ่อบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

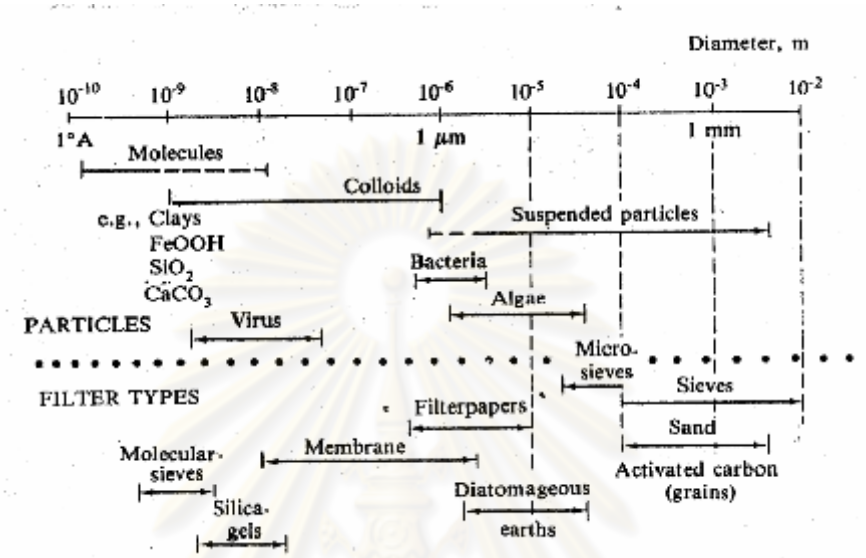
ตารางที่ 2.5 สรุปเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางเคมีจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในปัจจุบัน

เทคโนโลยี	**ตัวอย่าง**	**ข้อดี**	**ข้อเสีย**
การตกตะกอนทางเคมี (Coagulation/Floculation)	สารส้ม ปูนขาว เหล็ก โพลิเมอร์	-เป็นอุปกรณ์พื้นฐาน -กำจัดสีได้เร็ว -ลดซีโอดีได้ดี	-เกิดตะกอนมาก -ต้องเติมสารเคมีและค่าใช้จ่าย -กำจัดสีย้อมรีแอคทีฟไม่ได้ -ต้องควบคุมค่าพีเอชให้ถูกต้อง
การใช้สารดูดซับ (Adsorbents)	ถ่าน ถ่านกัมมันต์	-กำจัดสีได้ดี -เป็นเทคโนโลยีพื้นฐาน -กำจัดสารละลายอินทรีย์ได้	-ค่าใช้จ่ายสูง -ช้า -มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารดูดซับ
การออกซิเดชัน	โอโซน	-กำจัดสีได้ดี -ใช้ได้กับน้ำเสียปริมาณมาก	-ค่าใช้จ่ายสูง -อาจเกิดสารใหม่จากการออกซิเดชัน
	สารเฟนตัน(Fenton's reagent)	-ลดสีเร็ว -ควบคุมได้ง่าย	-อาจเกิดสารใหม่จากการออกซิเดชัน -ค่าเดินระบบแพง
	การเติมคลอรีน	-ถูก -กำจัดสีดี	-เกิดสารประกอบคลอรีนขึ้น
การกรองด้วยเมมเบรน	รีเวอร์สออสโมซิส (RO)	-กำจัดสารปนเปื้อนรวมทั้งไอออน	-ราคาแพง
	นาโนเมมเบรน (nanofiltration)	-กำจัดสีดี	-ไม่สามารถใช้กับน้ำเสียบางชนิด
	อัลตราเมมเบรน (ultrafiltration)	-เร็ว	-น้ำเสียต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อน -ต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสีย
ชีววิทยา	แบบใช้ออกซิเจน	-เหมาะสำหรับน้ำเสียสีไม่ละลายน้ำ	-ไม่สามารถกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ -เกิดตะกอนแบคทีเรียมาก -ต้องการพลังงานสูง
	การใช้เพื่อการเกษตร	-ไม่แพง	-เหมาะกับน้ำเสียที่ไม่มีสี -อาจมีผลกระทบกับดิน

(ที่มา : Waste minimization guide for the textile industry, 2549)

2.4 อนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์ (Colliodal Particle) ขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} มม. (1 นาโนเมตร) จนถึง 10^{-3} มม. (1 ไมครอน)



รูปที่ 2.5 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ (Benefield, Judkins and Weand, 1982)

การที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานๆ โดยไม่ตกตะกอน เรียกได้ว่าเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง ระบบคอลลอยด์ หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลางซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียวกัน (Continuous Medium) อนุภาคต่างๆ นั้นเรียกว่า Dispersed Phase ส่วนสารตัวกลางเรียกว่า Dispersing Phase หรือ Dispersed Medium ระบบคอลลอยด์อาจเกิดขึ้นจากการรวมตัวของสสารทั้ง 3 สถานะ

ลักษณะที่สำคัญที่สุดของระบบคอลลอยด์ คือ บทบาทของผิวสัมผัสระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ขนาดที่เล็กมาของ Dispersed Phase ทำให้น้ำหนักไม่มีความสำคัญเทียบเท่ากับพื้นที่ผิวของสาร

ระบบคอลลอยด์ จำแนกตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังอ่อน ระบบเรียกว่า Hydrophobic แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังแรง ระบบเรียกว่า Hydrophilic ในกรณีที่ Dispersing Phase เป็นน้ำ ศัพท์จะใช้ Hydrophobic และ Hydrophilic แทน คอลลอยด์แบบ Hydrophobic สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายกว่าคอลลอยด์แบบ Hydrophilic เพราะคอลลอยด์แบบ Hydrophilic มีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ จึงต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่างๆ เกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนเพราะโมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคต่างๆ เข้าใกล้และจับตัวกัน

2.4.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

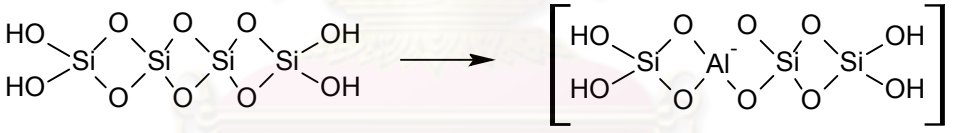
สิ่งที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีความแตกต่างจากตะกอนแขวนลอย อะตอม และโมเลกุลขนาดเล็ก คือ ขนาดและคุณสมบัติทางไฟฟ้า อนุภาคคอลลอยด์อาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่มักพบในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมักเป็นประจุลบและเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิค (อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) ตัวอย่างของอนุภาคประจุลบในน้ำ คือ ความขุ่นในน้ำผิวดิน ซึ่งส่วนมากเป็นอนุภาคดินเหนียวชนิดต่างๆ อนุภาคประจุบวกมักเป็นสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิค

การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จึงกล่าวได้ว่า ปะจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ

อนุภาคคอลลอยด์ได้ประจุไฟฟ้ามาจากหลายทาง ดังต่อไปนี้

1.) ความไม่บริสุทธ์ของผลึกสาร

ประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์อาจได้มาจากการแลกเปลี่ยนอะตอมของผลึกอนุภาคกับอะตอมจากภายนอกซึ่งมีประจุไม่เท่ากัน เช่น เมื่อ Al^{3+} แลกที่กับ Si^{4+} ซึ่งอยู่ในโครงสร้างผลึกของดินเหนียว (ภาพที่ 2.3) ทำให้อนุภาคดินเหนียวมีประจุบวกน้อยลง จึงแสดงอำนาจของประจุลบ ประจุลบของความขุ่นในน้ำผิวดินมีกำเนิดมาจากวิธีนี้



รูปที่ 2.6 ที่มาของประจุไฟฟ้าของอนุภาคดินเหนียว (Benefield et al, 1982)

2.) ประจุไฟฟ้าของไอออนที่ถูกดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์

ฟองก๊าซ ละอองน้ำมัน หรืออนุภาคคอลลอยด์อีกหลายชนิดได้ประจุไฟฟ้าบนผิวเนื่องจากมันสามารถเลือกดูดไอออนบางชนิดมาติดบนผิวได้ ไอออนที่ถูกดูดติด เรียกว่า Peptizing Ions อนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ในน้ำมักชอบดูดไอออนลบมากกว่าไอออนบวก เพราะไอออนบวกจะมีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ ทำให้ไอออนบวกไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้แนบชิดเท่ากับไอออนลบ โมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางการจับตัวระหว่างไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยเหตุนี้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำจึงมักมีประจุลบมากกว่าประจุบวก

3.) การละลายตัวของไอออน

อนุภาคคอลลอยด์บางชนิดจะมีประจุไฟฟ้า ถ้าไอออนต่างชนิดที่ประกอบกันเป็นอนุภาคละลายน้ำได้ไม่เท่ากัน

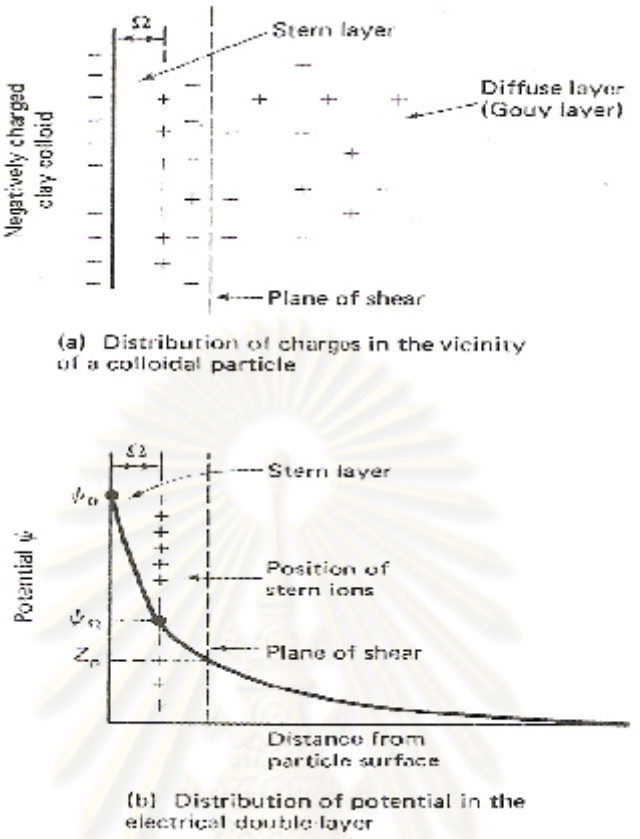
4.) การแตกตัวเป็นไอออนของ Functional Group

อนุภาคคอลลอยด์จำนวนมากได้ประจุไฟฟ้า เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของ Functional Group บนผิวอนุภาค เช่น โปรตีนได้ประจุไฟฟ้ามาจากการแตกตัวเป็นไอออนของหมู่กรดอะมิโน (Amino Group) หรือหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ซึ่งขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ เมื่อน้ำมีพีเอชต่ำ โปรตีนจะมีประจุบวก และจะมีประจุลบเมื่อพีเอชสูง โปรตีนอาจไม่มีประจุไฟฟ้าเลยที่ระดับพีเอชระหว่างค่าสูงและต่ำ ระดับพีเอชนี้เรียกว่า Isoelectric pH

2.4.2 Electric Double Layer Theory

ความแตกต่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิคและแบบไฮโดรฟิลิค คือ เสถียรภาพของคอลลอยด์แบบแรกเป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างไอออนชนิดเดียวกัน ส่วนเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบหลังเกิดขึ้นเนื่องจากแรงผลักและโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค ความแตกต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญมากต่อกลไกในการทำลายเสถียรภาพ เนื่องจากวิศวกรรมประปาเกี่ยวข้องกับคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิคเป็นส่วนใหญ่

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ คือ Electric Double Layer Theory ซึ่งผู้คิดสร้างคือ Helmholtz (1853 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก) และพัฒนาให้สมบูรณ์ขึ้นโดย Gouy (1910 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก), Chapman (1913 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก) และ Stern (1924 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก) เมื่อพิจารณาอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบ เนื่องจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ไอออนบวกที่อยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาหาได้ จึงทำให้ไอออนประจุบวกมาแออัดกันอยู่ใกล้ผิวอนุภาคคอลลอยด์ ไอออนบวกนี้เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นของไอออนบวกจะสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาค ทั้งนี้เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (Nernst Potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป (รูปที่ 2.5a) ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ทำการกระจายตัวของไอออนบวกและลบเป็นไปจามปกติตามทฤษฎี Double Layer เชื่อว่า ไอออนบวกชั้นในที่สุดไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะไอออนบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของไอออนที่อยู่ใกล้ที่สุดคล้ายมีเปลือกทรงกลมบางซึ่งมีความหนาเท่ากับ Ω กั้นขวางอยู่ เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า Stern Layer และถือว่าเป็นชั้นในของทฤษฎีนี้ ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกชั้นในมีค่าเท่ากับ Stern Potential ส่วนเปลือกชั้นนอกมีชื่อเรียกว่า Diffuse Layer (ชั้นกระจาย) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์)

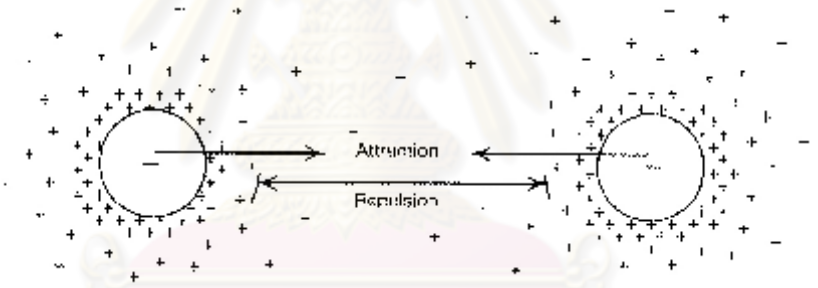


รูปที่ 2.7 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory (Benefield et al, 1982)

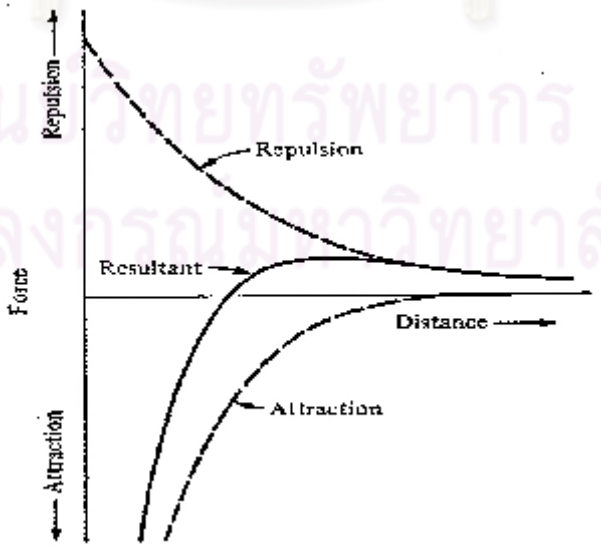
ศักย์ไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ หรือ Nernst Potential ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าที่จุดอื่นซึ่งไม่ใช่ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ทั้งนี้ได้โดยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า (Electrophoretic Mobility) และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ เรียกว่า ซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential; Z_p) ซีตาโพเทนเชียล หมายถึงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวนอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ผิวนอกที่สุดนี้ เรียกว่า Plane of Shear (รูปที่ 2.5) ตำแหน่งที่แน่นอนของ Plane of Shear ไม่เป็นที่ทราบแน่นอน เชื่อกันว่าอยู่นอก Stern Layer แต่ยังอยู่ใน Diffuse Layer อย่างแน่นอน บทบาทของซีตาโพเทนเชียลมีมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซีตาโพเทนเชียล ใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง (มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูงมาก) จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้ามระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีซีตาโพเทนเชียลต่ำและทำให้รวมตัวกันเป็นฟล็อกได้ง่าย

2.4.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์อาจมีเสถียรภาพหรือไม่ก็ได้ อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพเมื่อสามาถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอน ภายในเวลาสั้น เมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำก็ถือว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลายและไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไป ด้วยเหตุนี้เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักจะต้องสูงกว่าแรงดึงดูดจึงจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลักอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เสียเสถียรภาพได้ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า van der Waals Force เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่าอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิด ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าแรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ โดยปกติแล้วแรงผลักซึ่งเกิดจากซีตาโพเทนเชียลไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้จนเกิดการดูดเข้าหากัน



รูปที่ 2.8 แรงระหว่างอนุภาคทั้งสอง (Hammer and Hammer Jr., 1996)



รูปที่ 2.9 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ (Rich, 1973)

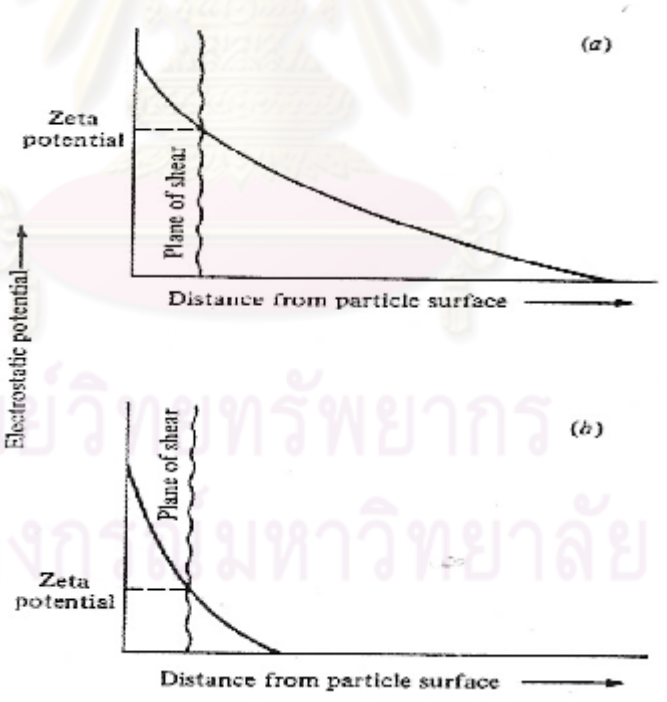
2.5 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Coagulation)

กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Coagulation) คือ การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เกิดการรวมตัวกันและจับกันเป็นฟล็อก (มั่นสิน, 2542ก) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

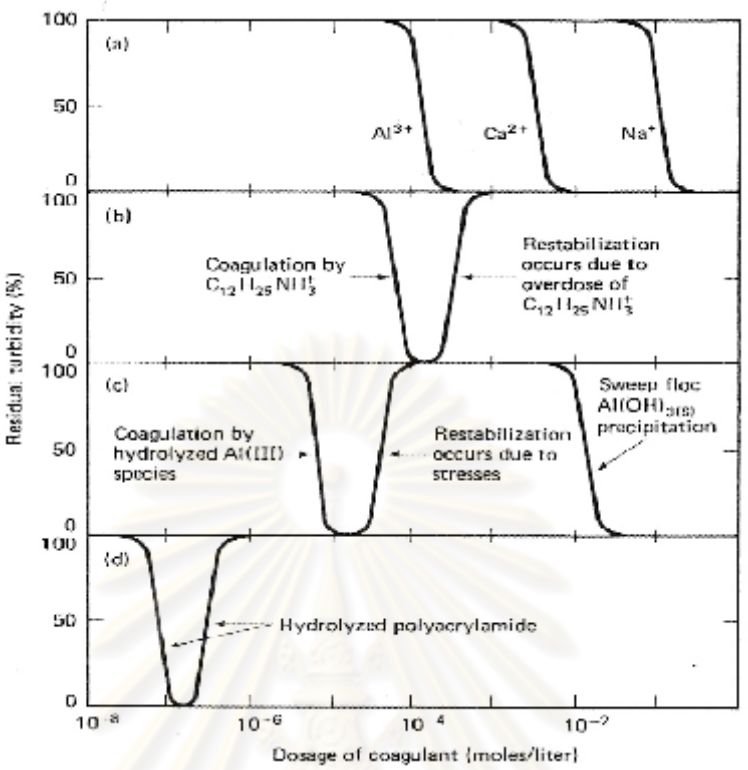
2.5.1. การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ ขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยอาศัยกลไกที่สำคัญ 4 แบบ ดังนี้

2.5.1.1 โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค เป็นการเพิ่มจำนวน Counter Ion ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย (รูปที่ 2.8) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ไอออนต่างๆ มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจาย (ซึ่งเท่ากับลดซีตาโพเทนเชียล) ไม่เท่ากัน ปรากฏว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ (Valence) 1, 2 และ 3 มีอำนาจดังกล่าวเป็นสัดส่วน 1: 10: 1,000 ตามลำดับ เช่น Al^{3+} จะให้ผลดีกว่า Ca^{2+} ถึง 1,000 เท่า (รูปที่ 2.9) ข้อสังเกตที่ควรตระหนักคือ



รูปที่ 2.10 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์ (a) ก่อนเติมไอออน (b) หลังจากการเติมไอออนแล้ว (Rich, 1973)



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (Benefield et al, 1982)

ไอออนบวกต่างๆ ดังกล่าวไม่ได้ดำรงอยู่อย่างอิสระ เนื่องจากไอออนบวกเหล่านี้ มักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ เช่น Al^{3+} มีน้ำ 6 โมเลกุลจับกันอยู่ การที่ Al^{3+} หรือโลหะอื่นๆ มีน้ำจับรวมอยู่ด้วยเป็นข้อเสียเพราะว่าทำให้ไอออนบวก (ของโลหะ) ไม่สามารถดูดติดที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ โมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนเกาะป้องกันการสัมผัสโดยตรง ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับไอออนบวก ไอออนบวกต่างๆ จึงออกันอยู่ในชั้นกระจายและไม่สามารถทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้ดีเท่าที่ควร การลดโมเลกุลของน้ำในสารประกอบคอมเพล็กซ์ช่วยทำให้ไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น เช่น $Al(OH)(H_2O)_5^{+2}$ หรือ $Al(OH)_2(H_2O)_4^{+}$ สามารถเกาะติดบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่ $Al(H_2O)_6^{+3}$ ไม่สามารถกระทำได้ด้วยเหตุนี้ รูปที่ 2.9 (c) จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า $Al(OH)^{+2}$ หรือ $Al(OH)_2^{+}$ หรือสารคอมเพล็กซ์อื่นๆ สิ้นเปลืองน้อยกว่า Al^{3+} ในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่างๆ มีข้อที่น่าสนใจดังนี้

(1) ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์

(2) ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้อนุภาคคอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวกได้ (Charge Reversal) ดังรูปที่ 2.9 (a)

2.5.1.2 โดยการทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์

สารเคมีบางหมู่สามารถดูดติด (adsorbed) บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ถ้าสารเหล่านั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนี้แตกต่างจากกลไกแบบแรก 3 ประการ ดังนี้

(1) กลไกแบบดูดติดผิวต้องการไอออนต่างชนิดน้อยกว่ากลไกแบบแรก เนื่องจากไอออนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้

(2) การทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดติดผิว เป็นแบบสตอยชิโอเมตริค (Stoichiometric) กล่าวคือ ปริมาณของโคแอกกูแลนท์ที่ใช้เพิ่มหรือลดตามการเพิ่มหรือลดของปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่เป็นสตอยชิโอเมตริค

(3) กลไกแบบดูดติดผิวสามารถเปลี่ยนประจุของอุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิม (Charge Reversal) ทั้งนี้โดยการใช้โคแอกกูแลนท์มากเกินไปเสถียรภาพของคอลลอยด์จะฟื้นขึ้นมาใหม่เนื่องจากมีการเปลี่ยนประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น กลไกแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนประจุเป็นตรงกันข้าม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าจำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกกำจัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์เสมอ โคแอกกูแลนท์ที่เติมมากเกินไปจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้นไม่ว่าจะเติมโคแอกกูแลนท์มากเท่าใดการเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้าม จะไม่สามารถเกิดขึ้นถ้าโคแอกกูแลนท์ไม่สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ข้อที่ควรสังเกตเกี่ยวกับ Charge Reversal ของกลไกแบบดูดติดผิวคือ การที่ไอออนต่างประจุสามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม แสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนต่างประจุกับอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้

2.5.1.3 การห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น

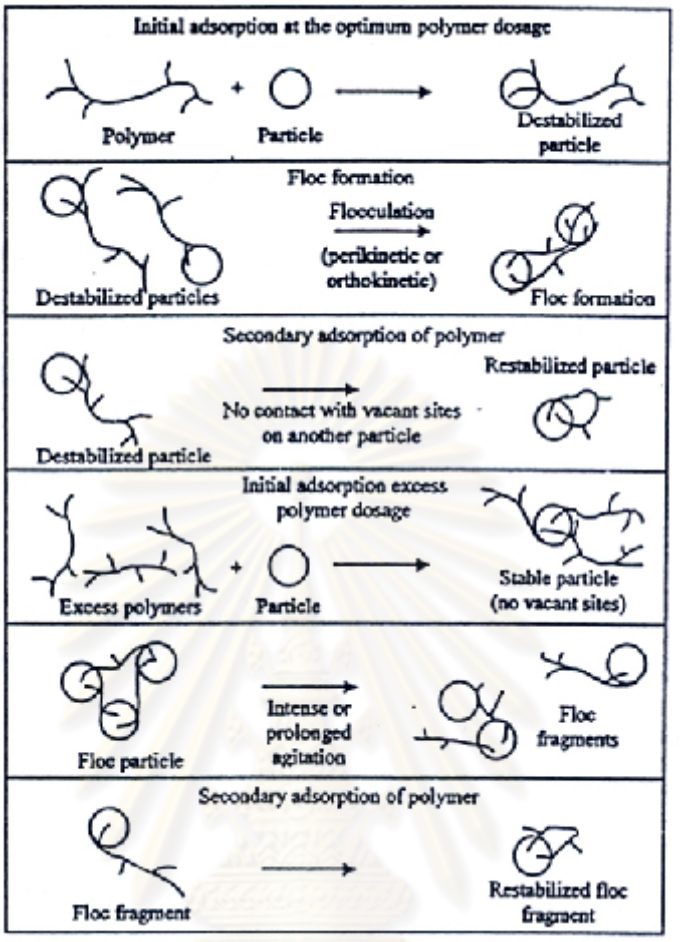
ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอจะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวรวมกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ อาจถือว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้

กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมแปรผักผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนท์จำนวนมากจึงจะเกิดการตกตะกอนได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนท์น้อยกว่า เหตุผลคือ น้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม การตกตะกอนอาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนท์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆ สำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก

เนื่องจากกลไกแบบนี้ไม่จำเป็นต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ การตกตะกอนจึงไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นในขณะที่ซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามพีเอชมีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกแบบนี้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการตกผลึกของสารต่างๆ โคแอกกูแลนท์แต่ละตัวจะมีระดับพีเอชที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

2.5.1.4 การใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์

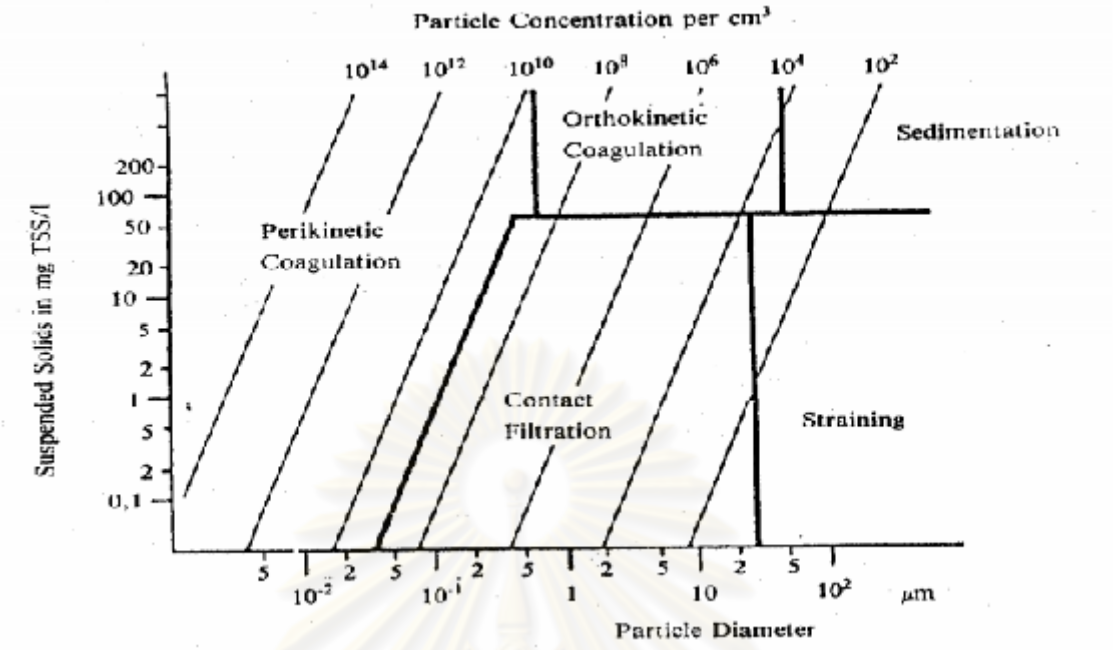
กลไกลักษณะนี้อธิบายได้โดยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging (รูปที่ 2.10) กล่าวคือ สารโพลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง ซึ่งการเกาะติดนี้อาจเป็นผลมาจากประจุที่ต่างกันของโพลิเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์ หรือเป็นแรงทางปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุต่างกันของโพลิเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลิเมอร์เกาะติด โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่นๆ ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized particle) อนุภาคนี้สามารถจับกับอนุภาคอื่นๆ ได้ โดยอาศัยโพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ในกรณีที่ปลายอิสระของโพลิเมอร์ไม่มีที่เกาะจับอนุภาคอื่นๆ ปลายอิสระจะจับอนุภาคเดิมทำให้ไม่มีปลายอิสระจับอนุภาคอื่นและตำแหน่งว่างบนพื้นผิวลดลง เรียกว่า อนุภาคมีเสถียรภาพกลับคืน (Restabilized particle) กรณีใช้สารโพลิเมอร์มากเกินไปจะเกิดผลเสียเพราะโพลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีตำแหน่งว่างบนพื้นผิวอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคๆ การกวนที่รุนแรงหรือนานเกินไปจะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วกลับแตกออกเป็นส่วนๆ และทำให้ปลายอิสระของโพลิเมอร์เกาะจับบนอนุภาคเดิม อนุภาคคอลลอยด์จึงคืนเสถียรภาพอีกครั้ง



รูปที่ 2.12 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมด้วยโพลิเมอร์ (Benefield et al, 1982)

2.5.2 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสหรือกระทบกัน (Transport of colloidal particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้วการสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดได้ง่ายขึ้น และหลังการสัมผัสควรเกาะติดกันแน่นเป็นกลุ่มก้อน เรียกว่า ฟล็อก (Floc) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีวิธีดังนี้

2.5.2.1 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราการเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่เร็วจนเกินไป เพราะจะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือฟล็อกกูเลชัน เรียกว่า ถังกวนช้า และเทคนิคการสร้างสัมผัสเรียกว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.



รูปที่ 2.13 เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคต่างๆ (มั่นสิน, 2542ก)

2.5.2.2 การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เอง โดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นกับอุณหภูมิด้วย เทคนิคนี้เรียกว่า Perikinetic Flocculation

2.5.2.3 การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกกูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกกูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้องกว่า 50 มก./ล. ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟลิกกูเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อกกูเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน

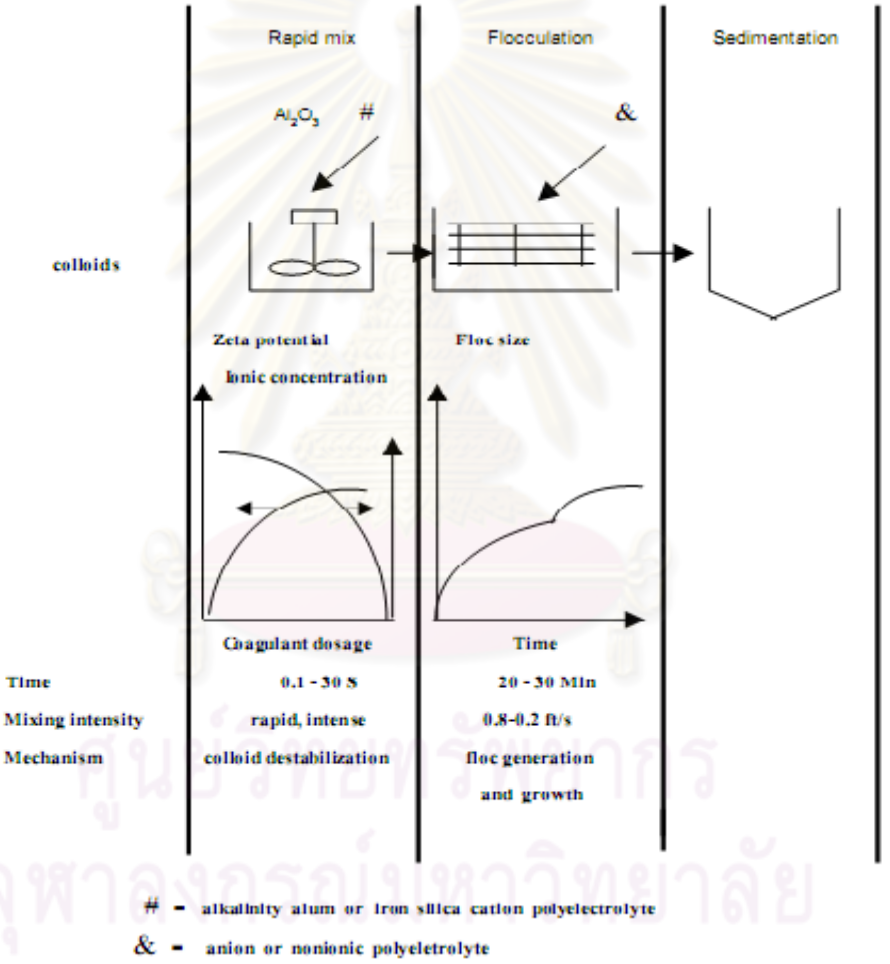
2.5.2.4 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอน แล่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟล็อกกูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขกระทำได้ดังนี้

(1) ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองช่วยเพิ่มอัตราการสัมผัสให้และยังบังคับให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อกกูเลชันเช่นนี้ เรียกว่า กรองสัมผัส (Contract Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล. การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทราย

อาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟล็อกกูเลชันไม่ดีเท่าชั้นทราย

(2) ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งคือ เอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคคอลลอยด์จากนั้นจึงสร้างสัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ

2.5.2.5 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย



รูปที่ 2.14 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการเกิดกระบวนการตกตะกอน (โอภาส, 2546)

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตัวกันตกตะกอน

ในกระบวนการสร้างและรวมตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังนี้

2.6.1 ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ

เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ หรือเป็นคอลลลอยด์ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีโอกาสถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าประเภทที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) หากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2.6.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิลดลง ความหนืด (Viscosity) ของน้ำจะเพิ่มขึ้น เพราะมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนืดของน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าพีเอชก็จะเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลมากในกรณีที่ใส่สารเคมีสร้างตะกอนในปริมาณต่ำ และเมื่ออุณหภูมิลดลง การเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของสารเคมีในน้ำย่อมลดลงไปด้วย

2.6.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างตะกอนจะสมบูรณ์ ต้องอาศัยส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำที่สำคัญ ได้แก่ สภาพความเป็นด่างในน้ำ (Alkalinity) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอช เพื่อให้ปฏิกิริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.6.4 พีเอชที่เหมาะสม

สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชต่างๆ กัน การเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำที่ไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้เปลืองสารเคมีที่ใช้แล้ว ยังจะทำให้คุณภาพน้ำไม่ดีเท่าที่ควรและการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ไม่มีประสิทธิภาพ

2.6.5 ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอนและรวมตะกอน

สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมสำหรับทำลายอนุภาคคอลลอยด์แต่ละชนิดได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ความเร็วของการตกตะกอน ความยากง่ายในการใช้งาน รวมทั้งราคาด้วย

2.6.6 เกลือของสารละลาย

ในน้ำเสียมักจะพบเกลืออนินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อช่วงพีเอชที่เหมาะสม คือจะทำให้ช่วงกว้างขึ้น และปริมาณสารช่วยสร้างตะกอนจะใช้มากขึ้น

2.6.7 ระดับความขุ่นในน้ำ

หมายถึงปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำ โดยน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์จำนวนมากจะใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณมี่น้อยกว่า อีกทั้งยังตกตะกอนได้ดีกว่าเนื่องจากมีเป้าสัมผัสมากกว่าน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยกว่า

2.6.8 เวลาและความแรงในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว

การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นปวนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคคอลลอยด์ได้ทั่วถึงและยังเป็นการช่วยประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นถ้าใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อให้มีโอกาสลอยมาสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด โดยทั่วไปการกวนเร็วใช้เวลา 30 – 90 วินาที ส่วนการกวนช้าใช้เวลาประมาณ 30 – 60 นาที

2.7 การเลือกใช้สารเคมีในการตกตะกอน

สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนมีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ สารส้ม เฟอริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (ACH) โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ (PACl) เป็นต้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสม สำหรับการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกสารเคมีในการตกตะกอน จึงต้องมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของสารเคมีแต่ละชนิด โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test) หรือโดยวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential) ซึ่งวิธีจาร์เทสต์จะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและใช้กันมานานแล้ว ในการศึกษาจะคำนึงถึงปริมาณสารเคมีที่ใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ความเร็วของการตกตะกอน ความยากง่ายในการใช้งานและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้สารเคมีแต่ละชนิด

2.7.1 การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน

สารส้ม (Alum) หรืออะลูมินียมซัลเฟต เป็นเกลืออะลูมิเนียม ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตน้ำประปา มีขายทั้งแบบเป็นสารละลาย เป็นผงและเป็นเม็ด มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีครีม สารส้มละลายน้ำได้ดีเมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อนเหล็กหรือคอนกรีตได้ ถังที่ใช้ละลายสารก่อนเติมลงในน้ำควรใช้ถังพลาสติก หรือแสตนแลส เมื่อเกลืออะลูมิเนียมอยู่ในน้ำจะไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วไปเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนต่างๆ พีเอชของสารละลายในขณะเริ่มต้นมีความสำคัญมากเพราะจะเป็นตัวกำหนดว่าอะลูมิเนียมเชิงซ้อนตัวใดจะเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในน้ำนั้น

สารส้มมีสูตรโมเลกุลคือ $Al_2(SO_4)_3.XH_2O$ ซึ่งโดยปกติ X มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยา

$$Al_2(SO_4)_3 \longrightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-} \quad (1)$$

อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จะถูกล้อมรอบด้วย 6 โมเลกุลของน้ำได้ $Al(H_2O)_6^{3+}$ ไฮโดรไลซีสของอะลูมิเนียมไอออนจะเกิดขึ้นทันที ตามสมการดังนี้

$Al^{3+} + H_2O \rightarrow Al(OH)^{2+} + H^+$ (2)

$Al^{3+} + 2H_2O \rightarrow Al(OH)_2^+ + 2H^+$ (3)

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

ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation point) ไฮโดรไลซีสจะดำเนินต่อไป จนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึกของ $Al(OH)_3$ ดังปฏิกิริยา

$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$ (5)

$Al(OH)_3$ มีคุณสมบัติในการเป็น amphoteric คือ สามารถละลายได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง ดังปฏิกิริยา

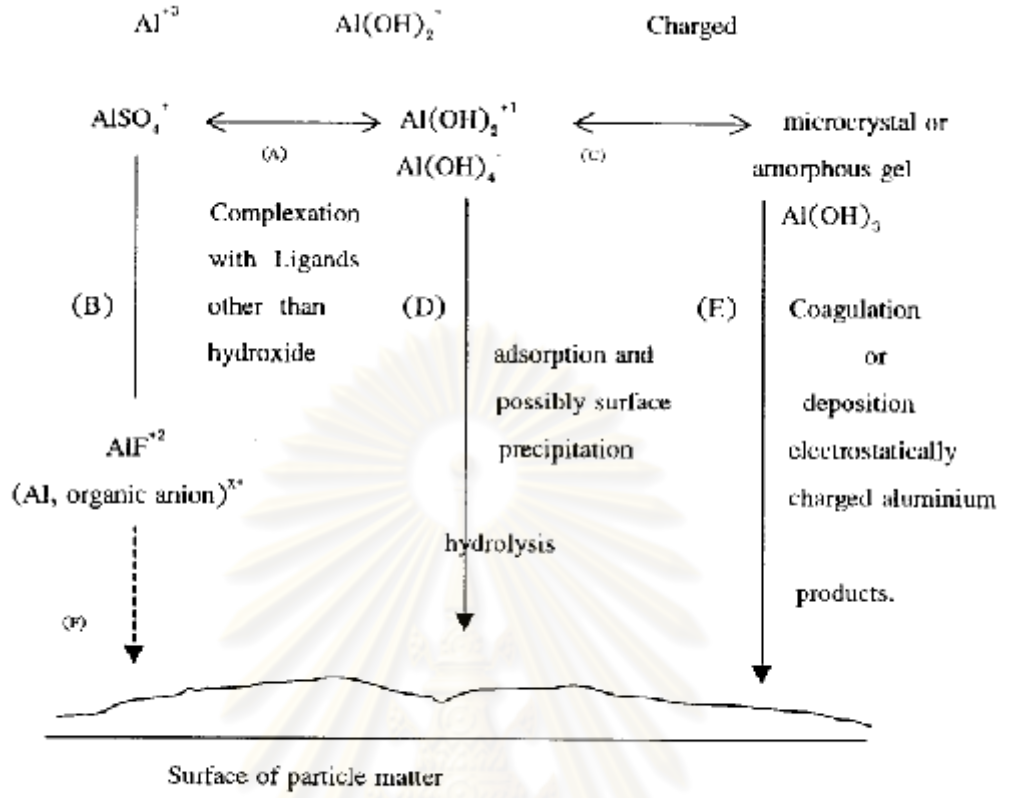
$Al^{3+} + 3OH^- \leftrightarrow Al(OH)_3 \leftrightarrow H^+ + AlO_2^- + H_2O$ (6)

Insoluble $Al(OH)_3$ สามารถอยู่ในสมดุลกับ Al^{3+} กับ OH^- หรือ H^+ กับ AlO_2^- (meta-aluminate ion) และในสภาวะสารละลายอิ่มตัว ผลคูณของความเข้มข้นของ Al^{3+} และ OH^- ($[Al^{3+}][OH^-]^3$) จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของ $Al(OH)_3$ และผลคูณของความเข้มข้นของ H^+ และ AlO_2^- ($[H^+][AlO_2^-]$) จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของ $HAl_2.H_2O$

การเติมกรดแก่จะให้ H^+ ซึ่งจะรวมกับ OH^- ได้เป็น H_2O ทำให้ $[Al^{3+}][OH^-]^3$ น้อยกว่าค่า K_{sp} ของ $Al(OH)_3$ และ $Al(OH)_3$ จะละลาย

ถ้าเติมด่างแก่จะให้ OH^- ซึ่งจะรวมกับ H^+ ได้เป็น $[H^+][AlO_2^-]$ น้อยกว่าค่า K_{sp} ของ $HAl_2.H_2O$ (meta-aluminate acid) และ $Al(OH)_3$ จะละลาย

ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ คือ สารประกอบเชิงซ้อนซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโรไลซีสจากอะลูมิเนียมไอออนกับตะกอนของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่ง Driscoll และ Letterman (1988) ได้เสนอแบบจำลองในการเกิดสารประกอบอะลูมิเนียม ดังในรูปที่ 2.11 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำ ชนิดของสารประกอบอะลูมิเนียมที่เกิดจะขึ้นอยู่กับสภาพของสารละลาย เช่น ความเข้มข้นของเกลืออะลูมิเนียมที่ใส่ลงไป อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ รวมทั้งพื้นที่ผิวอนุภาค



รูปที่2.15 แสดงแบบจำลองวิถีทางอะลูมิเนียมในน้ำ (วิโรจน์, 2544)

สารประกอบเชิงซ้อนอาจจะมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำดังกล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (zero point of charge) ของตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$, $Al(OH)_5^{2-}$ ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้าของตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการตกตะกอนจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนประจุบวก เช่น $Al(OH)^{2+}$ $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_{17}^{4+}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$

สารส้มที่เติมลงในน้ำ ทำให้เกิดกลไกของการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไก ดังนี้

1.) กลไกการดูดติดผิวและการทำลายประจุ (Adsorption and charge neutralization)

กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวกทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้กับอนุภาครวมตัวจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกนี้มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ซึ่งจะควบคุมการทำงานได้ดีนั้นยาก เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำไปการตกตะกอนจะไม่เกิด แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาค

เปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก แต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย

2.) กลไกแบบกวาด (Sweep coagulation)

กลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบกวาดของสารส้มเกิดขึ้นในกรณีความเข้มข้นของสารส้มมากเกินพอจนปฏิกิริยาดำเนินไปได้ผลึกของ $Al(OH)_3$ กลไกแบบนี้จะเกิดดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณสารส้มมากเกินพอ จนทำให้ผลคูณของ Al^{3+} และ OH^- ($[Al^{3+}][OH^-]^3$) มีค่าเกินกว่า K_{sp} และพีเอชของน้ำควรอยู่ในช่วง 6 – 7.5 ซึ่งทำให้ผลึก $Al(OH)_3$ มีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้าในลักษณะดังกล่าว $Al(OH)_3$ และอนุภาคคอลลอยด์จะรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

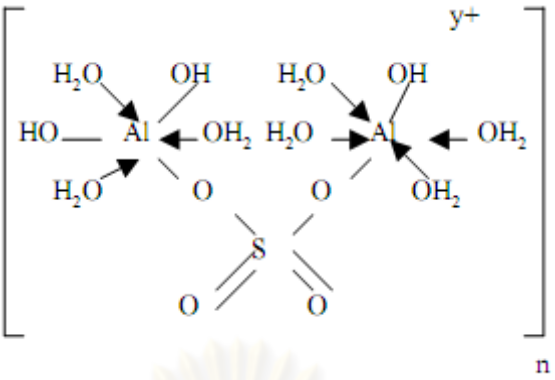
3.) กลไกการตกตะกอนแบบร่วม (Combination coagulation)

กลไกการตกตะกอนแบบร่วมเป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัดสภาวะดังกล่าวจัดเป็นกลไกแบบร่วมซึ่งจะเกิดขึ้น เมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด

2.7.2 การใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน

โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride; PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ถูกเตรียมขึ้นโดยอะลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$

เมื่อโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แตกตัวจะได้อะลูมิเนียมที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออน จึงเกิดการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$ $Al_6(OH)_{15}^{+3}$ เป็นต้น ซึ่งมีอะลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า polymeric hydroxo complex อันมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์เสียเสถียรภาพแล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคขนาดที่ใหญ่ขึ้นแล้วตกตะกอนลงมา ในกระบวนการฟล็อกนั้น พีเอชของน้ำมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกเกิดขึ้นมากจะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ นอกจากอะลูมิเนียมจะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ อะลูมิเนียมยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในน้ำกลายเป็น $Al(OH)_3$



รูปที่ 2.16 โครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PACl (วิโรจน์, 2544)

เมื่อ PACl ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนหลายชนิด ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ $[Al_3O_4(OH)_{24}]^{7-}$ หรือ Al^{3+} ซึ่งการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนตัวนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของด่างกับสารละลายอะลูมิเนียม ชนิดและความเข้มข้นของด่าง ความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์และอุณหภูมิ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ปริมาณของด่างที่เติมลงไปและระดับความเป็นกลาง (Kaeding, 1992)

$$Al_2(OH)_3Cl_3 \longrightarrow Al_2(OH)_3^{3+} + 3Cl^- + 3H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3H^+ + 3Cl^-$$

เมื่อนำโพลีอะลูมินัมคลอไรด์มาใช้เป็นสารตกตะกอนแทนสารส้มพบว่า

1.) ใช้ได้กับน้ำในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5.5 หรือที่พีเอชมากกว่า 7 (Dempsey, 1985 ; Kaeding, 1992 ; Packham และ Ratnayaka 1992 ; Povillot และ Suty, 1992)

2.) น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะมีความขุ่นอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ head loss ของระบบการกรองอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม (Kaeding, 1992)

3.) ใช้ได้กับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้ (Simson และคณะ, 1988 ; Povillot และ Suty, 1992)

4.) ทำให้เกิดการรวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็ว และมีความแข็งแรงกว่าและตกตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้ม (Nilsson, 1992 ; Packham และ Ratnayaka 1992)

5.) เมื่อใช้ PACl เป็นสารสร้างตะกอนจะไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารช่วยตกตะกอน (Coagulant aid) (Packham และ Ratnayaka 1992 ; Povillot และ Suty, 1992)

6.) ภายหลังการบำบัดแล้วน้ำที่ได้จะมีพีเอชไม่ต่ำมากเหมือนกับการใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน (Simson และคณะ, 1988)

7.) การนำ PACl มาใช้เป็นสารตกตะกอนในกระบวนการบำบัดนั้นไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ (Viraraghavan และ Wimmer, 1988) รวมทั้งไม่ต้องเปลี่ยนแปลงจุดที่จะใส่สารตกตะกอนเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำเลย (Kaeding, 1992)

8.) ทำให้อะลูมิเนียมตกค้างในน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มแล้วพบว่า PACl จะทำให้อะลูมิเนียมตกค้างในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมิเนียมละลายกลับออกมาจาก PACl ในปริมาณน้อยกว่านั่นเอง (Simson และคณะ, 1988 ; Kaeding, 1992 ; Povillot และ Suty, 1992)

9.) ทำให้ปริมาตรของ slugde ในปริมาณมากกว่าการใช้สารส้ม แต่เมื่อคิดในน้ำหนักแห้ง (dry weight) แล้วจะมีน้ำหนักน้อยกว่าการใช้สารส้ม (Kaeding, 1992) และในประเทศญี่ปุ่นได้นำเอา slugde ที่แห้งแล้วไปถมที่ (land fill) หรือใช้เป็นตัวช่วยบำรุงดิน (soil conditioner) และอาจนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ (Kawamura และ Trussell, 1991)

10.) สามารถนำมาใช้กับน้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำและความขุ่นสูงได้ อีกทั้งยังใช้ PACl ในปริมาณที่น้อยกว่าสารส้ม (Kawamura และ Trussell, 1991)

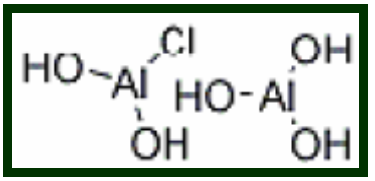
11.) Dempsey และคณะ (1985) ทำการทดลองและรายงานว่าที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำๆ ถึงปานกลางพบว่า PACl เป็นสารตกตะกอนที่ดีกว่าสารส้ม (โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5 หรือพีเอชมากกว่า 7)

12.) Viraraghavan และ Wimmer (1988) ได้ทำการทดลองหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมของสารส้ม และ PACl ที่อุณหภูมิ 7, 10 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าในการกำจัดความขุ่นนั้น PACl มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ 1/3 ถึง 2/3 ของปริมาณสารส้ม และ PACl สามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าการใช้สารส้มร้อยละ 20 ในทุกๆ อุณหภูมิที่ทดสอบซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่ได้มีการเพิ่มสารโพลิเมอร์เพื่อใช้เป็นตัวช่วยตกตะกอนและสามารถใช้ PACl ได้ในช่วงของอุณหภูมิที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำในภายหลังด้วย

13.) Hundt และ O'Melia (1988) ทำการทดลองพบว่า PACl สามารถกำจัด fulvic acid ที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่ำได้ดีกว่าการใช้สารส้มและ PACl มีความเหมาะสมที่จะใช้กับน้ำที่มีสารอินทรีย์และพีเอชต่ำ เพราะทำให้ใช้ PACl ในปริมาณที่น้อยกว่าสารตกตะกอนที่เป็นอะลูมิเนียมอื่นๆ

14.) แม้ว่า PACl จะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารตกตะกอน แต่ก็ยังมีราคาแพงกว่าสารส้มถึง 2.5 – 3 เท่า แม้ว่าจะช่วยประหยัดในเรื่องของการปรับพีเอชและโพลิเมอร์ที่จะต้องเติมลงไปก็ตาม (Viraraghavan และ Wimmer, 1988)

2.7.3 การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตเป็นสารตกตะกอน



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (ChemicalBook Inc, 2008)

อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate; ACH) เป็นเกลือชนิดหนึ่งมีสูตรทางเคมีว่า $Al_2(OH)_5Cl$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 174.45 การสังเคราะห์ทำได้โดยการทำปฏิกิริยาของอะลูมิเนียมกับกรดไฮโดรคลอริก อะลูมิเนียมที่ใช้ได้แก่ aluminium metal, alumina trihydrate, aluminium chloride, aluminium sulfate คุณสมบัติที่สำคัญของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต คือ ในโครงสร้างของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตมีอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 23% พีเอชของสารละลายประมาณ 3.5 – 4.5 และมีค่า basicity (ค่าเฉลี่ยของ OH^-/Al^{3+}) เท่ากับ 83% จึงทำให้ในโครงสร้างมีประจุบวกมากกว่าสารส้มหรือสารตกตะกอนชนิดอื่นๆ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต แสดงดังนี้

$$Al_2(OH)_5Cl \longrightarrow Al_2(OH)_5^+ + Cl^- + H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_3$$

เนื่องจากในโครงสร้างของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตมีประจุบวกมากกว่า (เพราะมีค่าเฉลี่ยของ OH^-/Al^3สูง 83%) สารตกตะกอนชนิดอื่นๆ จึงทำให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าสารชนิดอื่น คือ ปริมาณการใช้ในการตกตะกอนจะใช้ปริมาณสารน้อยกว่า หลังตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตจะทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นอกจากนั้นช่วงพีเอชของน้ำสำหรับการบำบัดยังสามารถใช้ได้ในช่วงกว้าง คือ 5 - 9

ในทางอุตสาหกรรมอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตนอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นสารตกตะกอนแล้วยังมีคุณสมบัติสามารถบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำได้ทั้งของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) โลหะ (Metal) ฟอสเฟต (Phosphate) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) และทีโอซี (total organic carbon; TOC) ได้อีกด้วย

2.7.4 สารตกตะกอนอื่นๆ ได้แก่

1. เฟอริคคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมีว่า $FeCl_3.6H_2O$ หรือ $FeCl_3$ anhydrous มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง และเป็นเม็ดสีเขียวหรือดำและยังมีในรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติละลายน้ำได้ดีและเติมน้ำดิบในรูปสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอริคไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$)

เฟอริคคลอไรด์จะเป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบเหล็ก เมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวก สามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในน้ำตะกอน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอริคคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอนและเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ bicarbonate alkalinity

$$2FeCl_3 + 3Ca(HCO_3)_2 + 3H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaCl_2 + 3HCO_3 + 3H^+$$

$$2FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CaCl_2$$

กระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้มไม่อาจได้ผลดีนักกับน้ำอ่อนที่มีสีเข้ม กรณีเช่นนี้เฟอริคคลอไรด์ให้ผลดีกว่า เมื่อเติมเฟอริคคลอไรด์ให้กับน้ำจะมีผลึกเฟอริคไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ดังนี้ (มั่นสิน, 2542ก)

$$FeCl_3 + 3H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3 + 3HCl$$

ข้อดีอีกประการของเฟริคคลอไรด์คือ สามารถตกตะกอนกับน้ำที่มี H_2S ได้ดี

2. เฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulfate) มีสูตรทางเคมีคือ $FeSO_4.7H_2O$ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า copperas ในการใช้งานต้องการน้ำที่มีความเป็นด่างไบคาร์บอเนต เพราะน้ำทั่วไปจะมีความเป็นด่างไม่เพียงพอ สำหรับทำปฏิกิริยากับเฟอรัสซัลเฟตให้เกิดเฟอรัสออกไซด์ ไม่เหมาะที่จะใช้กับน้ำที่มีความกระด้างต่ำหรือมีสี ไม่ควรใช้สารตัวนี้เพียงตัวเดียวในการผลิตน้ำประปา ในการใช้งานเฟอรัสซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำหรือโดยการเติมด่างลงไปในน้ำ เพื่อให้เกิดเป็นเฟอรัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) แต่เนื่องจากเฟอรัสไฮดรอกไซด์ละลายน้ำได้ดี จึงต้องออกซิไดซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นเฟอริคไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซึ่งละลายน้ำได้น้อย เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์ได้ การออกซิไดซ์จะเกิดขึ้นที่พีเอชของน้ำค่อนข้างสูงกว่า 8.4 เท่านั้น โดยการเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ หรือการเติมคลอรีน

3. เฟอริคซัลเฟต (Ferric sulfate) มีสูตรทางเคมีว่า $Fe_2(SO_4)_3$ ใช้ตกตะกอนได้ในช่วงพีเอชที่กว้างตั้งแต่ 4 - 11 ใช้ในการกำจัดสีที่ช่วงพีเอช 5.6 ได้และยังเหมาะสำหรับการกำจัดเหล็กและแมงกานีสที่พีเอชสูงอีกด้วย ในการใช้งานเฟอริคซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำหรือด่างที่เติมลงไป เช่น ปูนขาว หรือโซดาแอช ดังสมการ

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaHCO_3 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 6CO_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 3CO_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaOH \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3Na_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4$$

2.8 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aid)

สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) หมายถึงสารที่ช่วยทำให้สารสร้างตะกอนมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของสารช่วยสร้างตะกอน ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ แอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ดินเหนียวชนิดต่างๆ ปูนขาว เป็นต้น ในปัจจุบันสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ สารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่างๆ ซึ่งเรียกว่า โพลิเมอร์ (Polymer) หรือโพลีอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) เมื่อเติมลงไปโพลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนมาสัมผัสและยึดเกาะ

สารช่วยสร้างตะกอนมักไม่ใช่สิ่งจำเป็นในกระบวนการตกตะกอน ของระบบผลิตน้ำประปา ทั้งนี้เพราะลำพังเพียงสารส้มหรือสารประกอบเหล็ก สามารถตกตะกอนให้กับน้ำดิบตามธรรมชาติได้โดยไม่ยาก อย่างไรก็ตามในบางครั้งการใช้สารตกตะกอนเพียงอย่างเดียวอาจสิ้นเปลืองมากในกรณีที่น้ำที่มีความขุ่นสูงการใช้สารช่วยสร้างตะกอนเพียงเล็กน้อยอาจช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายสารตกตะกอนได้ โพลิเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

1.) โพลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)

2.) โพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ สังเคราะห์ขึ้นจากโมโนเมอร์หลายๆ โมโนเมอร์รวมกันหรือสามารถทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มหน้าที่ของโมโนเมอร์ องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของโพลิเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว

ประเภทของโพลิเมอร์สามารถแบ่งได้ตามชนิดของโมโนเมอร์ ดังนี้

1.) โพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนโพลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของ Nitrogen groups มีประสิทธิภาพในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่าง Cationic Polymer ได้แก่ Polydialyldimethyl ammonium เป็นต้น

2.) โพลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ acrylamide ที่ละลายอยู่ใน acrylic acid ตัวอย่าง Anionic Polymer ได้แก่ Polyacrylamide acid (PAA) hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) และ polystyrene sulfate (PSS) สารรวมตะกอน Anionic Polymer มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่ม amide group (NH_2) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anioic monomer จนเป็น acrylamide polymer

3.) โพลิเมอร์ไม่มีประจุ (Nonionic Polymer) ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติ nonionic polymer อาจจะเกิดจากการ

รวมกันของสารอนินทรีย์โพลิเมอร์ inorganic polymer และสารอินทรีย์โพลิเมอร์ (organic polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของฟล็อก

Kawamura (1976) รายงานว่าการนำโพลิเมอร์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนหรือสารช่วยสร้างตะกอนให้ตกตะกอนกันอย่างมาก เนื่องจาก

- การใช้โพลิเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดได้
- ทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น
- ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยเมื่อเทียบกับสารตกตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็ก
- ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนรวดเร็วกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน
- สะดวกในการใช้งาน
- ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้
- โพลิเมอร์จะทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน
- ทำให้สารเคมีบางชนิด เช่น ซัลเฟตตกค้างในน้ำในปริมาณที่น้อย

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้

1.) ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกสารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2.) ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน จึงต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

3.) พีเอชที่เหมาะสมกับในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดพีเอชหนึ่งเท่านั้น

4.) ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์,2526)

5.) เวลาและความแรงของการผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอน ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนจำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก (ศุภฤกษ์ สินสุวรรณ,2528)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 Aluminium chlorohydrate (ACH)

เกศรินทร์ วรเดชวิทยา (2552) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและ สาหร่าย เซลล์เดียวในน้ำดิบจากคลองประปา โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Modified Polyaluminium Chloride, PACl) และอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate, ACH) และสารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนในการผลิตน้ำประปา และใช้สารช่วยสร้างตะกอน คือ โพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ประจุบวก ทำการทดลองด้วยวิธีจาร์เทสต์ เพื่อหาค่าปริมาณสร้างตะกอนและสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสม โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอน ผลการศึกษาพบว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดสามารถกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลอง ประปาที่มีค่าความขุ่นต่ำ (น้อยกว่า 50 เอ็นทียู) ได้ตามมาตรฐานการผลิตน้ำประปา (ต่ำกว่า 5 เอ็นที ยู) ซึ่งใช้ปริมาณสารส้มมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 25.0 1.6 และ 1.0 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.54 88.61 และ 88.90 ตามลำดับ มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.100 0.032 และ 0.014 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม. และพบว่าโพลีเมอร์สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดลงได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น สำหรับผลการทดลองเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนในการตกตะกอนสาหร่ายในน้ำดิบ พบว่าอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตสามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด รองลงมาคือสารส้ม และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 2.2 30.0 และ 1.6 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการ กำจัดสาหร่ายร้อยละ 77.94 68.18 และ 66.82 ตามลำดับ มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.044 0.120 และ 0.022 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม.

สาวิตรี ตาสุติน (2552) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์และน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate; ACH) เป็นสารตกตะกอนในการผลิตน้ำประปาด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยทดลองหาค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้น ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารช่วยตกตะกอน จากการศึกษาพบว่าค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนที่เหมาะสม คือ ค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนเร็วที่ 469 วินาที$^{-1}$ เป็นเวลา 1 นาที ค่าเกรเดียนท์ของกวนช้าที่ 112 วินาที$^{-1}$ เป็นเวลา 15 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตเป็นสารตกตะกอนเพียงอย่างเดียวก็สามารถกำจัดความขุ่นจากน้ำจากคลองประปาที่ความขุ่นเริ่มต้น 26.6 และ 86.65 เอ็นทียู ให้ได้ตามมาตรฐานน้ำประปา (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) ที่ความเข้มข้นเพียง 2 และ 4 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.51 -

94.73 ตามลำดับ โดยไม่ต้องปรับพีเอชของน้ำและไม่ต้องใช้โพลิเมอร์ร่วมด้วย และตะกอนหนักที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำมากเพียง 0.1 และ 3.5 มล./ล. เมื่อนำน้ำใสส่วนบนไปวิเคราะห์หาอะลูมิเนียมในน้ำพบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มเท่ากับ 10 และ 20 ไมโครกรัม/ล. และมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 0.06 และ 0.12 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม. ผลการทดลองเปรียบเทียบสารตกตะกอนชนิดต่างๆ ได้แก่ สารส้ม อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง (modified PACl) เป็นสารตกตะกอนที่ความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปา 65.5 - 86.8 เอ็นทียู พบว่าสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดความขุ่นได้ตามมาตรฐานน้ำประปา ซึ่งปริมาณการใช้สารส้มมากที่สุด รองลงมาคืออะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ที่ 35, 4 และ 1.4 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพการกำจัดขุ่น ร้อยละ 94.05, 94.73 และ 93.66 ตามลำดับ ข้อดีของการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง คือ น้ำหลังตกตะกอนมีโลหะอะลูมิเนียมเหลือต่ำมากเท่ากับ 0.02 และ 0.055 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนสารส้มพบว่ามีอะลูมิเนียมในน้ำสูงถึง 0.115 มก./ล.

Bachand และคณะ (2006) ศึกษาการบำบัดความขุ่นและฟอสฟอรัสในน้ำจากทะเลสาบ Tahoe ช่วงฤดูฝนความขุ่นประมาณ 65-90 NTU โดยใช้ ACH เป็นสารตกตะกอน ทำการกวนเร็วที่ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที กวนช้าที่ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้น 3.8 mgAl^{3+}/L สามารถลดความขุ่นเหลือ 2.36 NTU และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสเหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

Lindqvist และคณะ (2002) ศึกษาการกำจัด natural organic matter จากทะเลสาบ Roine ประเทศฟินแลนด์โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารโคแอคกูแลนท์ 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เฟอริคคลอไรด์ และเฟอริคซัลเฟต และสารช่วยตกตะกอน (Polymeric Flocculant Aids) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของ ACH อยู่ในช่วง 6.6 – 6.8 ปริมาณที่เหมาะสมของ mg ACH/mg ของสารอินทรีย์ละลายน้ำเท่ากับ 1.3 mg Al/mg ของสารอินทรีย์ละลายน้ำ และเมื่อใช้ Polyacrylamide ร่วมกับ ACH สามารถจำกัดความขุ่นได้ดีที่สุด

Tran และคณะ (2006) ศึกษาการกำจัด natural organic matter จากแม่น้ำ Ouyen และ แม่น้ำ Meredith ประเทศออสเตรเลียโดยวิธีจาร์เทสต์ ใช้ ACH เป็นสารตกตะกอน กวนเร็วที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาทีและทิ้งให้ตกตะกอน 60 นาที พบว่า ACH ที่ความเข้มข้น 322 μmol/L สามารถกำจัดความขุ่นของแม่น้ำ

Ouyen ได้ 87-93 % และที่ความเข้มข้น 351 μmol/L สามารถกำจัดความขุ่นของแม่น้ำ Meredith ได้ 85-89 %

2.10.2 PACl

วาริท เจาะจิตต์ (2541) ศึกษาการใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกคลอไรด์และเบนโทไนท์ ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีและวิเคราะห์ค่าซีโอดีความขุ่นร่วมด้วย โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปของการลดการดูดกลืนแสงและศึกษาเพิ่มเติมการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวก คือ Zetang-63 เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารสร้างตะกอน พบว่า สารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่สุดจะใช้ในการกำจัดสีจากโรงงานสิ่งทอ คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ กำจัดสีได้เฉลี่ย 70.88% กำจัดความขุ่นได้เฉลี่ย 89.62% กำจัดซีโอดีได้เฉลี่ย 36.74% ช่วงปริมาณของเฟอร์ริกคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 750-1000 มก./ล. ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 8.5-9 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีอยู่ในช่วง 8.25-14.75 บาท/ลบ.ม. สำหรับการใช้สารโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอนพบว่าไม่มีความจำเป็น เพราะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ขนิษฐา เจริญลาภ (2545) ศึกษาการกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ จากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ซึ่งใช้สารตกตะกอน 5 ชนิด คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริคซัลเฟต และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่าสีไดเร็กท์ สารตกตะกอนทั้ง 5 ชนิด มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยสีไดเร็กท์ตกตะกอนได้เกือบ 100% ส่วนสีดิสเพิร์ส พบว่าโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการตกตะกอนสี คือ 97% และเฟอร์รัสซัลเฟตมีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ ประมาณ 41% สำหรับสีรีแอกทีฟ พบว่าสารตกตะกอนทั้ง 5 ชนิดนี้ไม่สามารถตกตะกอนสีรีแอกทีฟได้เลย ต้องอาศัยสารช่วยในการตกตะกอน

โอภาส (2546) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยกระบวนการตกตะกอน โดยใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ สารส้ม ปูนขาว และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่า สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีปริมาณที่เหมาะสม คือ 280, 1,100 และ 100 มก./ล. ตามลำดับ พีเอชที่เหมาะสมของสารส้มและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชก่อนการบำบัด แต่ปูนขาวจำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด เมื่อเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนทั้งสามชนิดพบว่า โพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีความเหมาะสมจะใช้เป็นสารสร้างตะกอนมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 99.54 บำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 88.21 บำบัด

ซีโอดีได้ร้อยละ 87.63 บำบัดสารแขวนลอยได้ร้อยละ 91.60 บำบัดทีเคเอ็นได้ร้อยละ 24.92 บำบัดฟอสเฟตทั้งหมดได้ร้อยละ 94.14 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการบำบัดคือ 10.24 บาท/ลบ.ม.

2.10.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดสีย้อมโดยวิธีอื่น

ปิ่นสยาม ภูมิพาณิชย์ (2546) การวิจัยสครั้งนี้มุ่งศึกษาการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยวิธีตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณอิออนของเหล็กที่ละลายจากขั้วแอโนดและความนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟในน้ำเสียซึ่งสังเคราะห์ขึ้นจากสีย้อมรีแอกทีฟ 4 โทนสี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีแดงและสีเหลือง การทดลองทำในถังปฏิกริริยาแบบเท ซึ่งภายในบรรจุด้วยขั้วไฟฟ้าไบโพลาร์ที่ทำจากแผ่นเหล็กต่อกันแบบอนุกรม โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 แอมแปร์ 50 โวลต์ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของปริมาณอิออนของเหล็กที่ละลายจากขั้วแอโนดต่อการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟโทนสีต่างๆ ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 5 7 9 และ 11 ช่วงที่สองทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของความนำไฟฟ้า ต่อการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟโทนสีต่างๆ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 5 10 15 20 และ 30 กรัมต่อลิตร จากการศึกษาพบว่าปริมาณอิออนของเหล็กที่เหมาะสมในการบำบัดสีดำ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง เมื่อใช้ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในช่วง 120-187 177-186 95 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีโดยเฉลี่ยร้อยละ 92 97.5 89.5 และ 87.5 ตามลำดับ ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7-9 และใช้เวลาในการบำบัดโดยประมาณ 3-4 ชั่วโมง ในทุกโทนสี ความนำไฟฟ้าที่เหมาะสมในการบำบัดสีคือ 8.56 9.36 24.20 และ 24.60 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร สำหรับสีดำ สีน้ำเงิน สีแดงและสีเหลืองตามลำดับ หรือที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อลิตร สำหรับสีดำและสีน้ำเงินและ 15 กรัมต่อลิตร สำหรับสีแดงและสีเหลือง ปริมาณอิออนของเหล็กที่ผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด โดยจะแปรผันตามกัน โดยการเพิ่มความนำไฟฟ้าให้แก่น้ำเสียส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการบำบัดสั้นลง โดยใช้เวลาประมาณไม่เกิน 1 ชั่วโมง

ทิตยา (2549) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ด้วยสารสร้างตะกอนได้แก่ สารส้ม ไคโตซาน เฟอริคคลอไรด์และโพลีอิเลกโตรไลท์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยสารส้ม คือ ที่ความเข้มข้น 500 มก./ล. พีเอช 8 บำบัดซีโอดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 88.89, 85.60 และ 86.23 ตามลำดับ การบำบัดด้วยเฟอริคคลอไรด์มีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้น 500 มก./ล. พีเอช 10 สามารถบำบัดซีดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 100, 84.23 และ 60.29 ตามลำดับ การ

บำบัดด้วยโพลีอิเลกโตรไลท์มีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้น 0.7 มก./ล. พีเอช 6 สามารถบำบัดซีโอดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 52.78, 50.72 และ 77.09 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยไคโตซานไม่สามารถบำบัดซีโอดีได้ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีและความขุ่น คือ ที่ความเข้มข้น 80 มก./ล. พีเอช 6 สามารถบำบัดสีและความขุ่นได้ร้อยละ 59.10 และ 69.13 ตามลำดับ สารเคมีที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทดลองครั้งนี้คือ สารส้ม เฟอริคคลอไรด์ และโพลีอิเลกโตรไลท์ ตามลำดับ

สิรินันท์ กันสิริ (2550) ศึกษาการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหิน พบว่าปริมาณซีโอไลต์สังเคราะห์ที่เหมาะสมในการกำจัดซีโอดีและสีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม คือ 20 กรัม พีเอชน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมเท่ากับ 7 ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ 120 นาที นำไปทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวสามารถอธิบายได้โดย ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ซึ่งสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้คือ $x/m = 5.27x10^{-23} Ce^{10.705}$ พบว่า ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ด้วยเถ้าลอยถ่านหินที่กระตุ้นด้วยสารละลาย spent alkaline 1 กรัม สามารถดูดติดผิวสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 24.71 มิลลิกรัม

Luangdilok และ Panswad (2000) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดสี ภายใต้สีรีแอกทีฟที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน ด้วยแบบจำลองขนาดโต๊ะทดลองระบบเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกที่มีเวลวัฏจักรเท่ากับ 24 ชั่วโมง โดยมีเวลา แอนแอโรบิก + แอโรบิก เท่ากับ 18+5 ชั่วโมง และมีอายุสลัดจ์เท่ากับ 8 วัน การศึกษานี้ใช้น้ำเสียสีสังเคราะห์ที่มีซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ลิตร และสีที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้สีรีแอกทีฟที่มีโครงสร้างต่างๆ ดังนี้

- สี (1) C.I.Reactive Black 5 มีโครงสร้าง Diazo VinylSulphonyl
- สี (2) C.I.Reactive Blue R มีโครงสร้าง Anthraquinone Visulsulphonyl
- สี (3) C.I.Reactive Blue CR มีโครงสร้าง Anthraquinone Monochlorotrizinyl
- สี (4) C.I.Reactive Blue H-EGN มีโครงสร้าง Oxazine

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพการลดสีเมื่อความเข้มสีต่างกันในแต่ละโครงสร้างสี โดยใช้ความเข้มที่ 20 และ 100 มก./ล. และสามารถสรุปได้ดังนี้

- เมื่อความเข้มของสี (1) ต่างกันจะเห็นว่าประสิทธิภาพของการลดสีในหน่วย SU มีความแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วนในหน่วยของ ADMI จะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เป็นเพราะหน่วย ADMI เป็นการวัดสีที่คิดขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าของสีที่มีปริมาณน้อยๆ (ประมาณ 300-500 ADMI) ดังนั้นเมื่อใช้หน่วยนี้วัดสีที่เข้มข้นมากอาจทำให้ได้ค่าวัดสีที่คลาดเคลื่อนได้ ส่วนสีที่มีโครงสร้างเอนทราควิโนนทั้งสองชนิด สี (2) และสี (3) เมื่อมีความเข้มสีสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพ

ลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับสีที่มีโครงสร้าง Oxazine สี (4) พบว่าสีที่ปรากฏและเห็นด้วยตาในถังปฏิกิริยาช่วงแอนแอโรบิกมีการลดของสีจนแทบจะไม่มีสี แต่เมื่อตักน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์กลับปรากฏว่ามีสีเข้มขึ้นมาอีกซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถหาสาเหตุได้

- ผู้วิจัยกล่าวว่าจากการสังเกตกราฟแอบซอบแบนซ์ที่เกิดขึ้นจากการสแกนความเข้มสีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 400-700 นาโนเมตร การลดของสี (1 จะมีการเปลี่ยนความยาวคลื่นเด่น (dominant wavelength) และมีการลดของค่าแอบของแบนซ์ลงด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดสีของสีอะโซจะเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างสี ส่วนสีที่มีโครางสร้างแอนทราควิโนนทั้งสองนั้นเมื่อมีการลดสีจะไม่มีการเปลี่ยนความยาวคลื่นเด่น แต่มีค่าแอบซอบเบนซ์ลดลง แสดงว่ามีการลดสีแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสี ซึ่งอาจกล่าวว่ากลไกการลดสีของสีแอนทราควิโนนน่าจะเกิดจากการดูดซับไว้บนฟล็อก ดังนั้นเมื่อความเข้มสีเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการลดสีต่ำลงเพราะการจำกัดของการดูดซับสีของฟล็อก สำหรับสีออกซาซีนยังไม่สามารถสรุปกลไกหลักในการลดสีได้

- ผู้วิจัยติดตามการเปลี่ยนแปลงของสี (1) ด้วยเทคนิคทาง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยสรุปว่าสีเปลี่ยนโครงสร้างในกระบวนการแอนแอโรบิก ซึ่งทำให้เกิดการลดสี

Kim และคณะ (2004) ศึกษาการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้เฟอริคคลอไรด์ (Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สและสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้เฟอริค คลอไรด์ ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 3.6 ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเฟอริคคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟค่อนข้างดี และมีความสามารถในการกำจัด สีย้อมดิสเพอร์สดีมาก

Kumar และคณะ (2007) ศึกษากระบวนการกำจัดสีและลดซีโอดีในน้ำเสียฟอกย้อมจากโรงงานทอผ้าฝ้ายโดยใช้กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนและการตกตะกอน พบว่าสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมคือ สารส้มและใช้ copper sulphate เป็นตัวกระตุ้นในปฏิกิริยาใช้ความร้อน สามารถกำจัดสีได้เฉลี่ย 94.4% กำจัดซีโอดีได้เฉลี่ย 89.91% ปริมาณของสารส้มที่เหมาะสมคือ 2 กก./ลบ.ม. ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 4

ตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ใช้ในการกำจัดสีและซีโอดี

ผู้วิจัย	ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ (mM)	TCOD			SCOD			สี		
Kim และคณะ (2004) -Disperse dye		น้ำเสีย (mg/l)	น้ำทิ้ง (mg/l)	%การกำจัด	น้ำเสีย (mg/l)	น้ำทิ้ง (mg/l)	%การกำจัด	น้ำเสีย (ADMI)	น้ำทิ้ง (ADMI)	%การกำจัด
-D.B. 106	0.93	685	121	82.3	542	114	79.0	500	11.14	97.7
- D.Y. 54	0.74	864	104	88.0	443	90	79.7	500	2.21	99.6
- Reactive dye - R.B. 49	2.78	336	274	26.5	333	229	31.2	500	195.57	60.9
- R.Y. 84	1.85	245	82	66.5	237	77	67.5	500	143.56	71.3

Wang และคณะ (2006) ศึกษาการใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมีในการฟื้นฟูสภาพซีโอไลต์เพื่อนำไปใช้ในการกำจัดสีย้อมในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 2.7×10^{-5} โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส MCM-22 มีสมดุลของการดูดซับเท่ากับ 1.7×10^{-4} โมลต่อกรัม การฟื้นฟูสภาพ MCM-22 โดยเผาที่อุณหภูมิสูงจะให้ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการฟื้นฟูโดยวิธี Fenton oxidation อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเผา คือ เผาที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง MCM-22 ที่ฟื้นฟูสภาพมีความสามารถในการดูดซับมากกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วิธี Fenton oxidation ความสามารถในการดูดซับ 60 เปอร์เซ็นต์

Frijters และคณะ (2006) ศึกษาการกำจัดสีและความเป็นพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีการปนเปื้อนของสีย้อมที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำโดยใช้ระบบแอนแอโรบิกควบคู่กับแอโรบิก (Decolorizing and detoxifying textile wastewater containing both soluble and insoluble dyes, in a full scale combined anaerobic/aerobic system)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ sequential anaerobic/aerobic ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยระบบ sequential anaerobic/aerobic ประกอบด้วยถังปฏิกิริยาแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่เดินระบบแบบแอนแอโรบิก ขนาด 70 ลูกบาศก์เมตร และถังเติมอากาศที่มีการติดตั้งแผ่นเอียงขนาด 450 ลูกบาศก์เมตร โดยน้ำที่ส่งเข้าสู่ถังปฏิกิริยาแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะต้องปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.9 ถึง 7.4 และควบคุมอุณหภูมิของระบบให้อยู่ที่ 35-40 องศาเซลเซียส ส่วนในระบบแอโรบิกจะควบคุมเวลากักพักน้ำที่ 43 ชั่วโมง และอายุตะกอนที่

12 วัน โดยมีการเติมอากาศที่ผิวน้ำที่อัตรา 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากผลการวิจัยนี้พบว่า ระบบแอนแอโรบิกมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 80-95 และระบบแอโรบิกแทบจะไม่มีนัยสำคัญสำหรับการกำจัดสี แต่เป็นที่น่าสนใจว่าสีประเภทสีย้อมแวท แอนทราควิโนน และอินดิโกจะถูกกำจัดโดยระบบแอโรบิกเป็นหลัก ทั้งนี้การทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นว่าระบบ sequential anaerobic/aerobic สามารถกำจัดสีย้อมได้ทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ระบบ sequential anaerobic/aerobic ยังสามารถกำจัดความเป็นพิษได้อย่างสมบูรณ์ด้วยเมื่อวัดความเป็นพิษตามวิธี Microtox™® ซึ่งในการทดลองนี้เมื่อวัดค่าความเป็นพิษของน้ำที่ออกจากระบบแอนแอโรบิกพบว่ายังมีความเป็นพิษสูง แต่เมื่อวัดค่าความเป็นพิษของน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ผ่านทั้งระบบแอนแอโรบิกและแอโรบิกจะไม่พบความเป็นพิษ อย่างไรก็ตาม เมื่อทดลองโดยให้น้ำผ่านการบำบัดโดยระบบแอโรบิกเพียงอย่างเดียวก็พบว่ายังมีความเป็นพิษอยู่ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าในการกำจัดความเป็นพิษจะต้องมีการบำบัดทั้งแบบแอนแอโรบิกและแอโรบิกจึงจะสามารถกำจัดความเป็นพิษได้

Phisit และคณะ (2007) ศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมเอโซโดยใช้ *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 และปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสี (Metabolism of azo dyes by *Lactobacillus casei* TISTR 1500 and effects of various factors on decolorization)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมประเภทเอโซ (Methyl Orange) ด้วย *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 โดยนำเชื้อจุลินทรีย์มาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานนมและโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 จะเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาวะ Microaerophilic ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และในการกำจัดสีนั้น *Lactobacillus casei* สายพันธุ์ TISTR 1500 จะเปลี่ยน sulfonated azo dye (Methyl Orange) เป็นผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ N,N-dimethyl-p-phenylenediamine และ 4-aminobenzenesulfonic acid ซึ่งทำให้พันธะของสีย้อมเอโซแตกออกจากกัน นอกจากนี้ค่าพีเอชก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกำจัดสี โดยในการทดลองนี้พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด(มากกว่าร้อยละ 90) อีกทั้งในกระบวนการกำจัดสีนี้ต้องการคาร์บอน (ซูโครส) เป็นแหล่งพลังงานด้วย การเติมสารให้อิเล็กตรอนในระบบสามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะการสลายตัวของสีย้อมเป็นการสลายโครงสร้างสีทำให้การแสดงสีลดลงไม่ใช่การเปลี่ยนเป็นสีอื่นแล้วเห็นว่าสีเดิมหายไป เห็นได้จากการดูดกลืนคลื่นแสงลดลงทุกความยาวคลื่น คาดว่าสีเอโซทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กทรอนแล้วเกิดการสลายโครโมฟอร์ที่เป็นส่วนแสดงสี และสารให้อิเล็กทรอนกับสีย้อมโมเลกุลอื่นทำให้มีการกำจัดสีได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สถานที่ทำการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1) เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) Panasonic รุ่น G series speed controller DVUS 715 W1
2) เครื่องวัดพีเอช Mettler-toledo รุ่น AG, process analysis CH-8902
3) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV spectrophotometer) รุ่น UV-1601
4) เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น ED 224S
5) เครื่องกรองสุญญากาศ (Vaccuum Pump) พร้อมชุดกรอง
6) เครื่องมือวิเคราะห์ซีโอดี
7) นาฬิกาจับเวลา
8) เดสิเคเตอร์ (Dessicator) พร้อมสารดูดความชื้น
9) ชุดเครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.2.2 สารเคมี

1) สารสร้างตะกอน (Coagulant) ที่ใช้ในการวิจัย คือ
    ก) อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (Aluminum chlorohydrate,ACH) เข้มข้น 50% ชื่อทางการค้า K300 บริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรทางเคมี คือ $Al_2(OH)_5Cl$ พีเอชของสารละลาย 3.5 - 4.5 องค์ประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 23 - 24%
    ข) โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride) แบบปรับแต่ง (Modified Polyaluminium chloride; Modified PACl) เข้มข้น 15% ชื่อทางการค้า GL-15 บริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรทางเคมี คือ $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ พีเอชของสารละลาย 3.5 - 5 องค์ประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 14 - 15%

ค) สีที่ใช้ในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ สีรีแอกทีฟ ที่มีโครงสร้างสี 3 ประเภท ได้แก่ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง รายละเอียดดังตารางที่ 4.1

2) สารช่วยตกตะกอน (Coagulant Aids หรือ polymer) ที่ใช้ในการวิจัย คือ

ก) Cationic Polyelectrolyte โพลิเมอร์ประจุบวก เช่น polydiallyldimethlammonium

ข) Anionic Polyelectrolyte โพลิเมอร์ประจุลบ เช่น polyacrylic acid

3) สารปรับพีเอช : สารละลายกรดซัลฟิวริค (H_2SO_4)

: สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

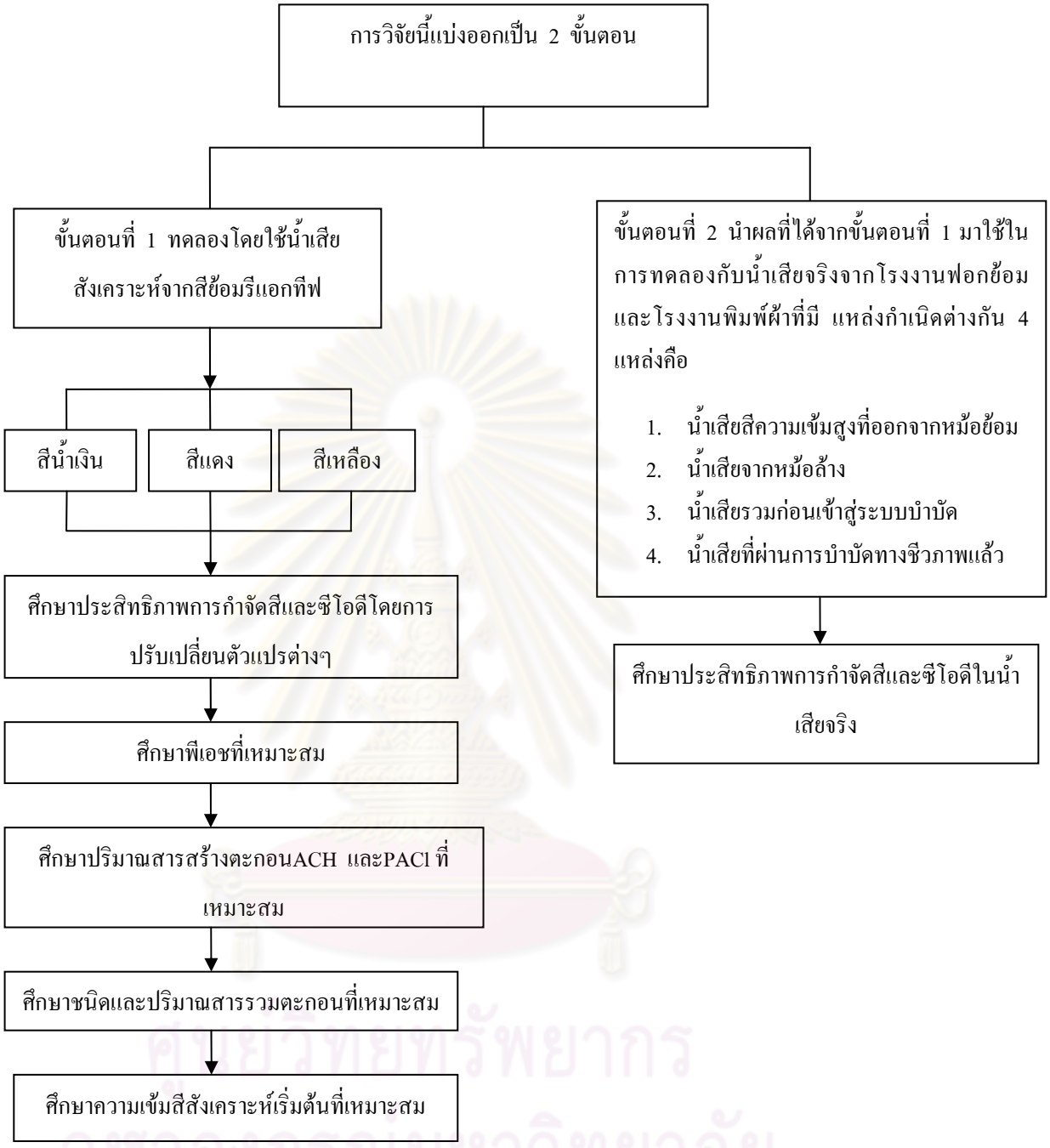
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของสีรีแอกทีฟแต่ละประเภท

รายละเอียดของผลิตภัณฑ์	สีน้ำเงิน	สีแดง	สีเหลือง
Product Name	Remazol Black B gran 133%	Remazol Brilliant Red F-3B	SYNOZOL YELLOW K-3RS 150%
Chemical Characterisation	Diazo dyestuff preparation	Diazo dyestuff preparation	Azo dyestuff preparation
Identification of the Product	C.I. Reactive Black 5	C.I. Reactive Red 180	C.I. Reactive Unknown
Physical state	Powder	Powder	Powder
Color	Dark Blue	Dark Red	Orange
pH value	5.0-7.5 (1% in water)	5.0-7.5 (1% in water)	5.0-7.5 (1% in water)
Solubility in water	>100 g/l at 60^0C	>100 g/l at 60^0C	>100 g/l at 60^0C

ที่มา : ข้อมูล MSDS จากโรงงานฟอกย้อม

3.3 ผังการไหลการดำเนินการทดลอง

การทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยวิธีการตกตะกอนเคมีด้วยสารตกตะกอน 2 ชนิดได้แก่ อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ โดยปรับเปลี่ยนค่าพีเอชเริ่มต้นน้ำเสีย ชนิดและปริมาณโพลีเมอร์ ซึ่งการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมรีแอกทีฟ 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มก./ล. และนำผลที่ได้มาประยุกต์ทดลองใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม ดังมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการทดลอง

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1) การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้สารตกตะกอน ได้แก่ อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต (ACH) และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl)

3.4.1 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

1) การทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียสีรีแอกทีฟสังเคราะห์จะใช้สีรีแอกทีฟ 3 ประเภทได้แก่ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง โดยการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมนี้จะทดลองกับน้ำเสียสีสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท แต่ละประเภทจะปรับให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากันที่ 100 มก./ล.

2) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) น้ำตัวอย่างสีสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภทที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล. ปริมาตร 500 มล.ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นให้มีค่า 4 5 6 7 8 และ 9 ตามลำดับ ด้วย H_2SO_4 0.1 N หรือ NaOH 0.1 N

4) เติมปริมาณ ACH เท่ากับ 60 มก./ล. กวนเร็ว 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที และกวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพีเอช ซีโอดี และและของแข็งละลายน้ำและหาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและค่าซีโอดีที่เหมาะสมของปฏิกิริยาต่อไป

6) ทำการทดลองซ้ำกับ PACl เหมือนเดิมตั้งแต่ข้อ 1-5 ดังรูป 3.2

3.4.2 ศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม

1) น้ำตัวอย่างสีสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภทที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล. ปริมาตร 500 มล. ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1

2) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) เติมปริมาณ ACH 20 30 40 50 60และ 70 มก./ล.

4) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด หาปริมาณ ACH ที่เหมาะสม

6) ทำการทดลองซ้ำกับ PACl ดังรูป 3.3

รูปที่ 3.2 แผนผังการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 แผนผังการศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม

3.4.3 การศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

1) น้ำตัวอย่างสีสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภทที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล. ปริมาตร 500 มล.ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1

2) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) เติมปริมาณ ACH ที่ได้จากข้อ 3.4.2 และเติมโพลีเมอร์ประจุบวกโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 มก./ล.

4) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพีเอช ซีโอดี และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและปริมาณโพลีเมอร์ เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียสีทั้ง 3 ประเภท

6) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนโพลีเมอร์เป็นโพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 มก./ล.

7) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนมาใช้ PACl แทน ACH ดังรูป 3.4

3.4.4 การศึกษาความเข้มข้นสีที่เหมาะสม

1) น้ำตัวอย่างสีสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภทที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันตั้งแต่ 100 200 300 400 500 และ 600 มก./ล. ด้วยสีรีแอกทีฟสีน้ำเงิน สีแดงและสีเหลือง

1) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

2) ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.1

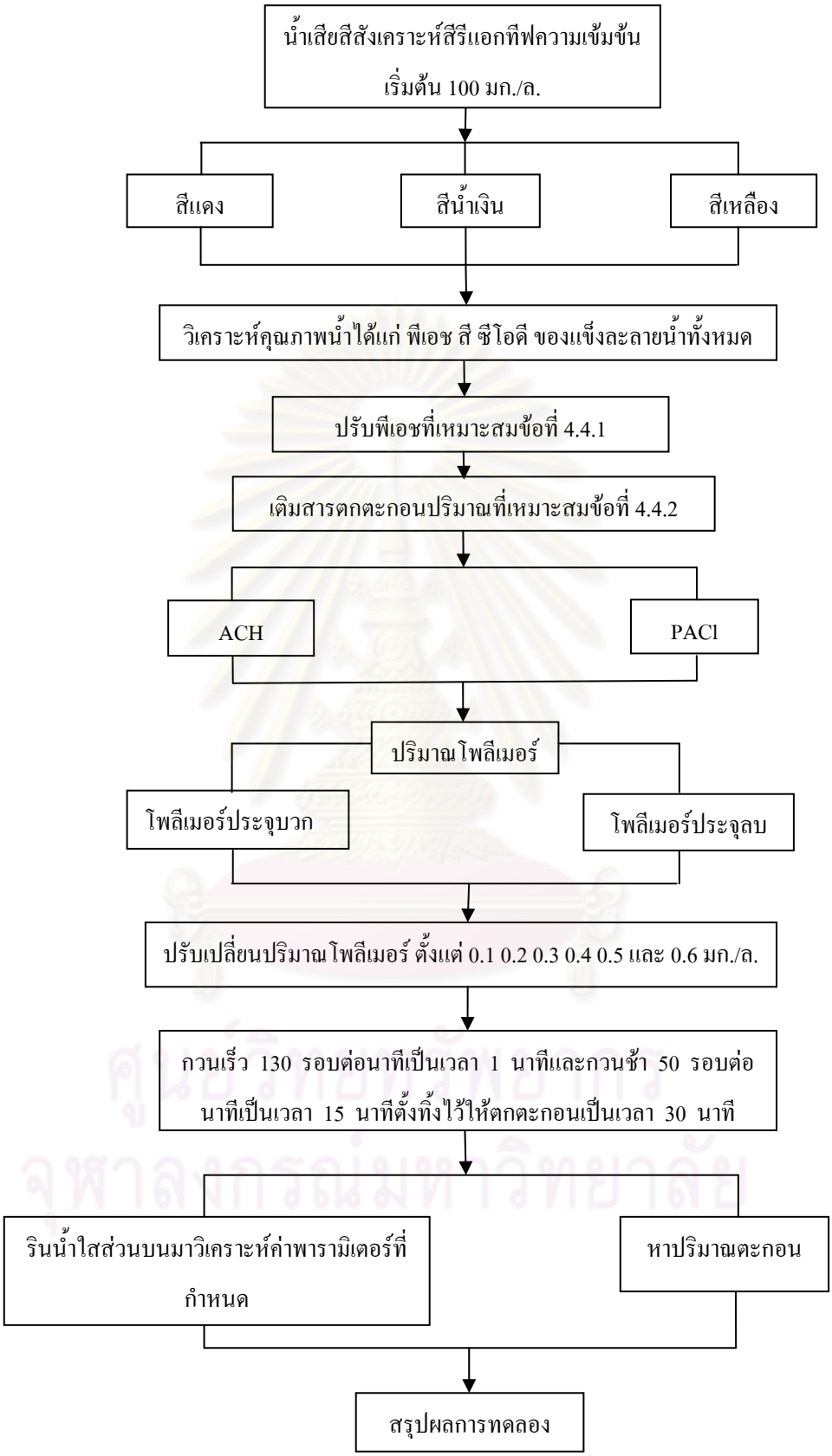
3) เติมปริมาณ ACH ที่ได้จากข้อ 3.4.2 และเติมโพลีเมอร์ประจุบวกที่ได้จากข้อ 4.4.3

4) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

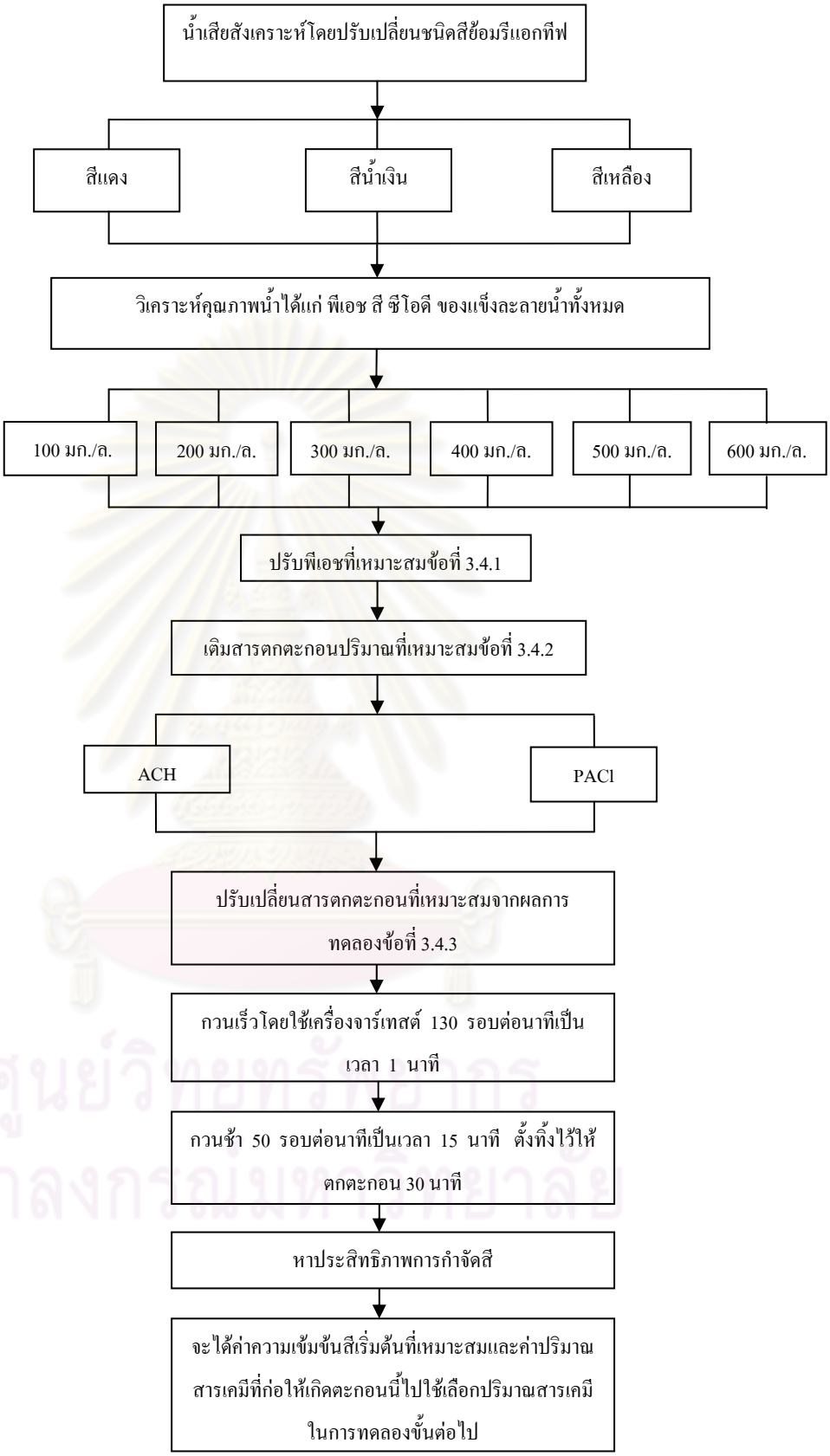
5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพีเอช ซีโอดี และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและปริมาณโพลีเมอร์ เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียสีทั้ง 3 ประเภท

6) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-6 แต่ปรับเปลี่ยนโพลีเมอร์เป็นโพลีเมอร์ประจุลบที่ได้จากข้อ 3.4.3

7) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-7 แต่เปลี่ยนมาใช้ PACl แทน ACH ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังการศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม



รูปที่ 3.5 แผนผังการศึกษาการปรับเปลี่ยนความเข้มสีที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

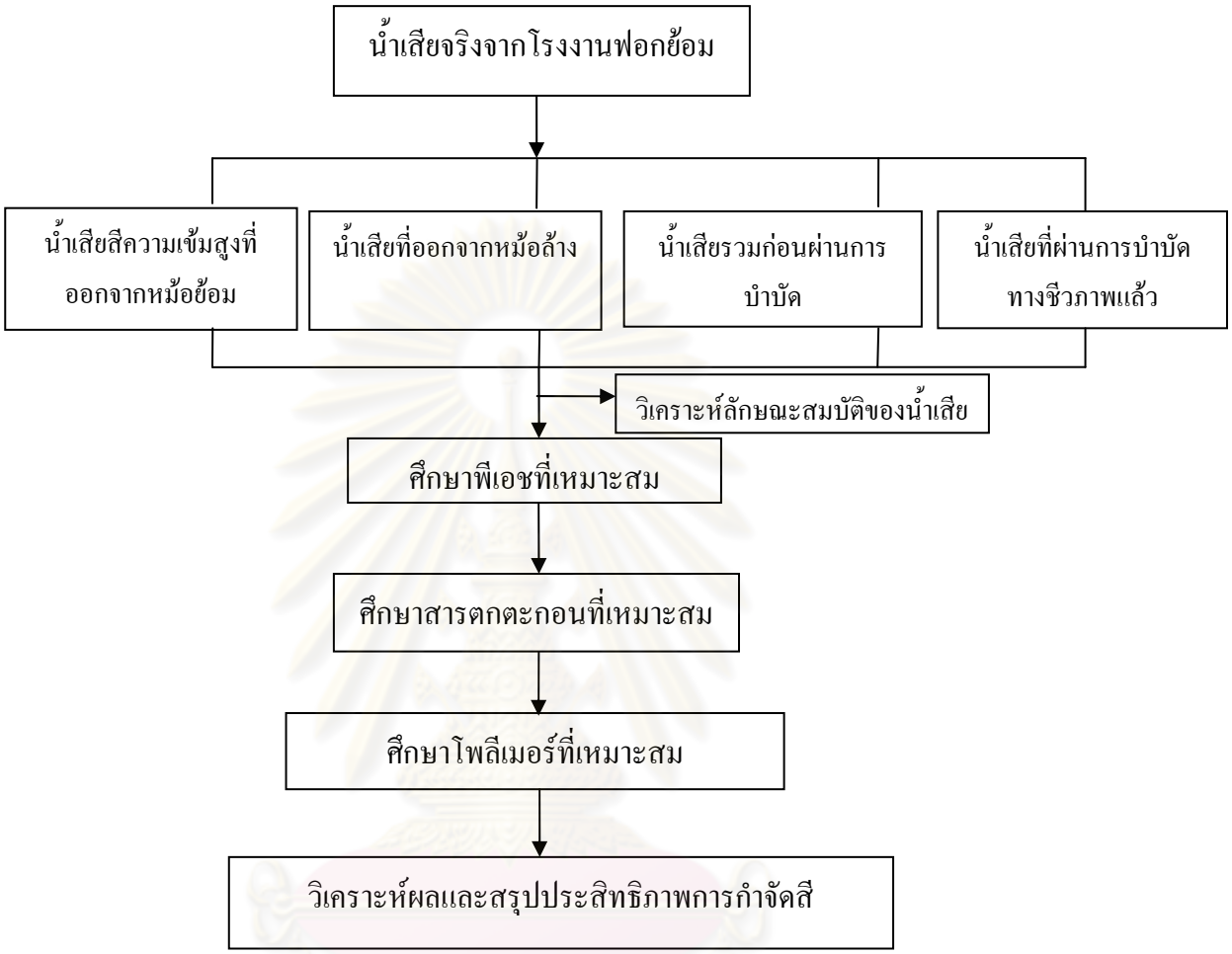
2) การทดลองส่วนที่ 2 ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม

ดำเนินการทดลองแบบแบตซ์ โดยใช้ผลการทดลองที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 เพื่อเป็นแนวทางในการทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยปรับเปลี่ยนชนิดของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด คือ

1. น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมที่มีสีความเข้มสูงออกจากหม้อย้อม
2. น้ำเสียจริงที่เป็นน้ำล้างจากหม้อย้อม
3. น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด
4. น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว

ดำเนินการทดลองกับน้ำเสียจริงจากโรงงานทั้ง 3 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียจริง โดยหาค่าพีเอช ชนิดและปริมาณสาร ACH และ PACl รวมทั้งโพลีเมอร์ที่เหมาะสมโดยวิธีการจาร์เทสเหมือนกับการทดลองน้ำเสียสีสังเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แผนผังการทดลองการตกตะกอนทางเคมีกับน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การทดลองส่วนที่ 2 ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมที่ใช้ในการทดลอง 4 ชนิด คือ น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมที่มีสีความเข้มสูงออกจากหม้อย้อม หม้อล้าง น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว

3.4.5 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

1) การทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม โดยการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมนี้จะทดลองกับน้ำเสียจริงทั้ง 4 ชนิด แต่ละประเภท

2) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) น้ำเสียจริงทั้ง 4 ประเภท ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชน้ำเริ่มต้นจากการทดลองที่3.4.1เติมปริมาณ ACH เท่ากับ 600 มก./ล.กับน้ำเสียหม้อต้มย้อมและน้ำเสียจากล้างส่วนน้ำเสียจากระบบบำบัดรวมและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วเติมเติมปริมาณ ACH เท่ากับ 60 มก./ล.

4) กวนเร็ว 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที และกวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพีเอช ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำ และหาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและค่าซีโอดีที่เหมาะสมของปฏิกิริยาต่อไป

6) ทำการทดลองซ้ำกับ PACl เหมือนเดิมตั้งแต่ข้อ 1-5 ดังรูป 3.7

3.4.6 ศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม

1) น้ำเสียจริงทั้ง 4 ประเภท ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.5

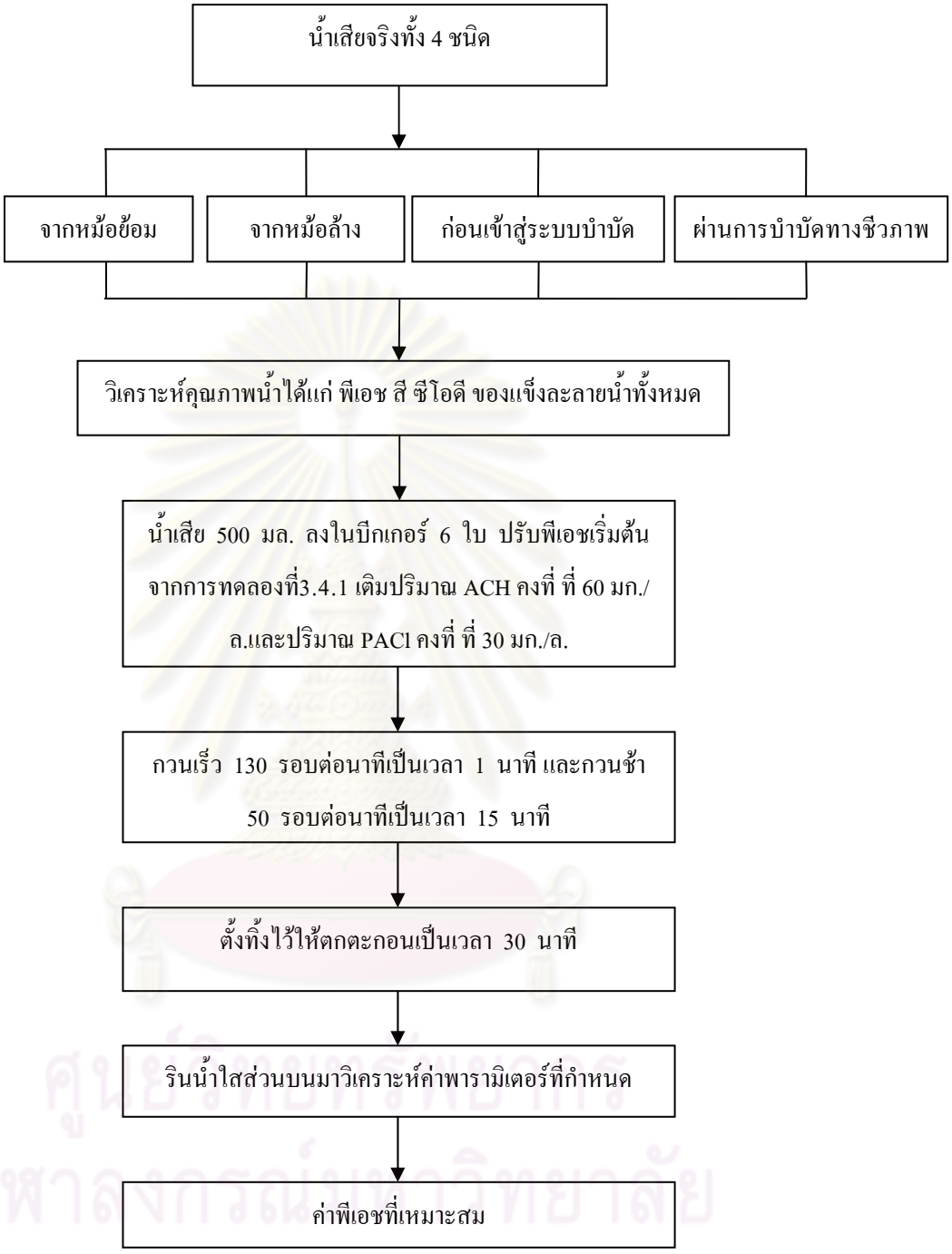
2) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) เติมปริมาณ ACH 100 - 1200 มก./ล.กับน้ำเสียจากหม้อต้มย้อมและหม้อล้าง ส่วนส่วนน้ำเสียจากระบบบำบัดรวมและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วเติมเติมปริมาณ ACH เท่ากับ 10-60 มก./ล.

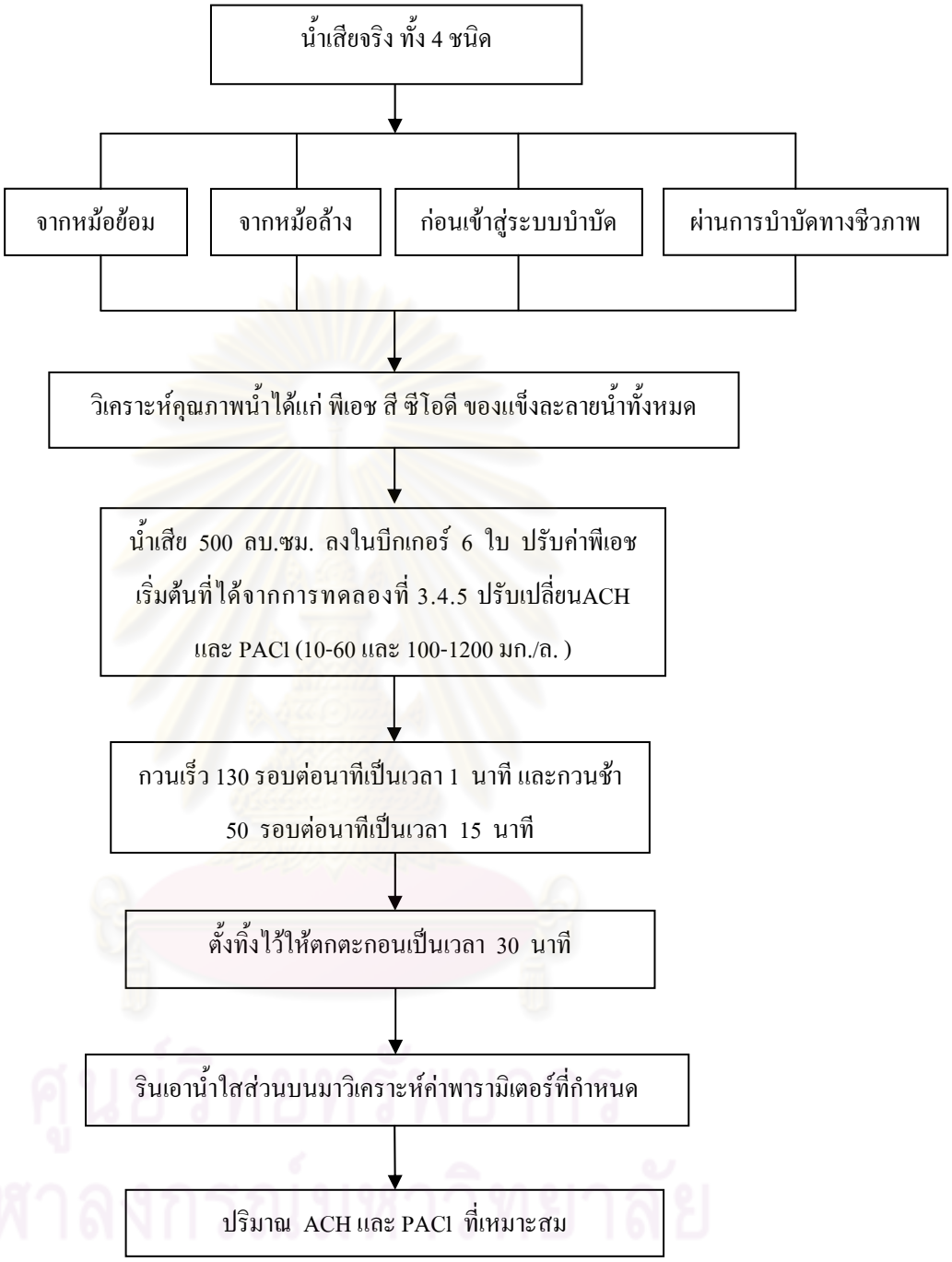
4) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด หาปริมาณ ACH ที่เหมาะสม

6) ทำการทดลองซ้ำกับ PACl ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.7 แผนผังการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม



รูปที่ 3.8 แผนผังการศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม

3.4.7 ศึกษาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม

1) น้ำเสียจริงทั้ง 4 ประเภท ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.5

2) วิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้น ได้แก่ พีเอช สี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) เติมปริมาณ ACH ที่ได้จากข้อ 3.4.6 และเติมโพลีเมอร์ประจุบวกโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 มก./ล.

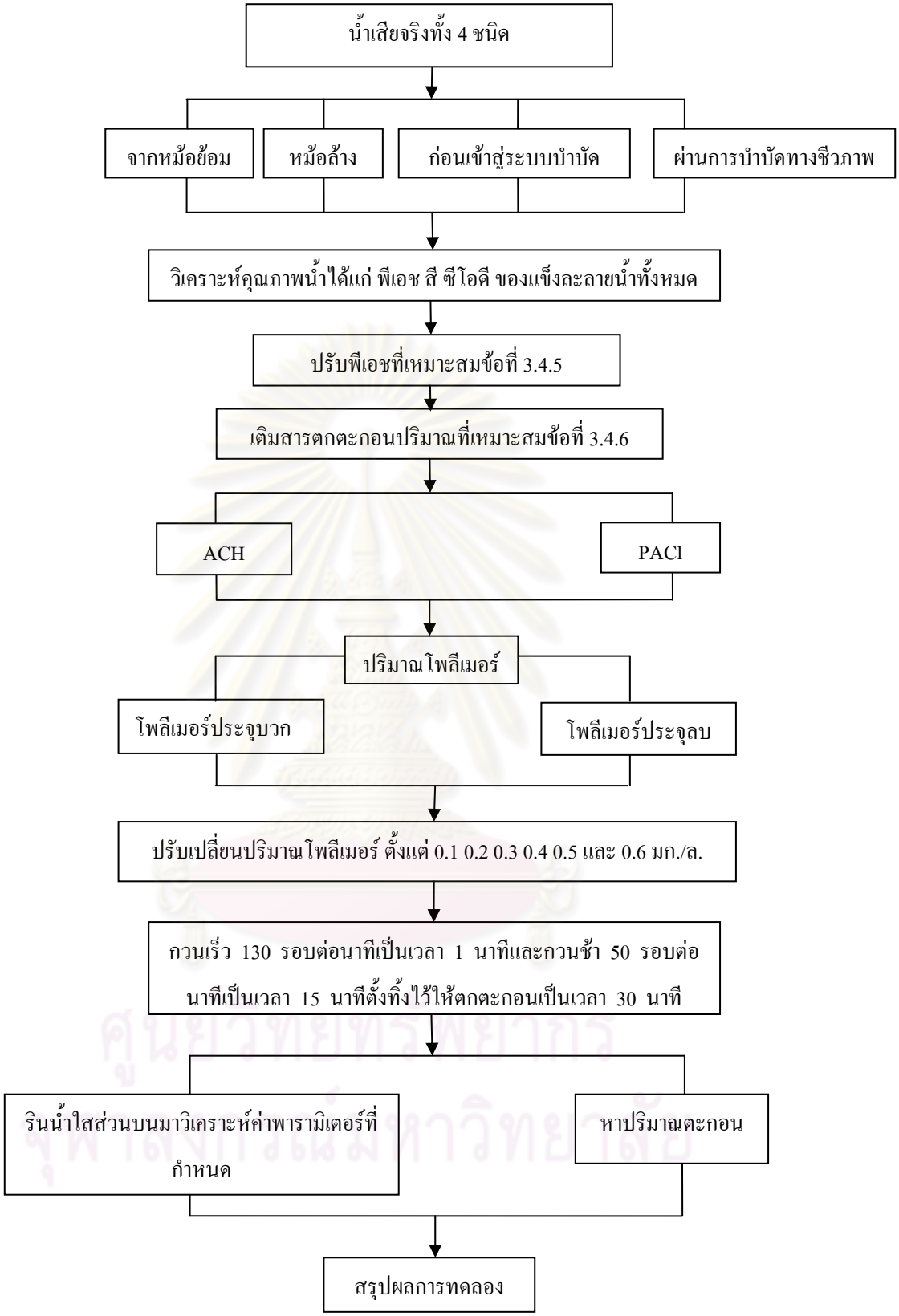
4) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

5) รินเอาน้ำใสส่วนบนมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด หาปริมาณ ACH ที่เหมาะสม

6) เติมปริมาณ ACH ที่ได้จากข้อ 3.4.6 และเติมโพลีเมอร์ประจุลบโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 มก./ล.

7) ทำการทดลองซ้ำกับ PACl ดังรูป 3.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 แผนผังการศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

3.5 ตัวแปรที่ศึกษา

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

การทดลองที่ 1	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
ขั้นตอนที่ 3.4.1 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสม	(ค่าพีเอช) 1. pH= 4 2. pH=5 3. pH=6 4.pH=7 5.pH=8 6.pH= 9	1.อัตราการกวนเร็ว 2.อัตราการกวนช้า 3. เวลาในการทำจาร์เทส 4.ชนิดและเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 6.ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์	1. ค่า pH 2. ซีโอดี 3. สี 4.เอสเอส 5.ปริมาณตะกอน 6.ของแข็งละลายน้ำ
ขั้นตอนที่ 3.4.2 ศึกษาปริมาณสาร ตกตะกอนที่เหมาะสม	1.ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ -ACH -PACl	1.อัตราการกวนเร็ว 2.อัตราการกวนช้า 3. เวลาในการทำจาร์เทส 4.พีเอชเริ่มต้น 5.ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น	1. ค่า pH 2. ซีโอดี 3. สี 4.เอสเอส 5.ปริมาณตะกอน 6.ของแข็งละลายน้ำ
ขั้นตอนที่ 3.4.3 ศึกษาปริมาณสารช่วย ตกตะกอนที่เหมาะสม	1.ชนิดและปริมาณโพลีเมอร์ -โพลีเมอร์ประจุบวก -โพลีเมอร์ประจุลบ	1.อัตราการกวนเร็ว 2.อัตราการกวนช้า 3. เวลาในการตกตะกอน 4.เวลาเก็บกัก 5.พีเอชเริ่มต้น 6.ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น	1. ค่า pH 2. ซีโอดี 3. สี 4.เอสเอส 5.ปริมาณตะกอน 6.ของแข็งละลายน้ำ
ขั้นตอนที่ 3.4.4 ศึกษาความเข้มข้นสีที่ เหมาะสม	1. ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ	1.อัตราการกวนเร็ว 2.อัตราการกวนช้า 3. เวลาในการทำจาร์เทส 4.เวลาเก็บกัก 5.ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ 6.พีเอชเริ่มต้น	1. ค่า pH 2. ซีโอดี 3. สี 4.เอสเอส 5.ปริมาณตะกอน 6.ของแข็งละลายน้ำ
การทดลองที่ 2	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม	1.น้ำเสียที่จากหม้อย้อม 2.น้ำเสียน้ำล้างจากหม้อต้มย้อม 3.น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด 4.น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว	1.อัตราการกวนเร็ว 2.อัตราการกวนช้า 3.เวลาในการทำจาร์เทส 4.เวลาเก็บกัก	1. ค่า pH 2. ซีโอดี 3. สี 4.เอสเอส 5.ปริมาณตะกอน 6.ของแข็งละลายน้ำ

3.6 คำนวณค่าสารเคมีขั้นต้น ในการกำจัดสีจากน้ำเสียประเภทต่างๆ ที่ทำการศึกษา โดยคำนวณจากปริมาณ ACH, PACl และโพลีเมอร์ ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน ในสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองและเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเข้มสีของสารละลายสี	เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
3. สารแขวนลอย	กรอง อบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส
4. ซีโอดี	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
5.ปริมาณตะกอน	Gravimetric method
6.การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำเสียและตะกอน	FTIR
7.ของแข็งละลายน้ำ	ระเหยแห้ง ที่ 103-105 องศาเซลเซียส
8.ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter

3.8 การวัดสี

สำหรับการวัดสีในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้ คือ นำตัวอย่างน้ำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน ทั้งนี้เนื่องจากต้องการวัดค่าสีที่แท้จริง จากนั้นจึงทำการวัดสีโดยวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงหรือค่า Absorbance และค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์ที่ความยาวคลื่นทุกๆ 10 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่นแสงตั้งแต่ 400 ถึง 700 นาโนเมตร จะนำมาคำนวณเป็นค่าสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (Allen และคณะ, 1973 ; Standard methods, 1995)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยการทดลองจาร์เทสต์ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เป็นโทนสีโทน น้ำเงิน สีแดง และโทนสีเหลือง ได้แก่ C.I. Reactive Black 5 C.I. Reactive 180 และ C.I. Reactive Unknow ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นสี 100 มก./ล. และน้ำเสียจริงในการทดลองซึ่งเป็นน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟจากหม้อย้อม หม้อล้าง น้ำเสียรวมก่อนเข้าผ่านการบำบัดและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว

4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

น้ำเสียสังเคราะห์โทนสีน้ำเงิน แดง และเหลืองที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกรดเฉลี่ย 5.44 4.96 และ 5.2 ตามลำดับ มีค่าความเข้มสี ADMI เริ่มต้นอยู่ระหว่าง 2,297- 3,200 และมีค่าการนำไฟฟ้า 116-147 µS/cm ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเภท	pH	ค่าสี ADMI	%T	Absorbent	TDS (mg/L)	ค่าความนำไฟฟ้า (µS/cm)
โทนสีน้ำเงิน C.I. Reactive Black 5	5.43-5.45 Avg. 5.44	2297	60.942	0.098	2,580	123
โทนสีแดง C.I. Reactive 180	4.89-5.02 Avg. 4.96	3024	50.930	0.208	2,620	116
โทนสีเหลือง C.I. Reactive Unknow	5.50-5.54 Avg. 5.52	3200	20.168	0.020	2,460	147

1)โทนสีน้ำเงิน 2)โทนสีแดง 3) โทนสีเหลือง

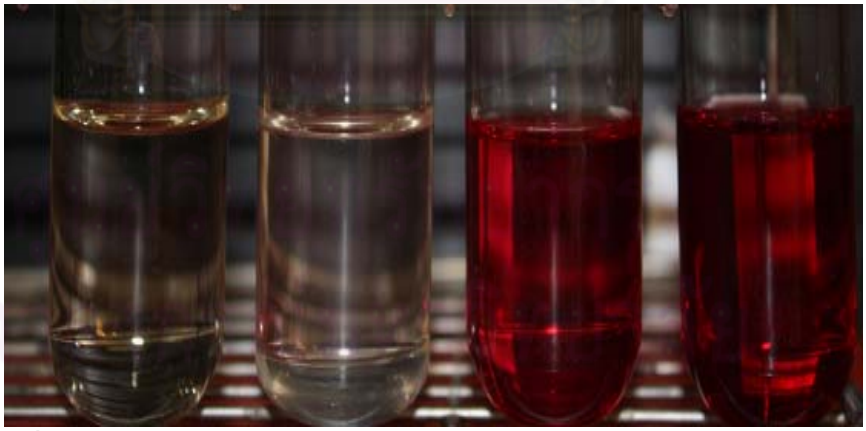
ภาพที่ 4.1 น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2 คุณสมบัติของน้ำเสียจริงจากโรงงานไทยอินเตอร์ คอตตอน

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียพบว่าน้ำจากหม้อต้มย้อมมีค่าพีเอชเป็นด่าง 11.22 มีค่าความเข้มสี ADMI เริ่มต้น 3227 ใกล้เคียงกับน้ำเสียสีสังเคราะห์ และมีค่าของแข็งละลายน้ำ 35,180 มก/ล. น้ำเสียจากหม้อล้างมีค่าพีเอชเป็นด่าง 10.51 มีค่าความเข้มสี ADMI เริ่มต้น 2790 และมีค่าของแข็งละลายน้ำ 10,400 มก/ล. น้ำเสียเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าพีเอชเป็นด่าง 10.48 มีค่าความเข้มสี ADMI เริ่มต้น 151 และมีค่าของแข็งละลายน้ำ 5,270 มก/ล. น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วมีค่าพีเอชเป็นด่าง 8.47 มีค่าความเข้มสี ADMI เริ่มต้น 201 และมีค่าของแข็งละลายน้ำ 3,450 มก/ล. ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 ซึ่งน้ำจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งจากโรงงานยังมีค่าของแข็งละลายน้ำเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งมาก

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งของโรงงานไทยอินเตอร์คอตตอน

ประเภท	pH	COD (mg/L)	TDS (mg/L)	ค่าสี ADMI	%T	Absorbent	ค่าความนำไฟฟ้า (mS/cm)
หม้อต้มย้อม	11.22	421	35,180	3227	38.89	0.379	28.11
หม้อล้าง	10.51	324	10,400	2791	89.34	0.127	9.5
เสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัด	10.48	547	5,270	151	95.67	0.002	3.33
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว	8.47	81	3,450	201	93.21	0.008	6.22
มาตรฐานน้ำทิ้ง	5-9	120	3,000	-	-	-	-



1)น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว 2) เสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัด 3)หม้อล้าง 4)หม้อต้มย้อม

ภาพที่ 4.2 น้ำจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งจากโรงงานไทยอินเตอร์คอตตอน

4.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

4.3.1 การเปรียบเทียบการกำจัดสีและซีโอดี

4.3.1.1 ผลของการศึกษาพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการตกตะกอนซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของสารสร้างตะกอน โดยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำ ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

ในการทดลองนี้ทำการตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง (C.I. Reactive 180) โทนสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5) และโทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknow) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มก./ล. โดยทำการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.05 นอร์มอล ให้น้ำสังเคราะห์มีพีเอชเริ่มต้นให้มีค่า 4 5 6 7 8 และ 9 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดี กล่าวได้ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต ในการตกตะกอนสีย้อมโทนสีแดง (C.I. Reactive 180) และ โทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknow) คือ พีเอช 6 มีความเข้มสีหน่วย ADMI คือ 155 และ 88 ตามลำดับส่วนโทนสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5) ค่าพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 8 มีความเข้มสีในหน่วย ADMI คือ 121 ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตทั้งสามโทนสีพบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอช 6 - 8 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในโทนสีแดง (C.I. Reactive 180) สีเหลือง(C.I. Reactive Unknow) และสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5) เท่ากับ 94.9% 97.2% และ 94.7% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง (C.I. Reactive 180) โทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknow) และโทนสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5) คือ 94.6% 77.2% และ 70.816% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับและภาพที่ 4.3 และ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำที่สภาวะเหมาะสมหลังการตกตะกอน พบว่า มีค่าลดลงโดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งละลายน้ำทั้ง 3 โทนสีอยู่ในช่วงร้อยละ 34.5 - 39.31

ส่วนการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ในการสร้างตะกอนจากผลการทดลอง พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนสีย้อมโทนสีแดงคือ พีเอช 7 มีความเข้มสีในหน่วย ADMI คือ 270 โทนสีเหลืองพีเอช 8 มีความเข้มสีในหน่วย ADMI คือ 146 ส่วนโทนสีน้ำเงินค่าพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 5 มีความเข้มสีในหน่วย ADMI คือ 37 ดังตารางที่ 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมแอกทีฟด้วยโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ทั้งสามโทนสีพบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอช 5 - 8 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในโทนสีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน คือ 91.09% 95.45% และ 98.38% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง โทนสีเหลืองและโทนสีน้ำเงินเท่ากับ 95.39% 71.74% และ 77.55% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายน้ำที่สภาวะเหมาะสมหลังการตกตะกอน พบว่า มีค่าลดลงโดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งละลายน้ำทั้ง 3 โทนสีอยู่ในช่วงร้อยละ 2.85 – 34.69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	น้ำเสียหลังการทดลอง					
			pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9
พีเอช	ACH	4.96	4.25	4.48	5.23	6.23	6.91	6.92
	PACl		4.36	4.33	4.35	5.35	5.39	5.72
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	3024	198	182	155	208	219	481
	PACl		332	300	347	270	284	272
%การกำจัดสี	ACH	-	93.50	93.90	94.90	93.10	92.40	84.10
	PACl		89.04	90.09	88.52	91.09	90.59	90.99
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	93.18	79.90	67.80	5.10	14.50	16.50	15.50
	PACl		32.28	11.30	5	4.30	16.22	9.75
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	14.20	27.20	94.60	84.40	82.23	83.40
	PACl		65.36	87.87	94.63	95.39	82.59	89.54
SS(mg/L)	ACH	-	136.50	102.50	105	62.50	179	79
	PACl		20	22.50	23	42.50	59	55
TDS(mg/l)	ACH	2,580	1,635	1,690	1,690	1,685	1,730	1,740
	PACl		2,535	2,380	1,690	1,685	1,730	1,740
%กำจัดTDS	ACH	-	36.63	34.50	34.50	34.70	32.95	32.56
	PACl		1.74	7.75	34.50	34.69	32.95	32.56
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	5	7	12	8	6	-
	PACl		5	7	12	8	6	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	116	115.15	86.5	89.5	85.5	85.1	92.6
	PACl		115	87	89.5	87	85.5	92.5

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	น้ำเสียหลังการทดลอง					
			pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9
พีเอช	ACH	5.44	4.57	4.91	5.19	6.19	6.38	6.71
	PACl		4.26	4.42	4.46	5.48	5.79	5.53
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	2297	141	138	151	184	121	667
	PACl		126	37	870	159	63	71
%การกำจัดสี	ACH	-	93.80	93.90	93.40	91.70	94.70	70.50
	PACl		94.53	98.38	96.10	93.06	97.24	96.92
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	65.10	62.30	47.50	27.50	24	19	25
	PACl		62.07	14.62	29.92	32	19.51	26.34
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	4.30	26.90	57.70	63.10	70.80	61.60
	PACl		4.66	77.55	54.04	50.85	70.03	59.55
SS(mg/L)	ACH	-	59	41	31	30	13.5	13.5
	PACl		17	20	20	25	25	23
TDS(mg/l)	ACH	2,620	2,050	1,865	1,785	1,760	1,590	1,880
	PACl		1,970	1,940	1,960	1,960	1,970	2,000
%กำจัดTDS	ACH	-	21.76	28.82	31.87	32.82	39.31	28.24
	PACl		24.81	25.95	25.19	25.19	24.81	23.66
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	5	5	5	8	14.5	-
	PACl		2	10	8	8	5	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	123	120.95	90.94	88.40	90.30	93	95
	PACl		148.90	126.70	127.10	124.60	127.20	143.10

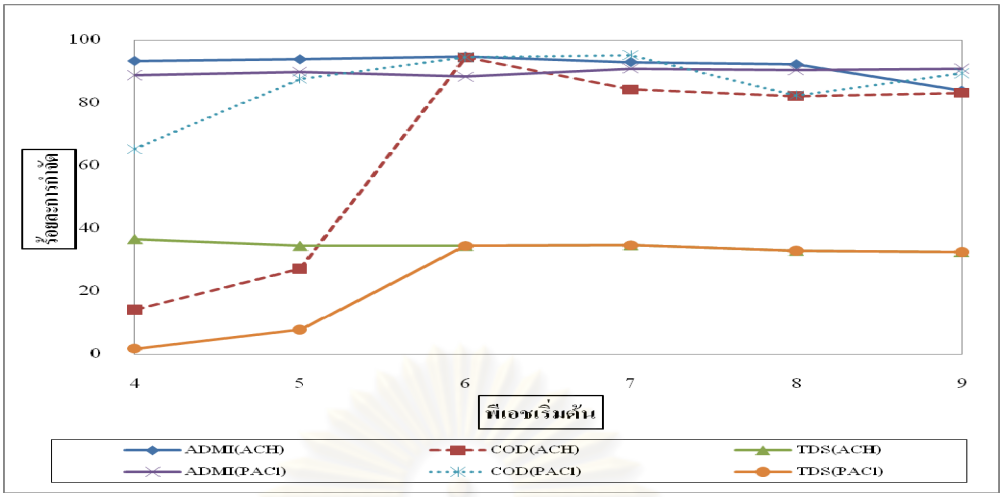
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	น้ำเสียหลังการทดลอง					
			pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9
พีเอช	ACH	5.52	4.27	4.79	5.27	5.97	6.06	6.71
	PACl		4.22	4.68	4.56	5.54	5.70	5.64
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	3200	154	164	88	161	140	186
	PACl		196	171	152	160	146	189
%การกำจัดสี	ACH	-	95.20	94.90	97.20	94.90	95.60	94.20
	PACl		93.89	94.67	95.26	95.01	95.45	94.11
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	85.15	62.10	20.50	19.40	10.90	14.60	26.30
	PACl		54.03	36.23	31.01	31.86	24.06	32.63
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	27.10	75.90	77.20	87.20	82.80	69.10
	PACl		36.55	57.45	63.58	62.59	71.74	61.68
SS(mg/L)	ACH	-	75	67.50	55	65	57.50	65
	PACl		55	40	40	20	20	23
TDS(mg/l)	ACH	2,460	2,000	1,625	1,540	1,600	1,675	1,640
	PACl		2,420	2,230	2,300	2,350	2,390	2,400
%กำจัดTDS	ACH	-	18.70	33.94	37.40	34.96	31.91	33.33
	PACl		1.63	9.35	6.50	4.47	2.85	2.44
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	1.5	3	7	4.50	5.50	4
	PACl		2	4	4	5	8	8
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	147	146.40	94.30	92	95.50	94	110.60
	PACl		150.10	135.80	130.70	130.80	129.40	126.50

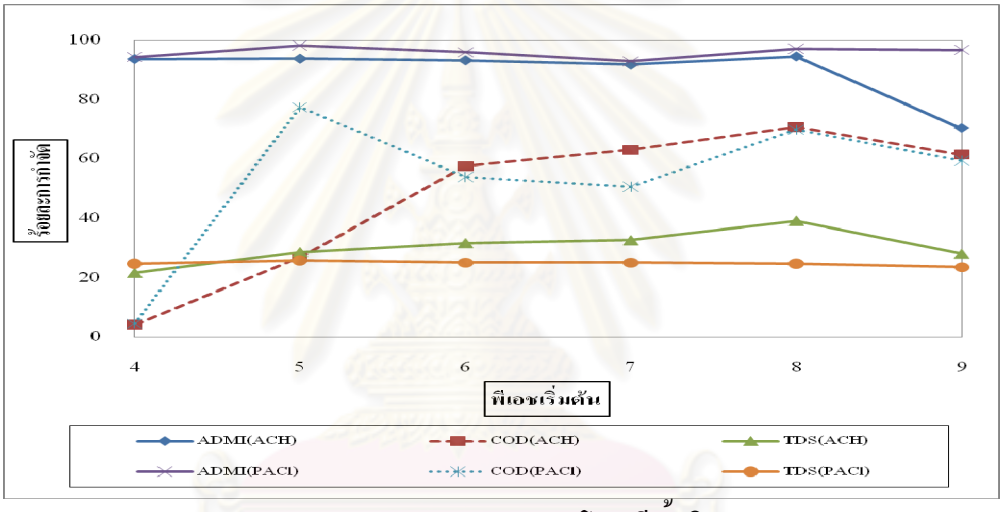
จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีเมื่อค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์เพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชเป็น 5-8 ตามหลักการที่กล่าวว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมของกระบวนการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ คือ 5 - 8 ทั้งนี้เนื่องจากค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าไอออนอื่น Al^{3+}, $Al(OH)^{2+}$ $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ และ $Al(OH)_4^-$ อย่างไรก็ตาม การตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตราช้ามากเมื่อใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตน้อย เนื่องจากไม่มีการชักนำ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องมีสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่มากเกินพอจึงจะมีผลึก $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นในอัตราส่วนพอสมควร ด้วยเหตุนี้การทำกระบวนการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตให้กับน้ำเสียสังเคราะห์จึงควรให้ค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์เป็นกรดเล็กน้อย (พีเอช 6) เพราะ Al^{3+} จะไม่ดูดติดผิวอนุภาค ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนไอออนคอมเพล็กซ์อื่นที่มีประจุน้อยกว่า แต่ดูดติดผิวอนุภาคได้ดี และน้ำไม่ควรมีค่าพีเอชสูงเนื่องจากจะได้ไอออนที่มีประจุลบซึ่งไม่มีประโยชน์ในกระบวนการตกตะกอนให้กับสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟที่มีประจุลบเช่นกัน (พิงอร, 2545)

สรุป สารสร้างตะกอนอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์สามารถกำจัดสีได้สูงอยู่ระหว่าง 94.70% ถึง 97.20% และ 91.09% ถึง 98.38% ตามลำดับ สารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิดยังสามารถกำจัดซีโอดีทั้ง 3 โทนสีได้ร้อยละ 70 สภาวะพีเอชที่เหมาะสมของสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ในโทนสีแดง โทนสีน้ำเงิน และโทนสีเหลือง คือที่พีเอช 6 8 6 และ 7 5 8 ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อค่าพีเอชเป็นกรดหรือด่างเกินไปทำให้ความเข้มสียังสูงอยู่ เนื่องจากสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ต้องรวมตัวกับความเป็นด่าง(OH^-)ในน้ำเพื่อทำหน้าที่ห่อหุ้มอนุภาคที่แขวนลอยในน้ำให้รวมตัวกันและตกตะกอนลงมา ถ้าการปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นของน้ำที่ไม่เหมาะสมทำให้ความเป็นด่างในน้ำไม่เพียงพอที่จะรวมตัวกับอะลูมิเนียมในน้ำ จึงเป็นผลให้น้ำเสียมีความเข้มสีที่สูง ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่ใช้คือ 60 และ 30 มก./ล.ตามลำดับ สามารถกำจัดสีและซีโอดีได้ดี

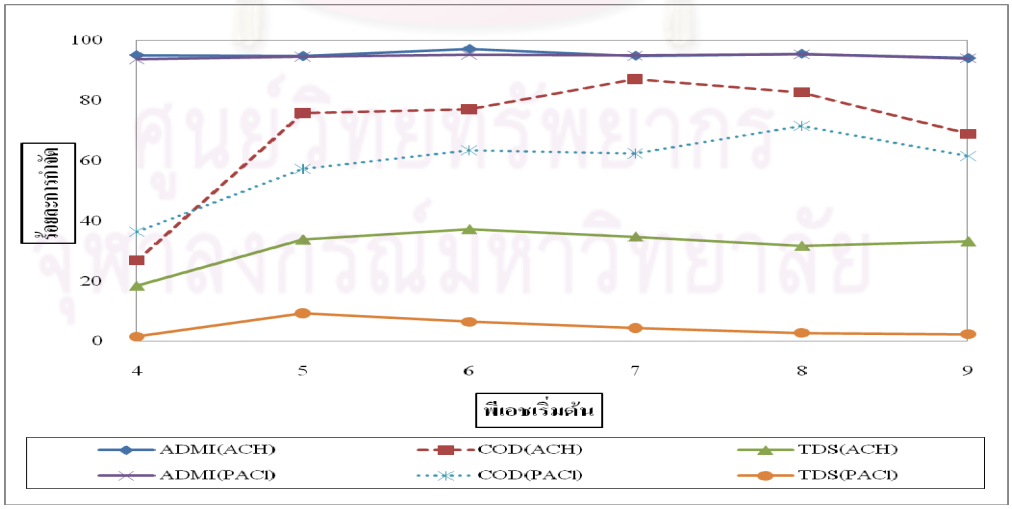
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1) โทนสีแดง

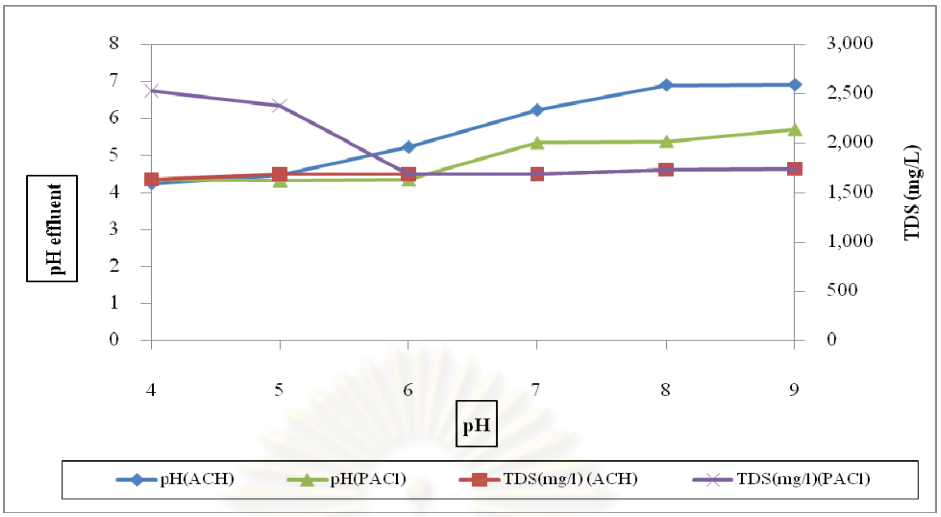


2) โทนสีน้ำเงิน

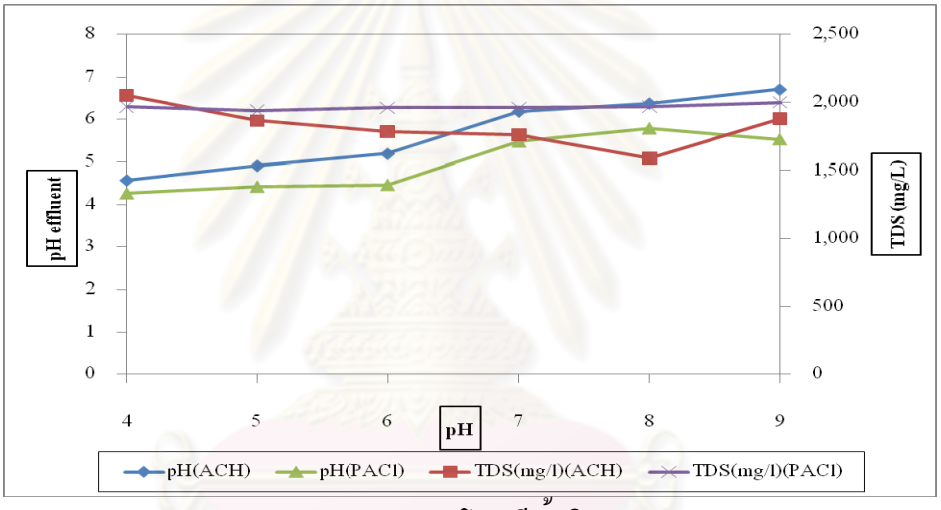


3) โทนสีเหลือง

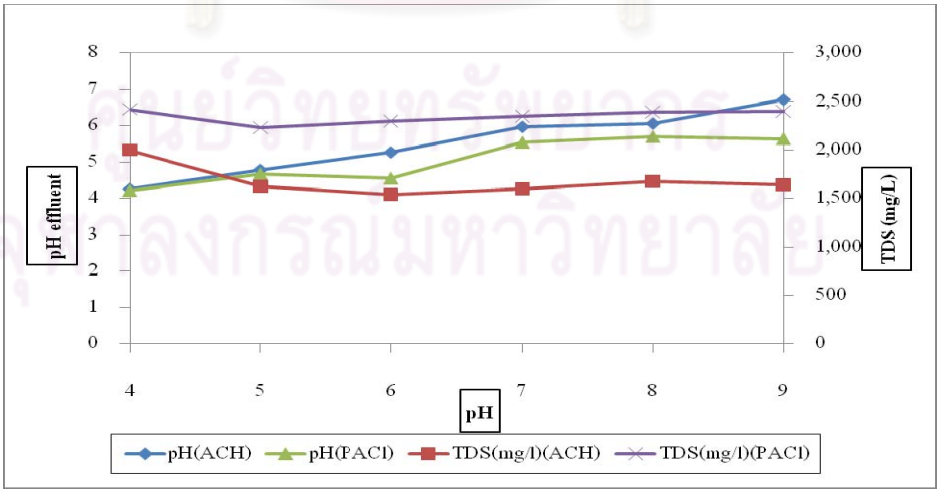
ภาพที่ 4.3 ร้อยละการกำจัดสี ซีโอดีน้ำ และของแข็งละลายน้ำ น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์



1) โทนสีแดง



2) โทนสีน้ำเงิน



3) โทนสีเหลือง

ภาพที่ 4.4 พีเอชและค่าของแข็งละลายน้ำหลังตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

4.3.1.2 ผลการศึกษาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

ในการทดลองนี้ทำการตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ 3 โทนสี ค่าความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มก./ล. ที่พีเอชเริ่มต้นที่สภาวะเหมาะสมของน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟในแต่ละโทนสี ได้แก่ พีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ที่สภาวะที่เหมาะสมในโทนสีแดง(C.I. Reactive 180) และโทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknow) คือ พีเอช 6 ส่วนโทนสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5) พีเอชน้ำเสียสังเคราะห์ที่สภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 8 ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่ 20 30 40 50 60 และ70 มก./ล. จากการทดลองพบว่า ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่สูงสุดในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง คือใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 70 ,70 และ 60 มก./ล.ตามลำดับ สามารถกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 95.32 95.70 และ 94.29 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 86.05 92.52 และ 60 ตามลำดับ สีย้อมแอกทีฟโทนสีแดง โทนสีน้ำเงินและโทนสีเหลือง มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำร้อยละ 12.79 2.48 และ 13.62 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.6

ส่วนการใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่ 10 20 30 40 50 และ 60 มก./ล. จากการทดลองพบว่า ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในโทนสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง คือ 30 มก./ล. พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงร้อยละ 93.24 92.05 และ 93.42 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 69.45 59.3 และ 72.55 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนมีค่าพีเอชลดลงเนื่องจากเนื่องจาก H^+ ที่ได้ทำปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตเกิดขึ้นมาก ปริมาณของแข็งละลายน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่าลดลงเล็กน้อยคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 16.47-21.14 ดังตารางที่ 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงที่พีเอชเหมาะสม

พารามิเตอร์	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ชนิดสารสร้างตะกอน	ความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิด (มก./ล.)						
			10	20	30	40	50	60	70
พีเอช	6 และ 7	ACH	-	5.95	5.43	5.2	5	4.93	4.94
		PACl	5.59	5.43	5.43	5.32	5.38	5.37	-
ความเข้มสี (ADMI)	3024	ACH	-	2855	2455	1640	393	165	141
		PACl	2851	1109	192	205	228	296	-
%การกำจัดสี	-	ACH	-	5.58	18.80	45.75	86.98	94.52	95.32
		PACl	5.74	63.35	93.65	93.24	92.45	90.22	-
ซีโอดี (มก./ล.)	93.18	ACH	-	41	35.90	30	30	22	13
		PACl	49.09	29	28.50	30	33.50	31	-
%กำจัดซีโอดี	-	ACH	-	55.99	61.47	67.80	67.80	76.39	86.05
		PACl	47.32	68.88	69.45	67.81	64.05	66.73	-
SS(mg/L)	-	ACH	-	21.5	23	28.5	34	40.5	46
		PACl	10	13	16	16.5	20	25	-
TDS(mg/l)	2,580	ACH	-	2,220	2,210	2,270	2,295	2,315	2,250
		PACl	2,085	2,135	2,155	2,375	2,410	2,515	-
%กำจัดTDS	-	ACH	-	13.95	14.34	12.02	11.05	10.27	12.79
		PACl	19.19	17.25	16.47	7.95	6.59	2.52	-
ปริมาณตะกอนหนัก (mg/L)	-	ACH	-	10	13.50	17	21	26.50	28
		PACl	2.50	14.50	19	18	16.50	15.5	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	116	ACH	-	85.15	86.50	88.70	89.10	90.10	91.25
		PACl	89.40	89.95	90.05	91.35	92	92.45	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินที่พีเอชเหมาะสม

พารามิเตอร์	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ชนิดสารสร้างตะกอน	ความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิด (มก./ล.)						
			10	20	30	40	50	60	70
พีเอช	8 และ 5	ACH	-	7.43	7.32	7.43	7.38	7.23	7.58
		PACl	4.59	4.43	4.92	4.43	4.38	4.37	-
ความเข้มสี (ADMI)	2297	ACH	-	1525	1130	452	191	156	130
		PACl	1288	288	183	192	188	196	-
%การกำจัดสี	-	ACH	-	33.6	50.8	80.3	91.7	93.2	95.7
		PACl	43.9	87.5	92.1	91.7	91.8	91.5	-
ซีโอดี (มก./ล.)	65.10	ACH	-	19.02	15.74	10.79	10.12	4.75	4.87
		PACl	60.39	49	26.5	31	28	29	-
%กำจัดซีโอดี	-	ACH	-	70.8	75.8	83.4	84.5	92.7	92.5
		PACl	7.3	24.7	59.3	52.4	56.9	55.5	-
SS(mg/L)	-	ACH	-	25	28.5	24.5	30.5	32	32.5
		PACl	23	23	20	22	21	21	-
TDS(mg/l)	2,620	ACH	-	2,595	2,455	2,460	2,545	2,575	2,555
		PACl	2,095	2,150	2,150	2,145	2,170	2,250	-
%กำจัดTDS	-	ACH	-	0.95	6.30	6.11	2.86	1.72	2.48
		PACl	20.04	17.94	17.94	18.13	17.18	14.12	-
ปริมาณตะกอนหนัก (mg/L)	-	ACH	-	8	12.5	17.5	21	27	31.5
		PACl	1	7.6	12	10	10	10	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	123	ACH	-	83.80	80.65	81.95	81.95	88	92.55
		PACl	84.50	79.60	82.50	81.70	88	92.50	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ของน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองที่พีเอชเหมาะสม

พารามิเตอร์	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ชนิดสารสร้างตะกอน	ความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิด (มก./ล.)						
			10	20	30	40	50	60	70
พีเอช	6	ACH	-	6.59	6.43	6.06	6.06	6.15	6.02
		PACl	5.59	5.43	5.1	5.43	5.38	5.27	-
ความเข้มสี (ADMI)	3200	ACH	-	1751	1262	340	189	131	202
		PACl	1971	254	151	176	231	228	-
%การกำจัดสี	-	ACH	-	23.79	45.08	85.22	91.79	94.29	91.20
		PACl	14.19	88.93	93.42	92.35	89.94	90.07	-
ซีโอดี (มก./ล.)	85.15	ACH	-	74.28	60.82	55.24	44.53	37.47	41.91
		PACl	37.22	23.94	23.38	29.06	37.88	30.06	-
%กำจัดซีโอดี	-	ACH	-	12.77	28.57	35.13	47.70	60	50.79
		PACl	56.29	71.89	72.55	65.87	55.51	64.69	-
SS(mg/L)	-	ACH	-	25	23	25	29	28	27
		PACl	33	32	29	30	28	25	-
TDS(mg/l)	2,460	ACH	-	2,385	2,390	2,340	2,255	2,125	2,305
		PACl	2,100	1,925	1,940	2,000	2,275	2,340	-
%กำจัดTDS	-	ACH	-	3.05	2.85	4.88	8.33	13.62	6.30
		PACl	14.63	21.75	21.14	18.70	7.52	4.88	-
ปริมาณตะกอนหนัก (mg/L)	-	ACH	-	5	10	19	21	22	27
		PACl	2	2	11	10	12	15	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	147	ACH	-	88.50	89.30	89.80	90.10	90.50	90.90
		PACl	83.80	80.70	81.90	81.90	88	92.60	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

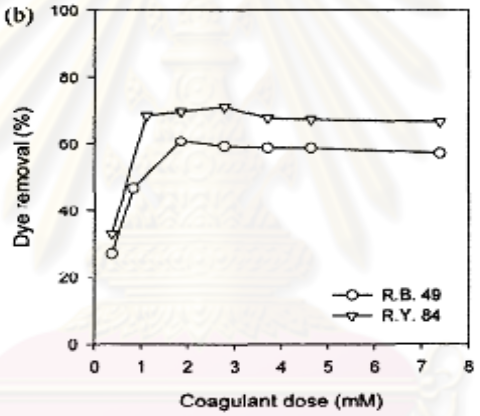
จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟ พบว่า สีย้อมรีแอกทีฟสามารถละลายน้ำได้ดีและมีประจุลบ (อริศรา,2539; Kim et el., 2004; Gao et el.,2007; Furlan et el.,2010). ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อมเป็นสำคัญ สำหรับสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สีแว็ต สีซัลเฟอร์ สีอะโซอิก สีเมททัลลิกและสีดิสเพอร์ส จะถูกกำจัดได้ง่ายซึ่งคาดว่ากระบวนการกำจัดเป็นแบบกวาด (Sweep Floc) ทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสูง (สมคิด,2525) ในขณะที่สีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี เช่น สีประเภทรีแอกทีฟ เอซิด และไดเร็กท์ จะถูกกำจัดได้ยาก (กาญนิถา,2535)

จากงานวิจัย (Kim et el., 2004) ได้ศึกษาการลดสีของสารละลายสีย้อมดิสเพอร์และสีย้อมรีแอกทีฟโดยใช้สารเฟอร์ริกคลอไรด์ พบว่า การเพิ่มจำนวนของอิออนที่มีประจุบวกและปรับเปลี่ยนพีเอชที่เหมาะสม การดูดติดผิวจะมีผลต่อการเปลี่ยนค่าซีตาโพเทนเชียนลดลง (จากประจุลบกลายเป็นศูนย์) ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดประสิทธิภาพการกำจัดดีที่สุด นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ค่า SVI และ SV พบการตกตะกอนของสีดีสเพอร์สตกได้ดีกว่าและตะกอนแน่นกว่าสีรีแอกทีฟ

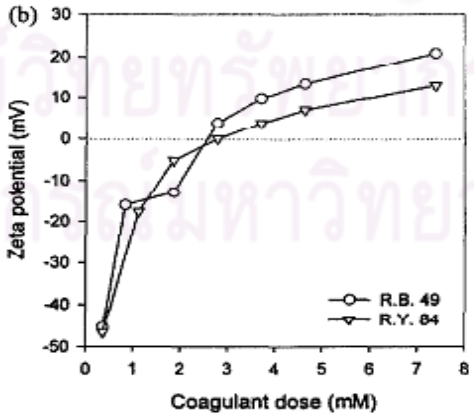
ดังนั้นสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟซึ่งมีประจุลบในทางทฤษฎีการตกตะกอนทางเคมีเปรียบเสมือนคอลลอยด์ขนาดเล็ก การใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์โดยการ Electrogeneration of hydroxide floc เป็นการดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และกำจัดอิออนคอมเพล็กซ์โดยหักล้างประจุ ซึ่งมีความเป็นไปได้สำหรับเป็นกลไกการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟซึ่งมีค่าการละลายน้ำสูงมากๆ นอกจากนี้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์อาจมีความเป็นไปได้ในการเกิด Precipitation ของสีรีแอกทีฟซึ่งมีประจุลบ โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมรีแอกทีฟกับสารอิออนคอมเพล็กซ์ประจุบวก (Al^{3+}, $Al(OH)^{2+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$) ซึ่งขึ้นกับค่าพีเอชของช่วงละลายของเฟสน้ำตาม Stability Diagram ของระบบเมื่อค่าพีเอชเป็นกลางจะพบสารประกอบ $Al(OH)_3$ มากกว่าไอออนอื่น จากงานของ (Kim et el., 2004) จะพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารส่งผลทำให้ซีตาโพเทนเชียลประจุลบกลายเป็นประจุบวกที่ความเข้มข้นมากกว่า 2.5 mM แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยรวมนั้นมีค่าลดลงเล็กน้อยเนื่องจากกลไกการดูดติดผิวและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (ดังภาพที่ 4.5)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า 2 กลไกที่เกี่ยวข้องน่าจะเป็นการทำลายเสถียรภาพและการตกผลึก กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์จะเกิดไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกทั้งหลายทำปฏิกิริยากับสารละลายสีรีแอกทีฟซึ่งมีประจุลบ พีเอชเหมาะสมที่ 5-8 ค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลางเกิดสารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าไอออนอื่น Al^{3+}, $Al(OH)^{2+}$ $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ และ $Al(OH)_4^-$ เมื่อใช้ความเข้มข้นต่ำการตกตะกอนจะเกิดได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่เมื่อเพิ่ม

ปริมาณความเข้มข้นของสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ไปทำปฏิกิริยากับประจุลบ เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก $Al(OH)_3$ ก็จะจับอยู่บนผลึกนั้นเมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟล็อคที่มีขนาดใหญ่แล้วตกตะกอนลงมา ทำให้มองเห็นสีย้อมหายไป ประสิทธิภาพการกำจัดสีซีโอดี และของแข็งละลายน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วยและตะกอนหนักก็มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารมากขึ้นทำปฏิกิริยากับสารละลายสีไปถึงจุดนึงประสิทธิภาพการกำจัดจะคงที่เพราะเกิดการตกผลึก (precipitation) ของผลึก $Al(OH)_3$ แม้ว่าปริมาณอะลูมิเนียมอิออนมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการลดสีและซีโอดี ดังภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมิคลอไรด์ปริมาณน้อยก็จะเกิดฟล็อคปริมาณน้อย เมื่อใส่ปริมาณสารเกิน 70 และ 30 มก./ล. ขึ้นไปก็จะเห็นฟล็อคเกิดขึ้นเยอะ ซึ่งเกินค่า minimum solubility จะทำให้เกิดการคงที่ของ $Al(OH)_3$ ในน้ำ เมื่อค่าอัลคาไลด์นิตี้ในน้ำไม่เพียงพอที่จะรวมตัวกับอะลูมิเนียมในน้ำ จึงเป็นผลให้เกิดความขุ่นสีเข้มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง

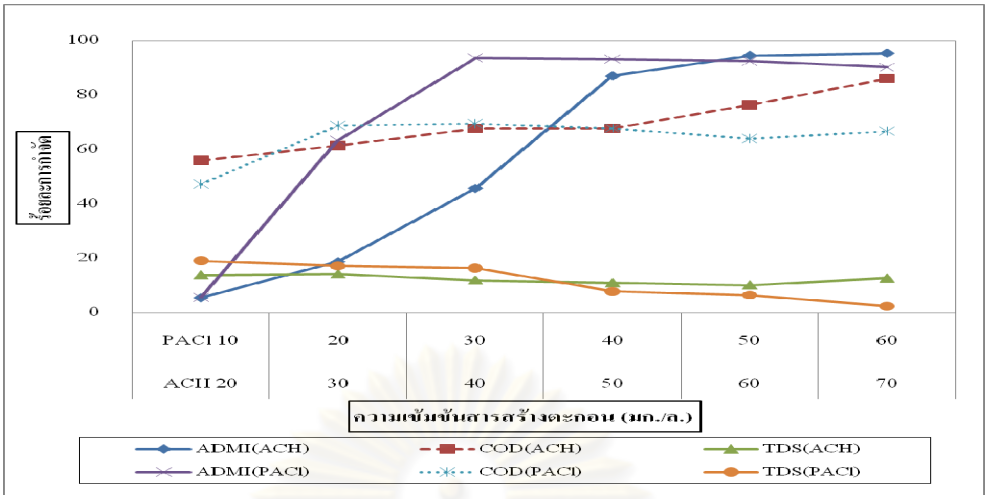


ก)

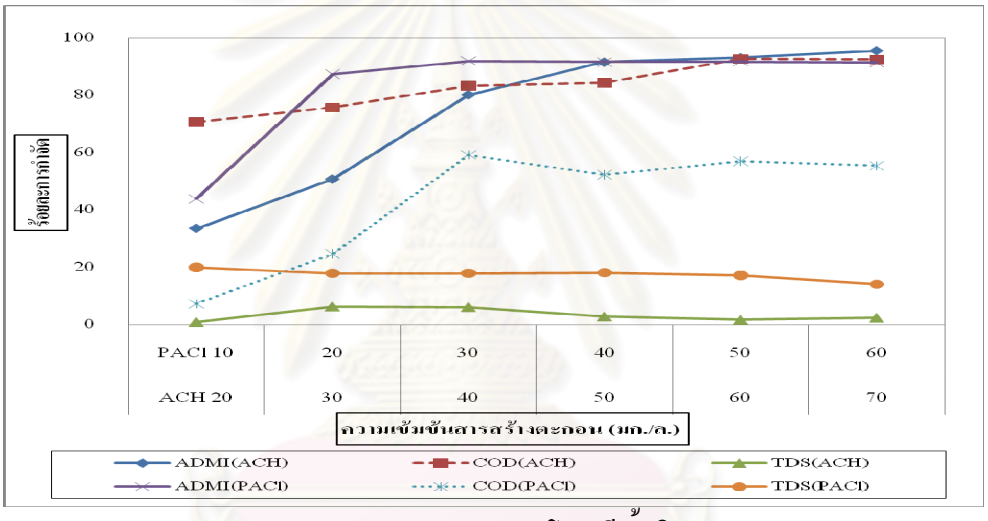


ข)

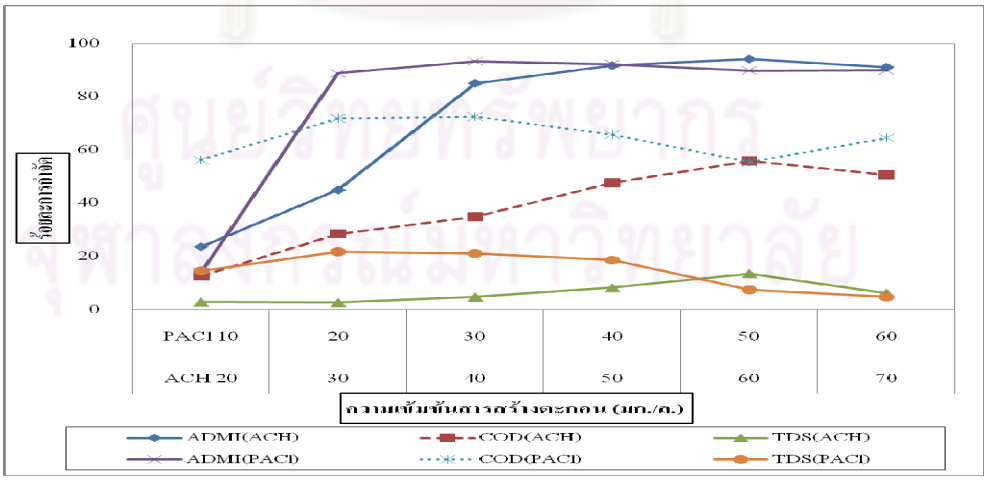
ภาพที่ 4.5 ก) ประสิทธิภาพการกำจัดสี ข) ค่าซีตาโพเทนเชียล โดยใช้สารเฟอร์ริกคลอไรด์ตกตะกอนสีรีแอกทีฟ blue 49 at pH 7 และ yellow 84 at pH 6



1)โทนสีแดง



2) โทนสีน้ำเงิน



3)โทนสีเหลือง

ภาพที่ 4.6 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

4.3.1.3 ผลของชนิดและความเข้มข้นของโพลิเมอร์

โพลิเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอนที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตในการกำจัดสีและซีโอดี ทำการทดลองที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ทั้ง 3 โทนสี 100 มก./ล. โดยลดปริมาณการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่สภาวะเหมาะสมที่ 70 มก./ล. ให้ต่ำลงจากปริมาณที่เหมาะสมคือใช้ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล. เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้น 0.1-0.6 มก./ล. จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) สีย้อมรีแอกทีฟสีแดง : พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ (ตารางที่ 4.9 และ 4.10) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีต่ำมากหรือไม่ช่วยเลยแต่การใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเพียง 0.1 มก./ล.ร่วมกับอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้สูงถึงร้อยละ 94.75 และ 53.68 ตามลำดับ ส่วนการใช้โพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้น 0.4 มก./ล.ร่วมกับอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล. แม้ว่าจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลงยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้สูงร้อยละ 82.92 และ 55.04 ตามลำดับ

2) สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน : พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.1 มก./ล.จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำได้ดีขึ้นเท่ากับร้อยละ 94.7 88.59 และ 54.20 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.11) ส่วนการใช้โพลีเมอร์ประจุลบพบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง (ดังตารางที่ 4.12)

3) สีย้อมรีแอกทีฟสีเหลือง : พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากและยังช่วยกำจัดของแข็งละลายน้ำด้วย โดยการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.2 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้น 0.3 มก./ล.สามารถกำจัดซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 86.64 และ 87.87 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.13 และ 4.14)

ส่วนการใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ในการกำจัดสีและซีโอดี ทำการทดลองที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ทั้ง 3 โทนสี 100 มก./ล. โดยลดปริมาณการใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่สภาวะเหมาะสม 30 มก./ล. ให้ต่ำลงอีกคือใช้ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล. เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้น 0.1-0.6 มก./ล. จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) สีย้อมรีแอกทีฟสีแดง : พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ลร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก และประจุลบกับน้ำเสียสังเคราะห์สีแดง พบว่าที่ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./

ล.ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้สูงขึ้นมากถึงร้อยละ 86.25 95.20 และ 39.15 ตามลำดับ ส่วนการใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำได้สูงขึ้น เช่นกัน (ร้อยละ 91.31 83.75 และ 24.03 ตามลำดับ)

2) สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน : พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ลร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบกับน้ำเสียสังเคราะห์สีน้ำเงิน พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและของแข็งละลายน้ำเล็กน้อย (95.08% และ 23.66%) แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้สูงมากจากร้อยละ 24.7 เป็น 92.94 ซึ่งการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้น 0.3 มก./ล. ก็ให้ผลเช่นเดียวกันคือเพิ่มซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 91.3 แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและของแข็งละลายน้ำได้เล็กน้อย เช่นกัน

3)สีย้อมรีแอกทีฟสีเหลือง : พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ลร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบกับน้ำเสียสังเคราะห์สีเหลือง พบว่าโพลีเมอร์ประจุบวก 0.4 มก./ล.ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำลดลงส่วนการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ พบว่าไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดใดๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวก

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
พีเอช	ACH	6	5	5.51	5.7	5.58	5.41	5.63	5.68
	PACl		5.43	5.52	5.43	5.38	5.41	5.30	5.33
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	3024	394	307	571	454	444	439	479
	PACl		1109	416	1273	1299	1143	828	1280
%การกำจัดสี	ACH	-	86.98	89.90	81.10	85.0	85.30	85.50	84.20
	PACl		63.35	86.25	57.92	57.04	62.20	72.63	57.69
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	93.18	30	4.90	12.34	16.15	15.92	17.22	21.88
	PACl		29	4.47	8.17	12.34	14.17	16.50	21.58
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	67.80	94.75	86.76	82.67	82.92	81.53	76.52
	PACl		68.88	95.20	91.24	86.76	84.80	82.30	76.85
SS(mg/L)	ACH	-	34	32.5	34.5	31	37.5	39	42
	PACl		13	15	15	13	13	12	10
TDS(mg/l)	ACH	2,580	1,095	895	1065	1205	1205	1265	1285
	PACl		1435	1,570	1,680	1,565	1705	1705	1765
%กำจัดTDS	ACH	-	57.56	53.68	54.84	53.29	53.29	50.97	50.19
	PACl		44.38	39.15	34.88	39.34	33.91	33.91	31.59
ปริมาณตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	-	21	26.5	28	29.5	32	33	30
	PACl		14.5	18	18	18	19	19	19
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	116	89.10	84.45	84.50	81.35	81.50	82.10	82.20
	PACl		89.95	84.50	84.50	81.40	81.50	82.10	82.20

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แลโพลีเมอร์ประจุลบ

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
พีเอช	ACH	6,7	5	5.61	5.43	5.37	5.1	5.3	4.9
	PACl		5.43	5.61	5.43	5.34	5.1	5.25	5.14
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	3024	394	780	980	1038	704	767	741
	PACl		1109	271	489	263	370	423	1003
%การกำจัดสี	ACH	-	86.98	74.20	67.59	65.69	76.73	74.63	75.51
	PACl		63.35	91.05	83.83	91.31	87.76	86.02	66.85
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	93.18	30	4.9	12.34	16.15	15.92	17.22	21.88
	PACl		29	21.17	24.11	15.15	22.26	19.57	26.63
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	67.80	78.22	66.85	70.75	84.03	82.79	83.25
	PACl		68.88	77.28	74.13	83.75	76.11	78.99	71.42
SS(mg/L)	ACH	-	34	34	33	31	35.5	37	37
	PACl		13	17	20	20	20	19	19
TDS(mg/l)	ACH	2,580	1,095	935	1,140	1,160	1,270	1,280	1,290
	PACl		1,435	1,935	1,940	1,960	2,270	2,280	2,290
%กำจัดTDS	ACH	-	57.56	63.76	55.81	55.04	50.78	50.39	50
	PACl		44.38	25	24.81	24.03	12.02	11.63	11.24
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	21	28	27	24.50	25.50	26	28.50
	PACl		14.5	20	20	23	23	22	22
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	116	89.10	85.45	85.50	86.10	86.40	86.90	87
	PACl		89.95	115.40	122.30	86.60	87.50	87.40	82.30

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวก

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
พีเอช	ACH	8	7.38	5.9	5.78	5.66	5.58	5.37	5.39
	PACl		4.43	4.43	4.31	4.39	4.39	4.27	4.35
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	2297	192	122	174	181	215	310	418
	PACl		288	113	206	212	213	237	229
%การกำจัดสี	ACH	-	91.65	94.70	92.42	92.14	90.63	86.49	81.83
	PACl		87.48	95.08	91.02	90.77	90.72	89.67	90.05
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	65.10	10.12	4.16	5.07	6.95	7.4	7.43	10.67
	PACl		49	4.6	5.08	10.92	15.26	17.92	16.78
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	84.46	88.59	88.63	89.33	92.22	93.61	84.46
	PACl		24.74	92.94	92.20	83.23	76.57	72.48	74.23
SS(mg/L)	ACH	-	30.5	33	38	38.5	41	39.5	40.5
	PACl		23	27	27	25	27	24	20
TDS(mg/l)	ACH	2,620	1,545	1,200	1,240	1,265	1,355	1,425	1,540
	PACl		2,150	2,000	2,240	2,265	2,355	2,425	2,540
%กำจัดTDS	ACH	-	41.03	54.20	52.67	51.72	48.28	45.61	41.22
	PACl		17.94	23.66	14.50	13.55	10.11	7.44	3.05
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	21	26.5	28	32	36	46.5	46
	PACl		7.6	12.5	13	14	14	12	12
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	123	81.95	86.25	86.5	86.95	87.1	88.2	88.75
	PACl		79.6	87.6	86.6	86.5	86.2	86.4	85.1

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุลบ

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
พีเอช	ACH	8	7.38	5.61	5.43	5.46	5.1	5.25	5.14
	PACl		4.43	4.6	4.4	4.5	4.1	4.25	4.14
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	2297	192	144	142	141	169	404	254
	PACl		288	248	233	200	218	212	212
%การกำจัดสี	ACH	-	91.65	93.73	93.85	93.88	92.66	82.41	88.95
	PACl		87.48	89.19	89.85	91.31	90.53	90.79	90.79
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	65.10	10.12	21.17	15.15	17.11	22.26	19.57	26.63
	PACl		49	26.54	18.22	3.25	14.56	8.53	10.65
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	84.46	67.48	76.74	73.72	65.81	69.94	59.10
	PACl		24.74	59.24	72.01	95.01	77.64	86.91	83.64
SS(mg/L)	ACH	-	30.50	41	40.50	38.50	39	38.50	40.50
	PACl		23	30.50	41	40.50	38.50	39	38.50
TDS(mg/l)	ACH	2,620	1,545	1,325	1,290	1,185	1,225	1,270	1,245
	PACl		2,250	2,145	2,185	2,200	2,185	2,225	2,200
%กำจัดTDS	ACH	-	41.03	49.43	50.76	54.77	53.24	51.53	52.48
	PACl		14.12	18.13	16.60	16.03	16.60	15.08	16.03
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	21	26.50	28	32	36	46.50	46
	PACl		7.6	21	26.5	28	32	36	46.50
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	123	81.95	89.20	88.50	88.70	88.30	89	89.20
	PACl		79.64	89.60	85.80	87.30	88.05	87.2	86.30

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โพลีอะลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์ประจุบวก

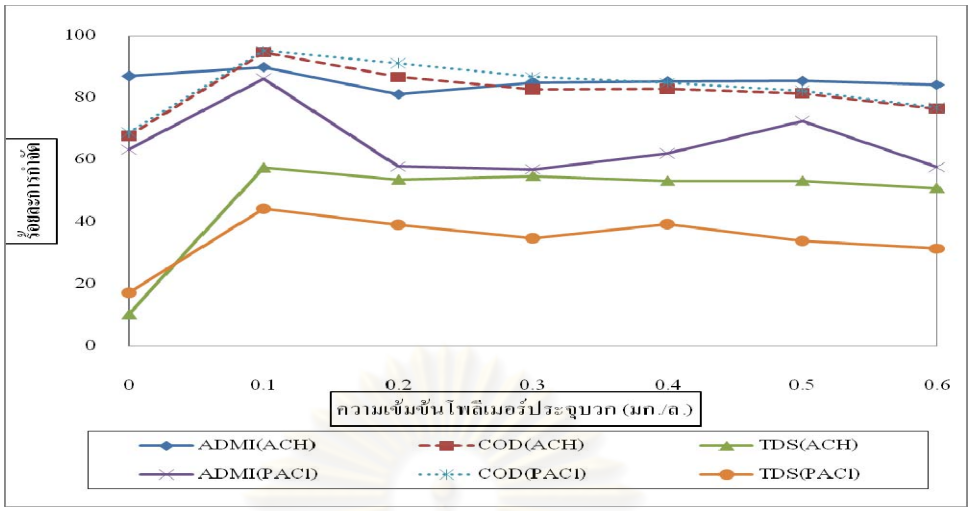
พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
พีเอช	ACH	6,8	6.06	5.46	4.31	4.39	4.39	4.27	4.35
	PACl		5.43	5.46	5.31	5.39	5.39	5.27	5.35
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	3200	188	178	179	189	166	171	213
	PACl		254	188	185	194	166	171	244
%การกำจัดสี	ACH	-	91.79	92.27	92.22	91.76	92.79	92.58	90.74
	PACl		88.93	91.83	91.96	91.55	92.76	92.56	89.39
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	85.15	44.53	13.77	11.38	19.12	7.99	18.05	21.55
	PACl		23.94	26.43	25.05	29.28	10.22	11.84	30
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	47.70	83.83	86.64	77.55	90.61	78.81	74.69
	PACl		71.89	68.43	70.58	65.61	88.00	86.10	64.77
SS(mg/L)	ACH	-	29	32.5	38	36.5	41	44	54.5
	PACl		32	32.5	38	36.5	41	44	54.5
TDS(mg/l)	ACH	2,460	1,255	1,180	1,225	1,100	1,275	1,295	1,340
	PACl		1,925	1,980	1,925	1,900	1,975	1,995	1,940
%กำจัดTDS	ACH	-	48.98	52.03	50.20	55.28	48.17	47.36	45.53
	PACl		21.75	19.51	21.75	22.76	19.72	18.90	21.14
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	20.5	23	23	22	26	29	28
	PACl		2	6	6	7	9	9	8
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	147	90.10	87.60	86.60	86.50	86.20	86.40	85.10
	PACl		80.70	87.60	86.60	86.50	86.20	86.40	85.10

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ และโพลีเมอร์ประจุลบ

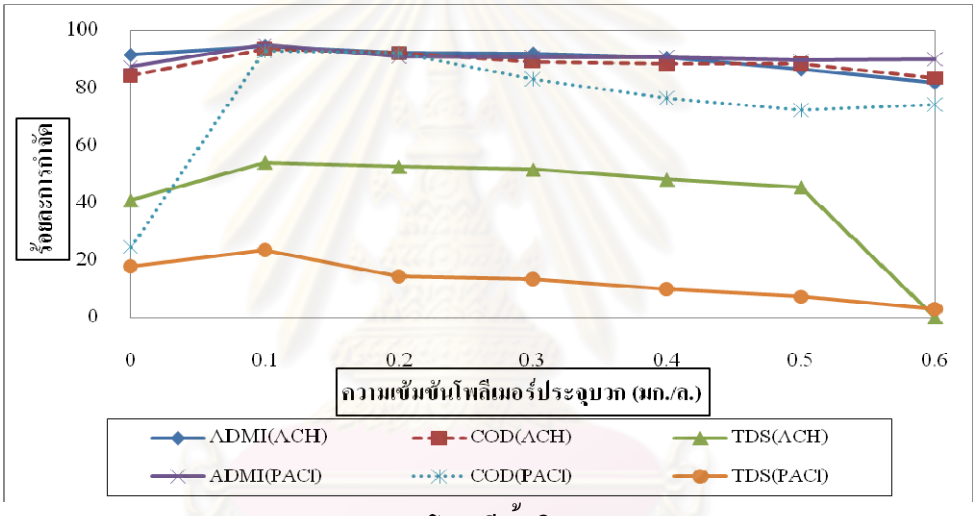
พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	น้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการทดลอง	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
พีเอช	ACH	6	6.06	5.61	5.43	5.46	5.1	5.25	5.14
	PACl		5.43	5.61	5.43	5.11	5.1	5.23	5.14
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	3200	189	201	209	179	198	181	198
	PACl		254	181	183	175	178	197	179
%การกำจัดสี	ACH	-	91.79	91.26	90.89	92.22	91.37	92.11	91.39
	PACl		88.93	92.10	92.02	92.40	92.24	91.45	92.22
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	85.15	44.53	22.6	19.3	10.33	15.79	16.2	14.04
	PACl		23.94	22.5	22.93	20.15	24.5	24.33	23.5
%กำจัดซีโอดี	ACH	-	47.70	73.46	77.34	87.87	81.46	80.37	83.51
	PACl		71.89	73.57	73.07	76.34	72.40	71.23	71.43
SS(mg/L)	ACH	-	29	31	34	33	37	36	38
	PACl		32	32	33	36	44	44	45
TDS(mg/l)	ACH	2,460	1,255	905	835	800	935	980	965
	PACl		1,925	1,980	1,925	1,900	1,975	1,995	1,940
%กำจัดTDS	ACH	-	48.98	63.21	66.06	67.48	61.99	60.16	60.77
	PACl		21.74	19.51	21.75	22.76	19.72	18.90	21.14
ปริมาณ ตะกอนหนัก(mg/L)	ACH	-	21	30	28	26	29	29	30
	PACl		2	11	11	11	13	12	12
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	147	90.10	89.60	85.80	87.30	88.10	87.20	86.30
	PACl		80.70	89.75	86.40	87.95	88.30	88.40	89

กล่าวโดยสรุปว่าการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โทนสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลืองจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพียงเล็กน้อย แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และของแข็งละลายน้ำได้ดีขึ้น ดังภาพที่ 4.7 และ 4.8 ส่วนการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 30 มก./ล.สามารถกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียสังเคราะห์โทนสีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลืองได้ดีและการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.1 0.1และ0.4 มก./ล.สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีได้สูงขึ้น แต่พบว่าโพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่ำแม้ว่าจะใช้โพลีเมอร์ร่วมด้วยก็ไม่ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น จากผลการทดลองโพลีเมอร์ประจุบวกสามารถให้ประสิทธิภาพในการลดสีและซีโอดีได้ดี เนื่องจากสีย้อมรีแอกทีฟมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเติมสารโพลีเมอร์ที่มีประจุตรงข้ามกับสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟในการใช้เป็นสารช่วยรวมตะกอน หลังจากถูกทำลายเสถียรภาพโดยสารสร้างตะกอนจำพวกโลหะมาก่อนแล้ว และเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ค่อนข้างรุนแรงโดยที่ตามปกติอนุภาคต่างๆในสับสเตรต(substrate) มักมีตำแหน่งที่มีประจุลบบนพื้นผิวที่ค่อนข้างจะคงตัว เมื่อโมเลกุลของโพลีเมอร์ที่มีประจุบวกถูกเติมลงไปในสับสเตรตนั้นจะเกิดการเกาะติดบนพื้นผิวอนุภาคผ่านพันธะไฟฟ้าสถิตย์ โพลีเมอร์ที่มีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูงมากและมากกว่าประจุลบบนพื้นผิวอนุภาคและจะทำลายประจุลบ ไม่เพียงแต่เกาะติดเท่านั้นแต่จะรวมถึงส่วนอื่นหรือทั้งหมดบนผิวอนุภาคได้ แล้วก่อตัวเป็นประจุบวกห้อมล้อมขอบเขตของตำแหน่งประจุลบทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างอนุภาคโดยตรงและลดแรงผลักระหว่างอนุภาคเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นได้ โดยอนุภาคที่อยู่ใกล้ชิดกันและอยู่ในแนวเดียวกันสามารถให้แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่รุนแรง (Bratby 1970)

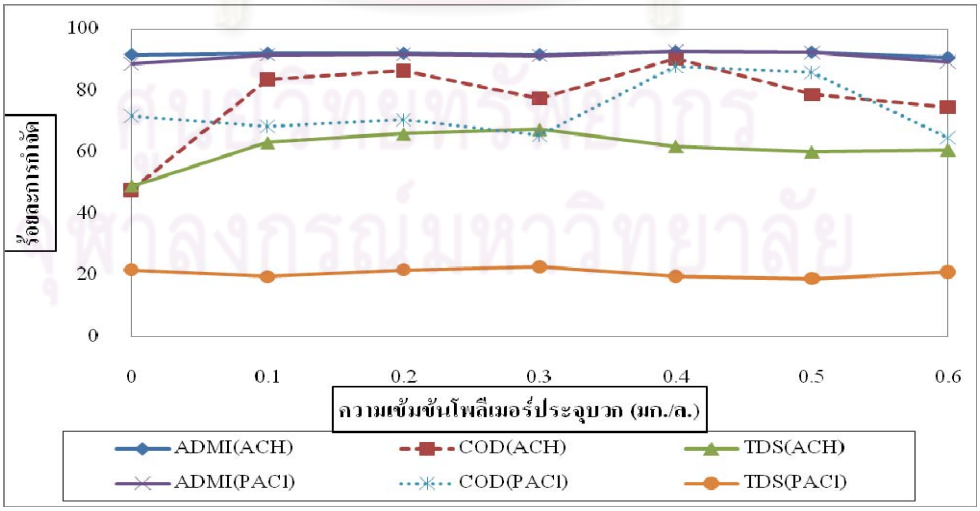
เมื่อใช้สารสร้างตะกอนอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกและประจุลบที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม พบว่าตะกอนเบาที่เหลืออยู่ในน้ำลดน้อยลง เพราะโพลีเมอร์ช่วยสร้างเป้าสัมผัสในน้ำมากขึ้น ทำให้ฟล็อคมีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถตกตะกอนได้ดีขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้ดี



1) โทนสีแดง

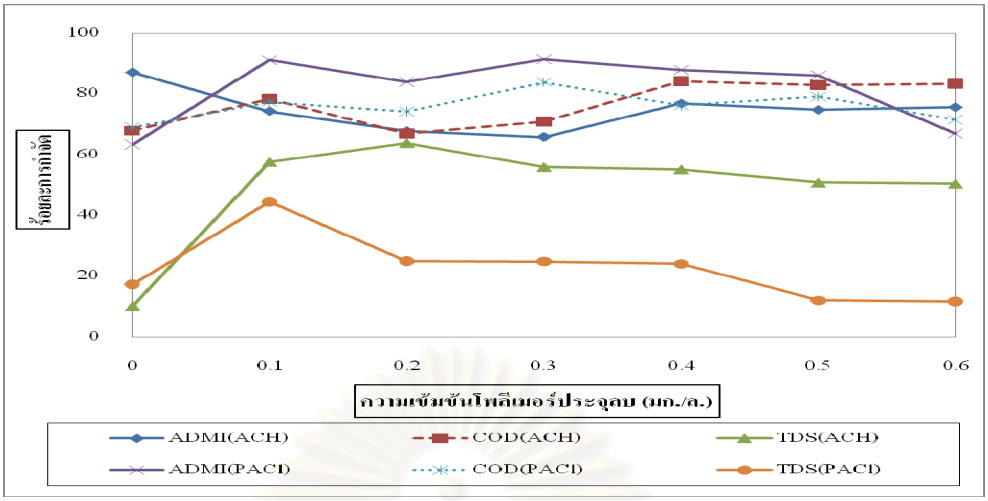


2) โทนสีน้ำเงิน

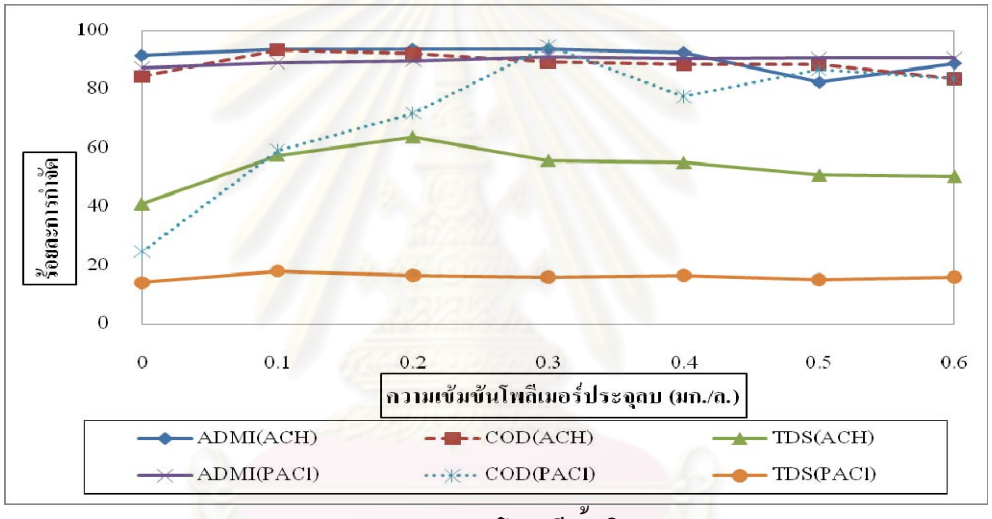


3) โทนสีเหลือง

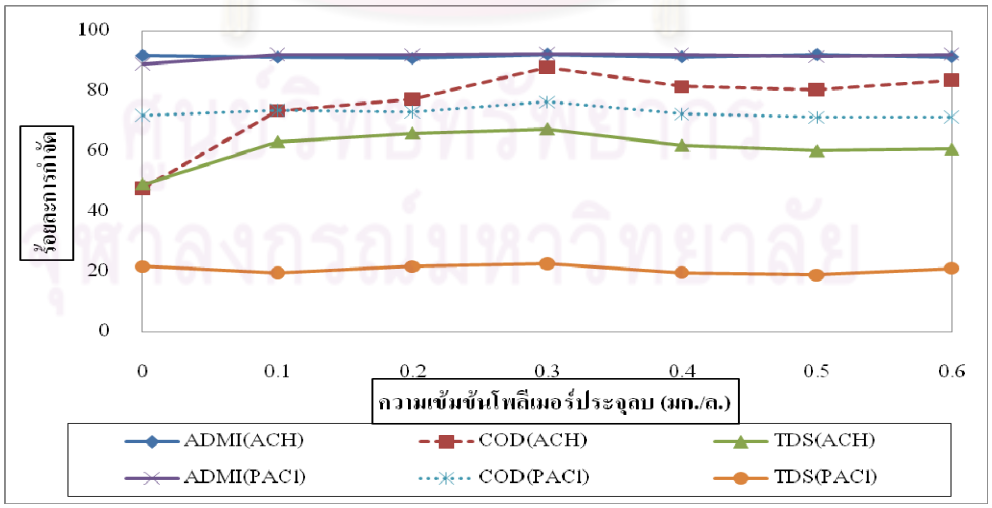
ภาพที่ 4.7 ร้อยละการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก



1) โทนสีแดง



2) โทนสีน้ำเงิน



3) โทนสีเหลือง

รูปที่ 4.8 ร้อยละการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ

4.3.1.4 ผลของชนิดและความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ

ในการทดลองทำการตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ 3 โทนสี โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 100 200 300 400 500 และ 600 มก./ล ที่พีเอชเหมาะสม จากการทดลองการกำจัดสีย้อมเมื่อปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีโดยใช้ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่ 50 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกทีความเข้มข้น 0.1, 0.4 มก./ล. และความเข้มข้นประจุลบ 0.3, 0.4 มก./ล. พบว่าการกำจัดสีย้อมในโทนสีแดง โทนสีน้ำเงิน และโทนสีเหลืองจากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) สีย้อมรีแอกทีฟสีแดง : พบว่าการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้นโดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบที่เหมาะสมในการตกตะกอน(ตารางที่ 4.15 และ 4.16) สามารถกำจัดสีและซีโอดีได้ที่ความเข้มข้นสี 100-200 มก./ล.เท่านั้น อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 80.51 81.12 และ 49.21 50.46 ตามลำดับและมีแนวโน้มการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้ต่ำเมื่อความเข้มข้นสีสูงขึ้น

2) สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน : พบว่าการการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้นใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.1 มก./ล.ที่ความเข้มข้นสี 100 มก./ล.ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงถึงร้อยละ 95.58 ที่ความเข้มข้นสีตั้งแต่ 300 –600 ไม่สามารถกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำลงได้

3) สีย้อมรีแอกทีฟสีเหลือง : พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกตกตะกอน สามารถกำจัดความเข้มข้นสีย้อมที่ 100 200 300 ลงได้โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 75.73 65.27 และ 55.95 ตามลำดับ แต่ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำลงได้ ส่วนการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้น 0.3 มก./ล.ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีได้แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้เล็กน้อย (ดังตารางที่ 4.19 และ 4.20)

ส่วนการใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ในการกำจัดสีและซีโอดี ทำการทดลองปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น 100 200 300 400 500 และ 600 มก./ล ที่พีเอชเหมาะสม โดยเลือกใช้ปริมาณสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่ต่ำกว่าปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว คือใช้ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล. เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ 0.1 และ 0.3 มก./ล.ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) สีย้อมรีแอกทีฟสีแดง : พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ลร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก น้ำเสียสังเคราะห์สีแดงที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีย้อม พบว่าที่ความเข้มข้นสีย้อม 100

200 และ300 มก./ล.ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีได้สูงถึงร้อยละ 82.01 82.72และ82.78 ตามลำดับแต่ไม่ช่วยเพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำ ส่วนการใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบพบว่าไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดใดๆ

2) สีย้อมรีแอกทีฟสีน้ำเงิน : พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบกับความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้น พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.ในการกำจัดความเข้มข้นสีมากกว่า 100 มก./ล.ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและของแข็งละลายน้ำ แต่สามารถกำจัดซีโอดีได้เล็กน้อย (ดังตารางที่ 4.17 และ 4.18)

3)สีย้อมรีแอกทีฟสีเหลือง : พบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกกับน้ำเสียสังเคราะห์สีเหลือง พบว่าที่ความเข้มข้นสี 100-600 ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีเพียง แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำเล็กน้อย

สรุป การปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีโดยใช้ความเข้มข้นอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมร่วมกับชนิดและปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสม พบว่าสามารถกำจัดสีรีแอกทีฟได้ไม่เกินความเข้มข้น 100-200 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีมากกว่าร้อยละ 50 แต่ไม่ช่วยเพิ่มการกำจัดซีโอดี และมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้เล็กน้อย เมื่อนำไปวัดค่าแอบซอบเบนซ์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตรการลดสีไม่เปลี่ยนความยาวคลื่นเด่น แต่มีค่าแอบซอบเบนซ์ลดลง แสดงว่ามีการลดสีแต่ไม่มีการเปลี่ยนโครงสร้างสี ซึ่งกล่าวได้ว่ากลไกการลดสีน่าจะเกิดจากการดูดติดผิวไว้บนฟล็อค ดังนั้นเมื่อความเข้มสีเพิ่มขึ้น (300-600 มก./ล.) ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดต่ำลงเพราะการจำกัดการดูดซับสีของฟล็อค น้ำเสียยังมีความเข้มสีสูงอยู่ทั้งนี้ จึงควรมีการเพิ่มปริมาณสารให้เหมาะสมกับความเข้มข้นสีที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสีรีแอกทีฟเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี (นภา,2542) จึงกำจัดด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีได้ค่อนข้างยาก เมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุลบในการกำจัดสีมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไม่ดีเพราะเมื่อสารละลายสีย้อมดูดติดที่ผิวของฟล็อก $Al(OH)_3$ โพลีเมอร์ประจุลบซึ่งมีประจุเดียวกับสารละลายสีย้อมจึงเกิดการผลักกับอนุภาคโพลีเมอร์ทำให้เกิดความขุ่นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดได้ต่ำ

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ (มก./ล.)					
		100	200	300	400	500	600
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	3024	3159	3310	3591	3618	3577
ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	93.18	97.16	137.37	187.62	242.35	288.13
TDS เริ่มต้น(มก./ล.)	-	2,580	3,520	3,920	4,180	4,350	5,200
ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น (µS/cm)	-	116	146.6	190.1	273	331	396
พีเอชเริ่มต้น	-	6 -7	6 - 7	6 - 7	6 - 7	6 - 7	6 - 7
พีเอช	ACH	5.57	5.35	5.4	5.3	5.42	5.31
	PACl	5.57	5.4	5.4	5.3	5.42	5.31
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	589	1605	2612	2611	2627	2628
	PACl	544	546	570	3295	3284	3246
%การกำจัดสี	ACH	80.51	49.21	21.09	27.29	27.37	26.54
	PACl	82.01	82.72	82.78	8.27	9.23	9.25
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	5.85	87.33	120.1	175.1	224.6	251.1
	PACl	21.82	75.77	108.2	136.2	207.3	221.2
%กำจัดซีโอดี	ACH	93.72	10.12	12.57	6.7	7.32	12.86
	PACl	76.58	22.02	21.26	27.43	14.46	23.25
SS(mg/L)	ACH	35	43.5	51	47	53	49.5
	PACl	24	30	35	38	38	42
TDS(mg/l)	ACH	2,200	3,250	3,615	3,750	4,040	4,175
	PACl	1,905	2,360	3,615	3,800	4,450	4,680
%กำจัดTDS	ACH	14.73	7.67	7.78	10.28	7.13	19.71
	PACl	26.16	32.96	7.78	9.09	0	10
ปริมาณ ตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	31	-	-	-	-	-
	PACl	27.5	-	-	-	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	85.8	146.4	190.2	137	330.5	395.5
	PACl	90.35	146.8	190.6	273.5	330.5	395.5

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีแดงความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ (มก./ล.)					
		100	200	300	400	500	600
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	3024	3159	3310	3591	3618	3577
ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	93.18	97.16	137.37	187.62	242.35	288.13
TDS เริ่มต้น(มก./ล.)	-	2,580	3,520	3,920	4,180	4,350	5,200
ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น (µS/cm)	-	116	146.6	190.1	273	331	396
พีเอชเริ่มต้น	-	6 -7	6 -7	6 -7	6 -7	6 -7	6 -7
พีเอช	ACH	5.5	5.28	5.37	5.3	5.4	5.2
	PACl	5.5	5.28	5.37	5.3	5.4	5.21
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	571	1565	1563	1551	1558	1531
	PACl	890	3090	3246	3489	3541	3490
%การกำจัดสี	ACH	81.12	50.46	22.56	28.96	29.28	29.25
	PACl	70.57	2.19	1.95	2.86	2.12	2.43
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	11.21	83.5	123.4	173.2	213.9	237.8
	PACl	19.45	62.89	121.9	163.6	213.9	225.1
%กำจัดซีโอดี	ACH	87.98	14.06	10.17	7.7	11.74	17.46
	PACl	79.13	35.27	11.28	12.8	11.76	21.88
SS(mg/L)	ACH	30.5	38.5	41	47	53	49.5
	PACl	30.5	38.5	41	47	53	49.5
TDS(mg/l)	ACH	2,405	3,160	3,615	3,800	4,050	4,180
	PACl	2,005	2,960	3,260	3,500	4,000	4,400
%กำจัดTDS	ACH	6.78	10.22	7.78	9.09	6.89	19.62
	PACl	22.29	15.91	16.84	16.27	8.05	15.38
ปริมาณ ตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	27.5	-	-	-	-	-
	PACl	27.5	-	-	-	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	88.25	146.55	190.15	272.5	331.7	396
	PACl	89.85	146.95	189.85	272.75	315.2	387

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 และ20 มก./ล .ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ (มก./ล.)					
		100	200	300	400	500	600
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	2297	3502	3113	3674	3424	5378
ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	65.10	94.95	148.53	193.21	202.11	217.78
TDS เริ่มต้น(มก./ล.)	-	2,620	3,000	3,560	4,210	4,900	5,530
ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น (µS/cm)	-	123	201.3	143.8	267.5	328	389
พีเอชเริ่มต้น	-	8 - 5	8 - 5	8 - 5	8 - 5	8 - 5	8 - 5
พีเอช	ACH	5.6	5.4	5.4	5.35	5.42	5.3
	PACl	5.56	5.34	5.45	5.57	5.11	5.01
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	141	2142	3098	3489	3309	3569
	PACl	219	2146	3099	3439	3335	3606
%การกำจัดสี	ACH	95.58	38.85	0.51	5.03	3.36	33.62
	PACl	93.14	38.73	0.44	6.38	2.6	32.94
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	11.66	64.15	94.5	165.6	199.6	201.4
	PACl	6.32	24.6	63.4	83.68	146.4	167.65
%กำจัดซีโอดี	ACH	82.09	32.424	36.376	14.29	1.242	7.521
	PACl	90.3	74.09	57.32	56.7	27.57	23.02
SS(mg/L)	ACH	31.5	33	35.5	36	43	47.5
	PACl	28	28	26	26	23	26
TDS(mg/l)	ACH	2,490	3,400	3,485	4,225	4,260	4,540
	PACl	2,380	3,000	3,110	3,670	4,250	4,380
%กำจัดTDS	ACH	8.78	13.33	2.11	0	13.06	17.90
	PACl	3.25	0	12.64	12.8	13.27	20.8
ปริมาณ ตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	44	-	-	-	-	-
	PACl	23	-	-	-	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	93	153	219	249	308	400
	PACl	92	153	218	249	308	400

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ20 มก./ล ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

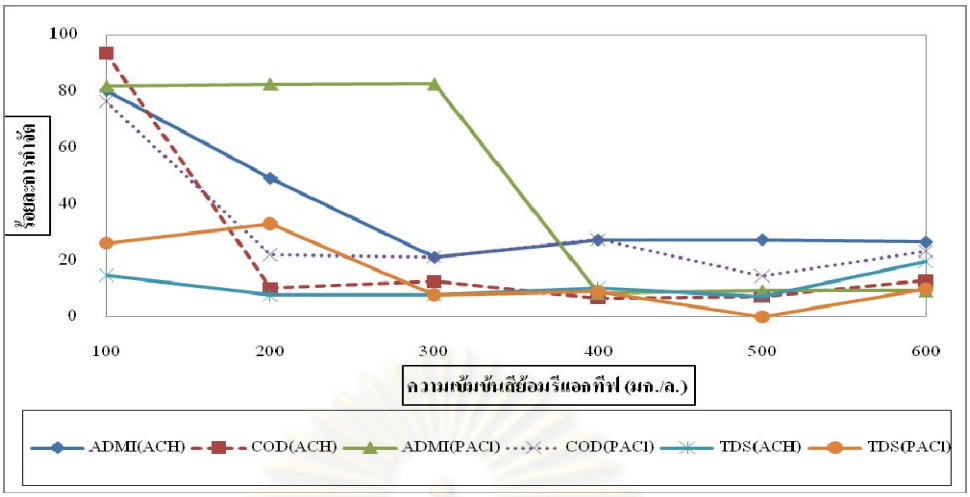
พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ (มก./ล.)					
		100	200	300	400	500	600
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	2297	3502	3113	3674	3424	5378
ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	65.10	94.95	148.53	193.21	202.11	217.78
TDS เริ่มต้น(มก./ล.)	-	2,620	3,000	3,560	4,210	4,900	5,530
ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น (µS/cm)	-	123	201.3	143.8	267.5	328	389
พีเอชเริ่มต้น	-	8 - 5	8 - 5	8 - 5	8 - 5	8 - 5	8 - 5
พีเอช	ACH	5.5	5.3	5.4	5.3	5.4	5.2
	PACl	5.67	5.49	5.25	5.33	5.075	5.015
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	133	2179	3095	3516	3310	3590
	PACl	264	2264	3056	3546	3346	3622
%การกำจัดสี	ACH	95.84	38.01	0.58	4.29	3.33	33.23
	PACl	91.74	35.34	1.85	3.48	2.28	32.6
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	4.9	69.3	122.6	164	197.6	199
	PACl	3.68	59.19	119.99	136.9	161.6	175.1
%กำจัดซีโอดี	ACH	92.428	27.052	17.458	15.118	2.23	8.62
	PACl	94.36	37.65	19.22	29.14	20.1	19.6
SS(mg/L)	ACH	28	34	41.5	44	40.5	41
	PACl	25	55	60	74	80.5	81
TDS(mg/l)	ACH	1,780	1,915	1,995	2,100	2,250	2,380
	PACl	2,600	3,670	3,900	3,980	4,350	4,380
%กำจัดTDS	ACH	1.53	2.83	15.87	26.37	33.67	38.88
	PACl	0.76	0	0	5.46	11.22	20.8
ปริมาณ ตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	29	-	-	-	-	-
	PACl	22	-	-	-	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	95.1	156.35	215.6	235.55	334.1	375
	PACl						

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองความเข้มข้นต่างๆด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50 และ 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

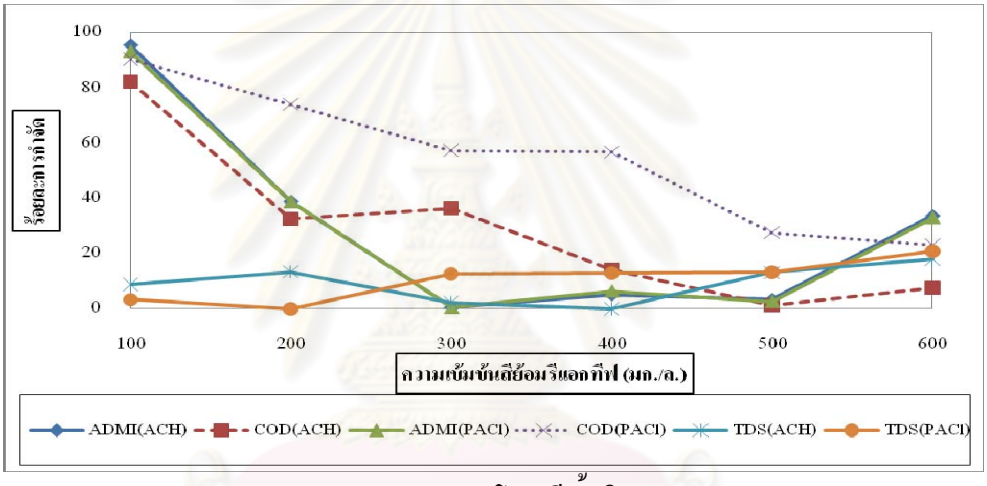
พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ (มก./ล.)					
		100	200	300	400	500	600
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	3200	3955	4193	4193	4132	4072
ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	85.15	100.8	152	216	253	304
TDS เริ่มต้น(มก./ล.)	-	2,460	2,900	3,670	4,430	4,890	5,320
ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น (µS/cm)	-	147	148	217.5	284	416	352
พีเอชเริ่มต้น	-	6	6	6	6	6	6
พีเอช	ACH	5.6	5.4	5.4	5.3	5.4	5.3
	PACl	5.37	5.23	5.19	5.06	5.02	4.99
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	558	1373	1847	3396	3468	3421
	PACl	587	1588	2584	3383	3378	3380
%การกำจัดสี	ACH	75.73	65.27	55.95	19.06	16.08	16.03
	PACl	74.47	59.86	38.37	19.32	18.25	16.99
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	6.32	24.6	63.4	83.68	146.4	167.7
	PACl	40.59	73.67	109.01	110.36	174.07	265.97
%กำจัดซีโอดี	ACH	94.36	37.65	19.22	29.14	20.04	19.59
	PACl	52.34	26.92	28.29	28.91	31.14	12.51
SS(mg/L)	ACH	28	27.5	29	28.5	30	27.5
	PACl	30.5	38.5	41	47	53	49.5
TDS(mg/l)	ACH	1,945	3,100	3,940	4,100	4,000	4,195
	PACl	2,405	3,260	3,600	3,900	4,250	4,480
%กำจัดTDS	ACH	2.23	0	1.5	14.22	17.17	21.43
	PACl	2.24	0	1.91	11.96	13.09	15.79
ปริมาณ ตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	33	-	-	-	-	-
	PACl	24.7	-	-	-	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	92.45	153.15	218.35	250.5	312	402.5
	PACl	91.5	153.05	218.85	247.5	302	399

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์สีรีแอกทีฟโทนสีเหลืองความเข้มข้นต่างๆด้วย อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 50และ20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

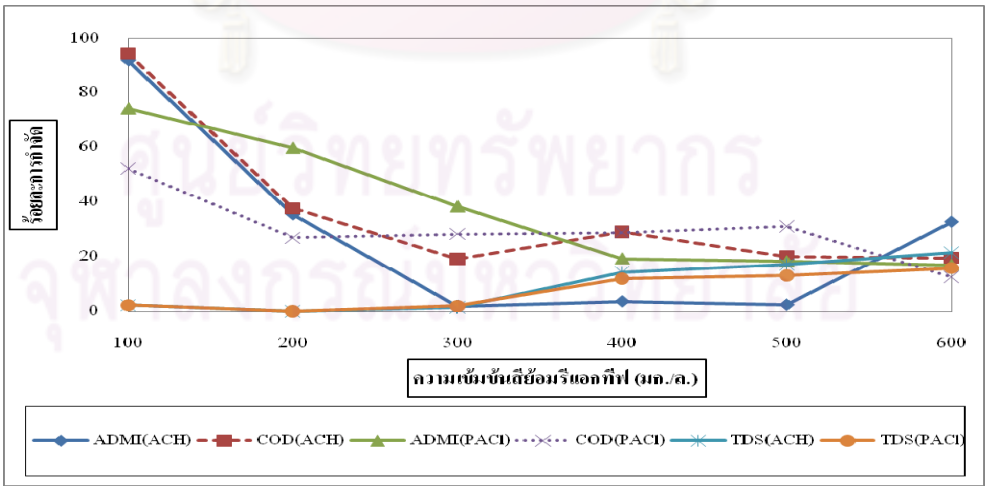
พารามิเตอร์	ชนิดสารตกตะกอน	ความเข้มข้นสีย้อมรีแอกทีฟ (มก./ล.)					
		100	200	300	400	500	600
ความเข้มข้นสีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	3200	3955	4193	4193	4132	4072
ซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)	-	85.15	100.8	152	216	253	304
TDS เริ่มต้น(มก./ล.)	-	2,460	2,900	3,670	4,430	4,890	5,320
ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น (µS/cm)	-	147	148	217.5	284	416	352
พีเอชเริ่มต้น	-	6	6	6	6	6	6
พีเอช	ACH	5.58	5.32	5.39	5.49	5.495	5.52
	PACl	5.67	5.46	5.27	5.28	5.13	5.04
ความเข้มสี (ADMI)	ACH	201	2771	3044	3394	3322	3423
	PACl	201	2771	3094	3394	3323	3423
%การกำจัดสี	ACH	91.27	29.93	27.41	19.04	22.04	15.96
	PACl	93.73	20.87	0.63	7.61	2.96	36.36
ซีโอดี (มก./ล.)	ACH	3.7	59.2	120.0	136.9	161.6	175.1
	PACl	39.26	89.29	117.08	161.78	176.41	186.39
%กำจัดซีโอดี	ACH	95.68	41.29	21.06	36.62	36.08	42.41
	PACl	53.89	11.43	22.98	25.1	30.22	38.69
SS(mg/L)	ACH	34.5	33	42	40.5	39	39
	PACl	30.5	38.5	41	47	53	49.5
TDS(mg/l)	ACH	1,905	1,925	2,205	2,465	2,575	2,780
	PACl	2,405	3,000	3,120	3,600	3,900	4,500
%กำจัดTDS	ACH	22.56	37.90	39.92	44.36	47.34	47.74
	PACl	2.23	3.23	14.99	18.74	20.25	15.41
ปริมาณ ตะกอนหนัก (mg/L)	ACH	28	-	-	-	-	-
	PACl	24.7	-	-	-	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ACH	92	154	209	232	335.5	377
	PACl	88	161.5	222.5	237	340	379.5



1) โทนสีแดง

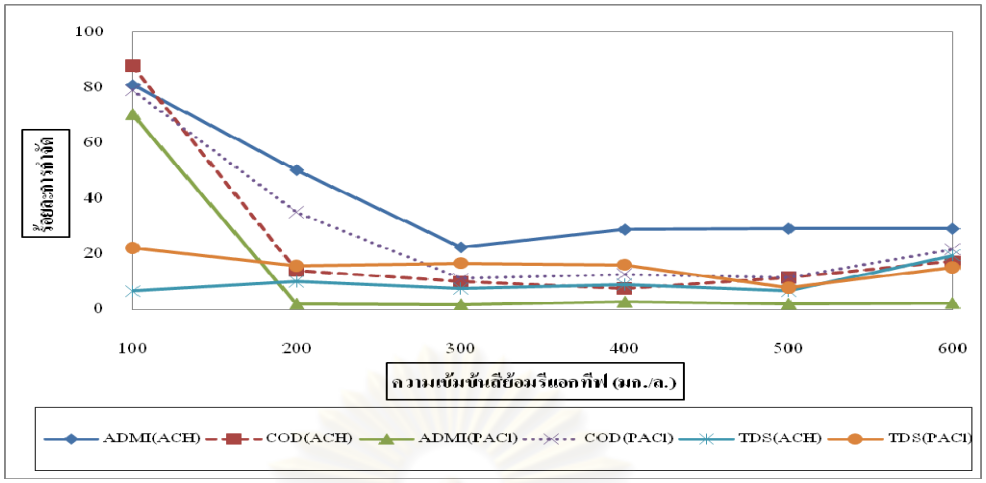


2) โทนสีน้ำเงิน

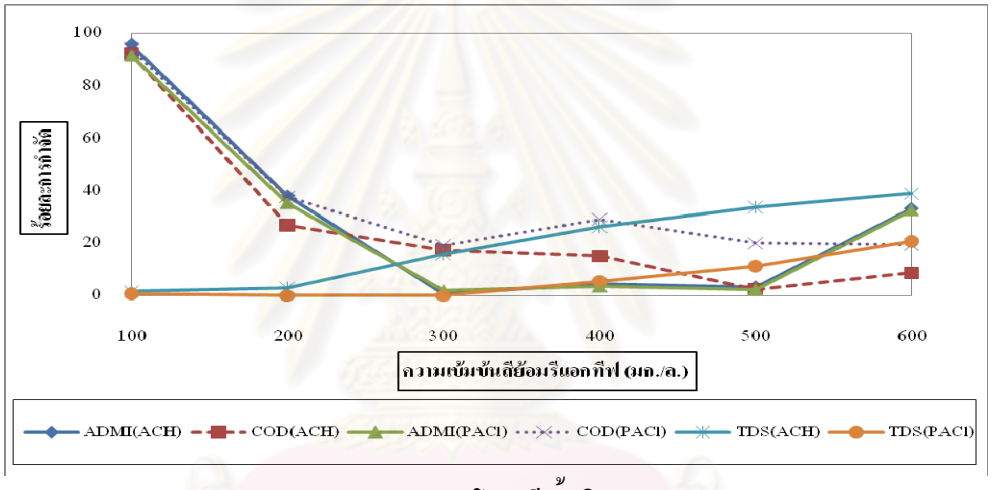


3) โทนสีเหลือง

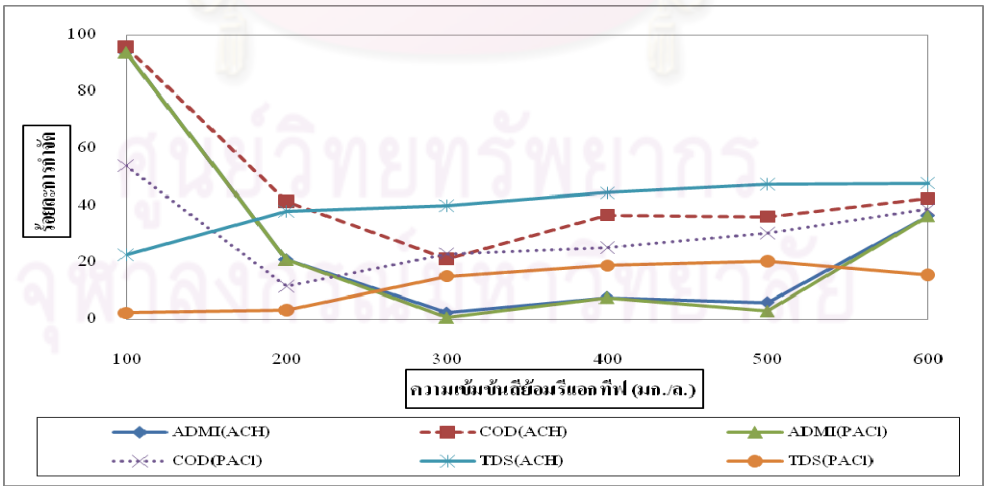
ภาพที่ 4.9 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีเริ่มต้น



1) โทนสีแดง



2) โทนสีน้ำเงิน



3) โทนสีเหลือง

รูปที่ 4.10 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสีเริ่มต้น

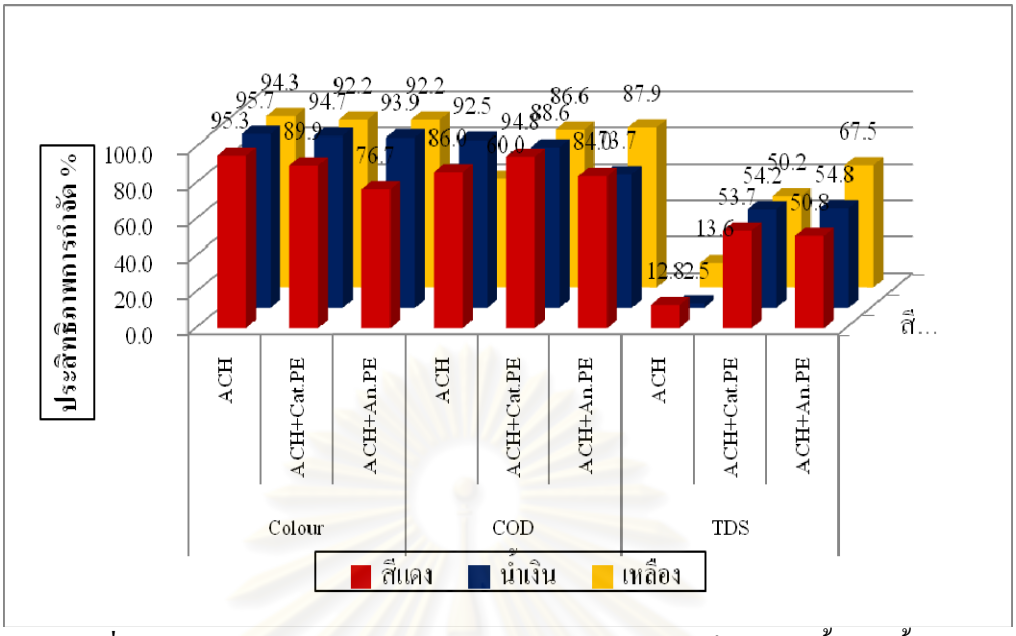
4.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิด

การกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์รีแอกทีฟในโทนสีแดง โทนสีน้ำเงิน และโทนสีเหลืองโดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน จากการเปรียบเทียบผลการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำโดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกและประจุลบ (ภาพที่ 4.11 และ 4.12) สรุปได้ดังนี้

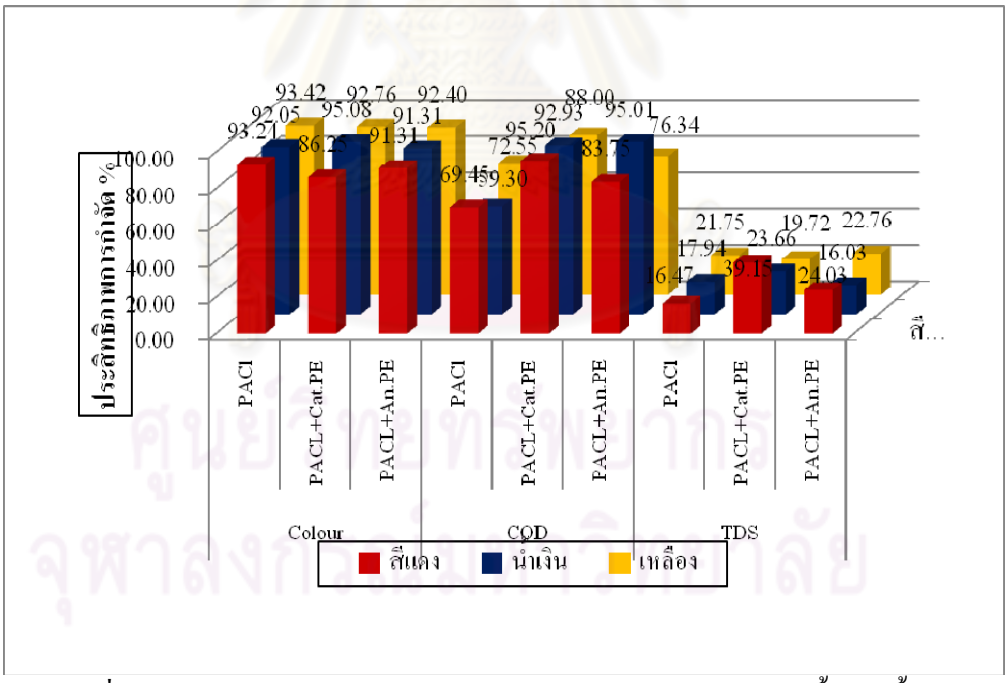
1) การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 70 มก./ล. เพียงอย่างเดียวก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำได้อยู่ในช่วงร้อยละ 95.32 - 95.70 , 60 - 92.52 และ 2.48 - 13.62 ตามลำดับ ซึ่งการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเพียง 0.1 มก./ล. จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำได้สูงขึ้นเล็กน้อยแต่จะช่วยลดการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตได้ถึงร้อยละ 28.57

2) การใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 30 มก./ล. เพียงอย่างเดียวก็มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีได้ดีแต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต โดยสามารถกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้ในช่วงร้อยละ 92.05 - 93.65, 59.30 - 72.55 และ 16.47 - 21.75 ตามลำดับ แต่พบว่าโพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและเมื่อใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก พบว่า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีได้เล็กน้อย แต่ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายเลย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.11 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภทสีต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต



ภาพที่ 4.12 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภทสีต่างๆ ด้วยโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

4.3.3 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

จากผลการทดลองการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำจากน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิดสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สรุปปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ

ประเภทน้ำเสียสีสังเคราะห์รีแอกทีฟ	สารสร้างตะกอน	โพลีเมอร์	พีเอชหลังตกตะกอน	%การกำจัดสี	%การกำจัด COD	%การกำจัดของแข็งละลายน้ำ	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี (บาท/ลบ.ม.)
โทนสีแดง (C.I. Reactive 180)	ACH 70 mg/L	-	4.94	95.32	86.05	12.79	1.405
	PACl 30 mg/L	-	5.43	93.65	69.45	16.47	0.426
โทนสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5)	ACH 70 mg/L	-	7.58	95.70	92.52	2.48	1.407
	ACH 50 mg/L	Polymer + 0.1 mg/L	5.9	94.7	88.59	54.20	1.037
	PACl 30 mg/L	-	4.92	92.05	59.30	17.94	0.424
	PACl 20 mg/L	Polymer + 0.1 mg/L	4.43	95.08	92.93	12.5	0.309
โทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknow)	ACH 60 mg/L	-	6.15	94.29	60	13.62	1.205
	ACH 50 mg/L	Polymer + 0.1 mg/L	4.31	92.22	86.64	66.06	1.035
	PACl 30 mg/L	-	5.1	93.42	72.55	21.14	0.427
	PACl 20 mg/L	Polymer + 0.4 mg/L	5.39	92.76	88.00	19.72	0.387

หมายเหตุ

ACH	ราคากิโลกรัมละ	20	บาท
PACL	ราคากิโลกรัมละ	14	บาท
Polymer-	ราคากิโลกรัมละ	108	บาท
Polymer+	ราคากิโลกรัมละ	250	บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีของการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับน้ำเสียสังเคราะห์โทนสีต่างๆ พบว่าโพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีต่ำกว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตมาก เนื่องจากปริมาณที่ใช้ต่ำกว่า และเมื่อใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกก็สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีลงได้อีกเล็กน้อย โดยพบว่าการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์จะถูกกว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตมากกว่าร้อยละ 50 แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำพบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้ดี (1,095-1,545 มก./ล. ซึ่งเป็นจุดเด่นของสารเคมีชนิดนี้) เพราะสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เมื่อเติมลงไปน้ำจะเกิดการแตกตัวดังสมการ(4-1)ได้คลอไรด์ไอออนออกมาทำให้มีผลต่อค่าของแข็งละลายน้ำซึ่งต่างจากสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่ได้ฟล็อค $Al(OH)_3$ เท่านั้น เนื่องจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมมักมีปัญหาปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

$$Al_2(OH)_3Cl_3 \longrightarrow Al_2(OH)_3^{3+} + 3Cl^- + 3H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3H^+ + 3Cl^- \qquad (4\text{-}1)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจริงจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

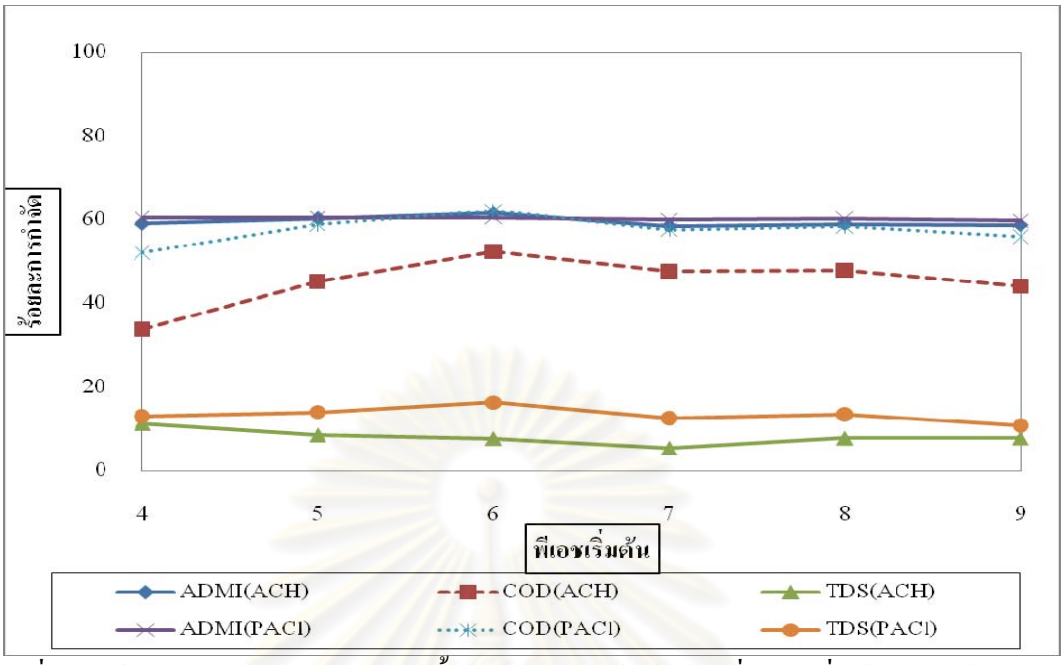
4.4.1 การเปรียบเทียบการกำจัดสีและซีโอดี

4.4.1.1 น้ำเสียจากหม้อต้มย้อม

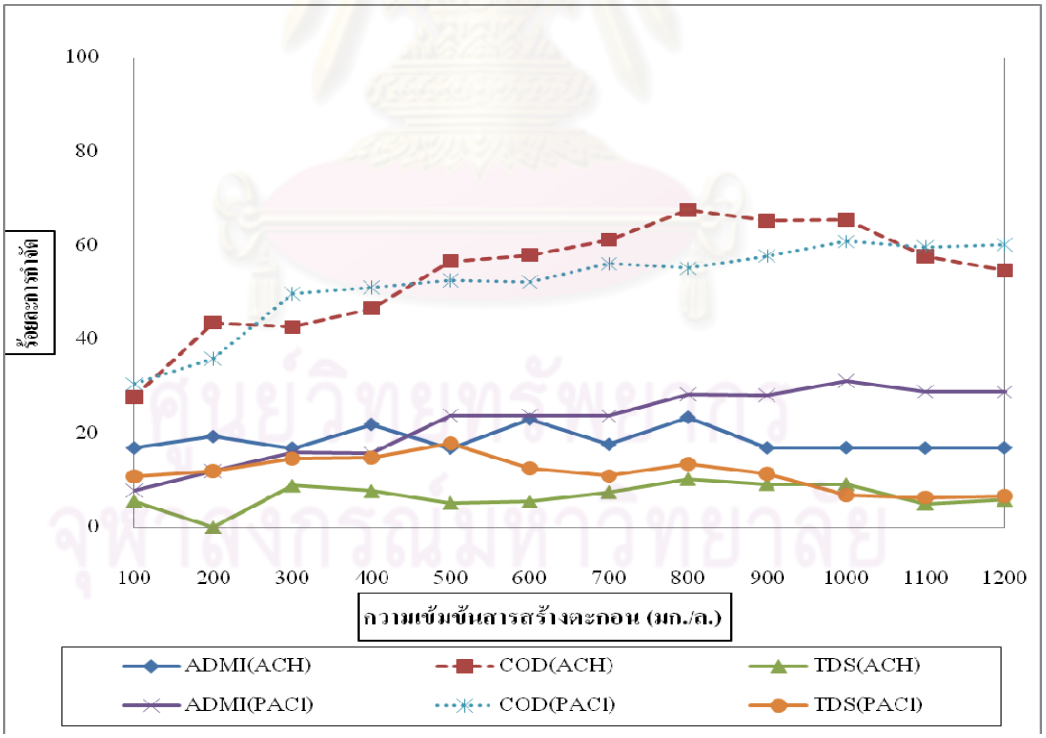
จากผลการทดลองการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนโดยปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจากหม้อย้อมที่ความเข้มข้นสีย้อมเริ่มต้นอยู่ในช่วง (200-300 ADMI) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำ มีค่าใกล้เคียงกันในทุกพีเอชแต่ประสิทธิการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงสุดที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำเท่ากับร้อยละ61.76, 60.66 52.52, 62.51 และ 7.85, 16.37 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.13)

จากผลการทดลองการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนโดยปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจากหม้อย้อมเป็น 6 และปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสาร โดยพบว่าปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ที่เหมาะสม คือความเข้มข้น 400 และ 300 มก./ล.มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำเท่ากับ 21.95,15.92 46.66,49.79 และ 7.76,14.72 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.14)

สรุป การใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนกับน้ำเสียจากหม้อต้มย้อมไม่เหมาะสมเพราะใช้ปริมาณสารมาก และช่วยกำจัดซีโอดีแต่ไม่สามารถกำจัดสีลงได้ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสี จากสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมกับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม พบว่าในการกำจัดสีจากสารละลายสีย้อมใช้ปริมาณสารตกตะกอนน้อยกว่าการกำจัดสีจากน้ำทิ้งและประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายสีน้ำเสียสังเคราะห์มีเพียงสีและน้ำเป็นตัวทำละลาย ส่วนน้ำทิ้งเป็นน้ำจากหม้อต้มย้อมมาทำการทดลอง ดังนั้นน้ำเสียเหล่านี้นอกจากจะมีสีเป็นส่วนประกอบแล้ว ยังมีสารช่วยย้อมประเภทต่างๆเป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม ดังจากการทดลองของ สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ (2525) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารช่วยย้อมและไม่มีสารช่วยย้อมโดยใช้แมกนีเซียมไฮเดรตเบสิก พบว่าน้ำเสียที่มีสารช่วยย้อมทำให้การกำจัดสีของน้ำเสียเป็นไปได้ยากกว่าน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยย้อม สำหรับสารช่วยย้อมมีผลทำให้การกำจัดสีเป็นไปได้ยาก เนื่องจากสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้งอาจไปเพิ่มอัตราการละลายของสีย้อม ทำให้คุณสมบัติของอนุภาคสีย้อมเพิ่มแนวโน้มในการที่จะเป็นอนุภาคไฮโดรฟิลิกมากขึ้น หรืออาจเป็นเพราะว่าสารช่วยย้อมที่เจือปนอยู่ เป็นตัวทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคสีย้อมมากขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง และจะต้องใช้ปริมาณสารเคมีในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น (กาญนิถา ครองธรรมชาติ, 2536)



ภาพที่ 4.13 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อต้มย้อมที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์



ภาพที่ 4.14 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อต้มย้อมหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

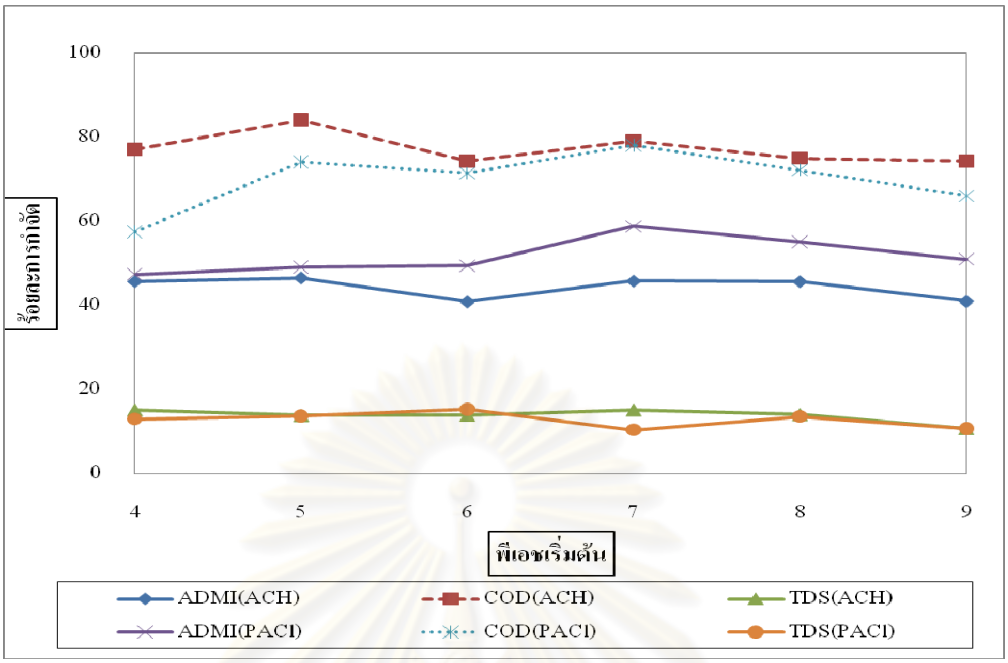
4.4.1.2 น้ำเสียจากหม้อล้าง

จากผลการทดลองการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนโดยปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจากหม้อล้าง พบว่า ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำ (ดังภาพที่ 4.15)

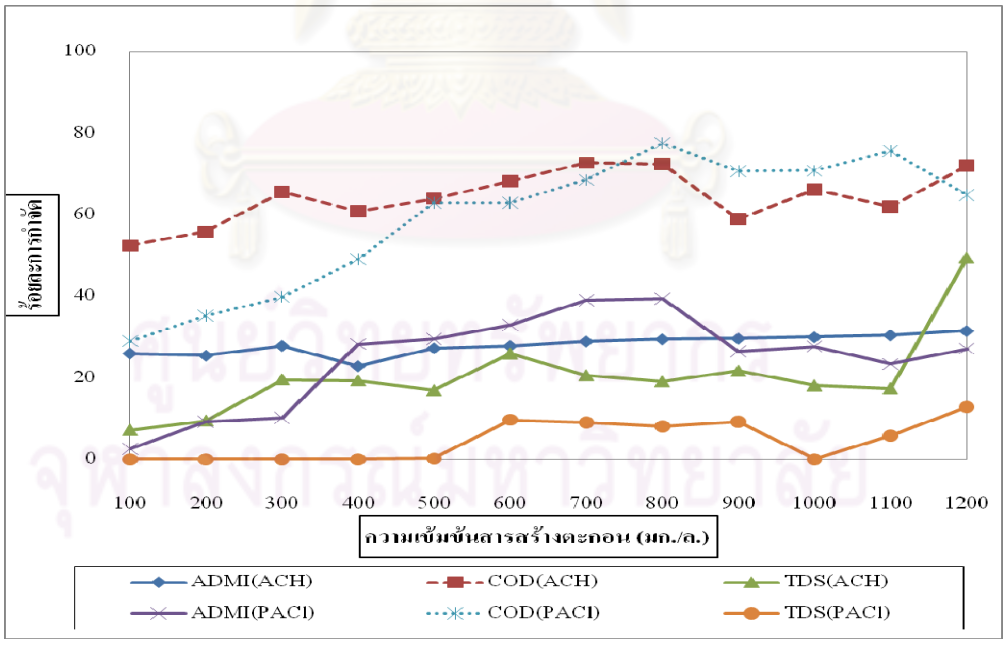
จากผลการทดลองการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนโดยปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นของน้ำล้างจากหม้อต้มย้อมใช้ได้ที่ความเข้มข้น 300 และ 400 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 27.85, 28.24 65.58,49.07 และ 19.51,0 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างต่ำ ซึ่งน้ำเสียหลังการบำบัดยังมีค่าสีและของแข็งละลายน้ำสูงมาก 2014 และ 2003 ADMI ตามลำดับและ 8,371 และ 10,475 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนซีโอดีมีค่าต่ำมาก 88.81 และ 165 มก./ล.ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4.16)

สรุป การกำจัดสีและซีโอดีจากหม้อล้างเป็นน้ำเสียที่มีความเข้นข้นสีสูงและมีสารปนเปื้อนสูงมาก เช่น สารช่วยย้อมและสารซักล้างเป็นตัวทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคสีย้อมมากขึ้นทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 9.5 (ms/cm) จึงทำให้การตกตะกอนทางเคมีเป็นไปได้ยาก (วรรษวรรณ ,2546) ดังนั้นน้ำเสียจากหม้อย้อมและหม้อล้างจึงควรทำการเจือจางผสมกับน้ำเสียรวมในโรงงานก่อนที่จะผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเพื่อจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดี ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อล้างที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์



รูปที่ 4.16 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงจากหม้อล้างหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

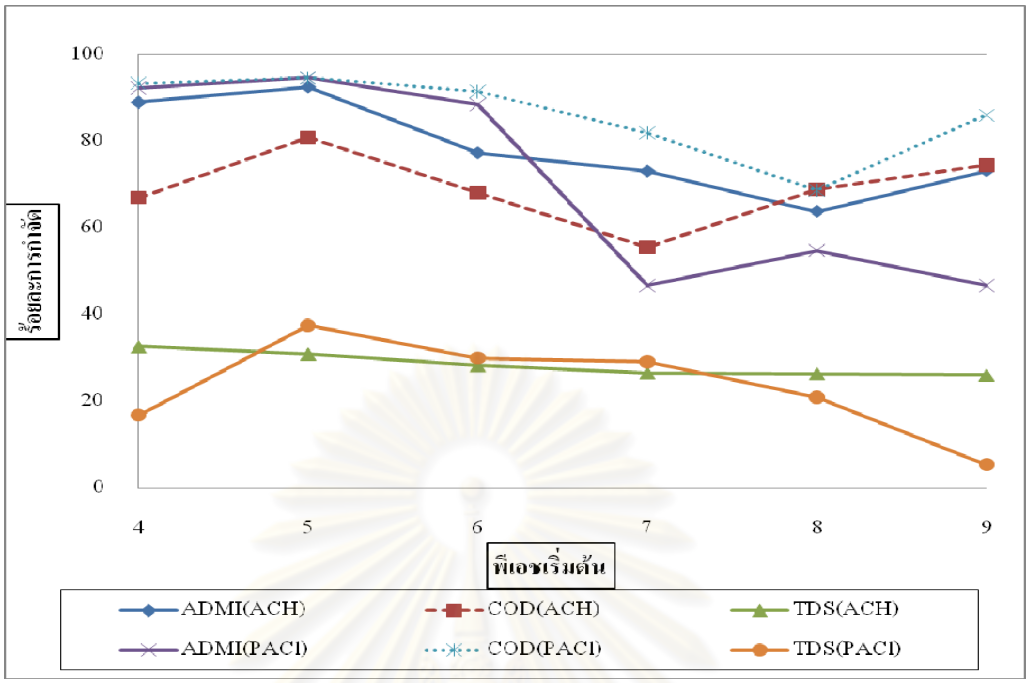
4.4.1.3 น้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัด

น้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าพีเอชเท่ากับ 10.48 มีค่าสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำเท่ากับ 151 ADMI 547 มก./ล.และ 5,270 มก./ล.ตามลำดับ

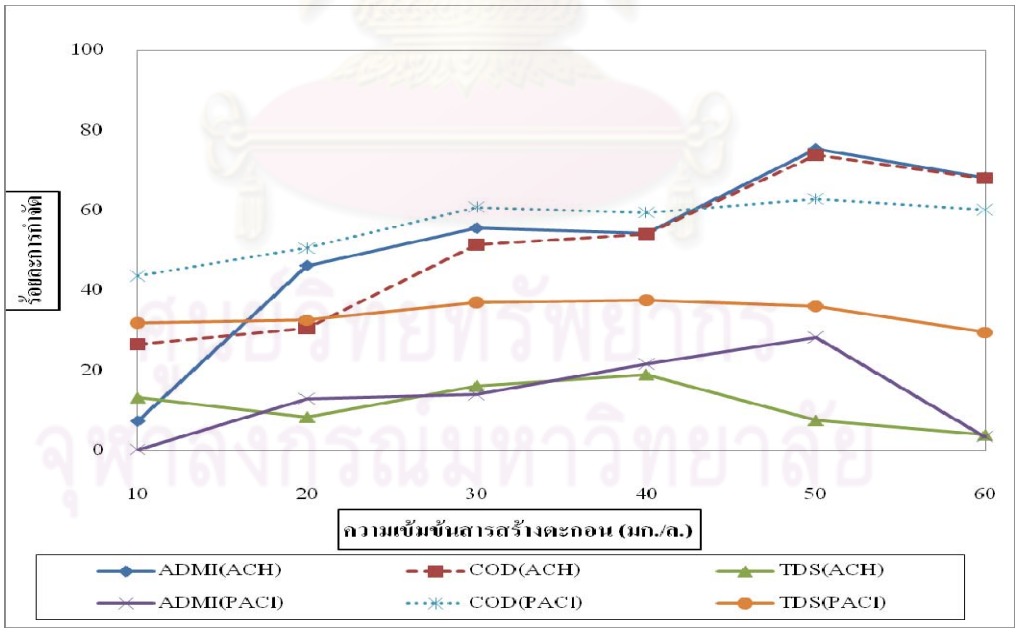
การทดลองทำการปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน พบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโดยที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดีและของแข็งละลายน้ำสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.59, 94.64 80.89,94.66 และ 30.93,37.57 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.17

จากผลการทดลองการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนโดยปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้นน้ำเสียเท่ากับ 5 และแปรเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เท่ากับ 50 มก./ล. อย่างเดียวก็สามารถกำจัดสีและซีโอดีสูงถึงร้อยละ 75.401,28.31และ 73.88,62.99 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.18 น้ำเสียหลังการทดลองมีค่าสีและซีโอดีลดลงแต่ยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งและเมื่อทดลองตกตะกอนน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดโดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 40 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.2 มก./ล. พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีสูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 93.04,91.31 และ 76.33,66.17 ตามลำดับ เนื่องจากโพลีเมอร์เป็นสารช่วยรวมตะกอน (Coagulant aid) เพิ่มเป้าสัมผัสและรวมตะกอนให้มีอนุภาคใหญ่ขึ้นมีน้ำหนักตกตะกอนได้ง่ายขึ้น มีโครงสร้างเป็นสายยาวทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวมตัวกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น (Costello, 1984) แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาสู่สภาวะเสถียรอีกครั้งหนึ่ง (Rebhun และ Luric, 1993) ส่วนค่าของแข็งละลายน้ำหลังการตกตะกอนยังคงมีค่าสูงมากอาจเป็นเพราะน้ำเสียจริงมีสิ่งเจือปนรวมกันในปริมาณสูง ผลึกของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์บางส่วนจะไปกำจัดสิ่งเจือปนอื่นในน้ำเสียด้วย มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำลดลง ดังภาพที่ 4.19 และ 4.20

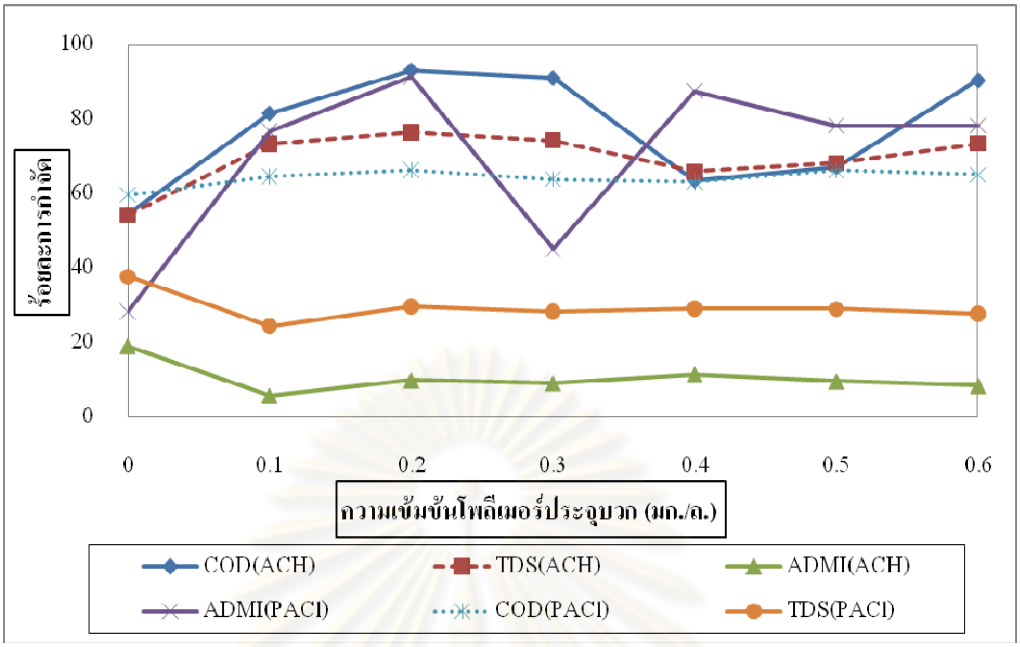
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



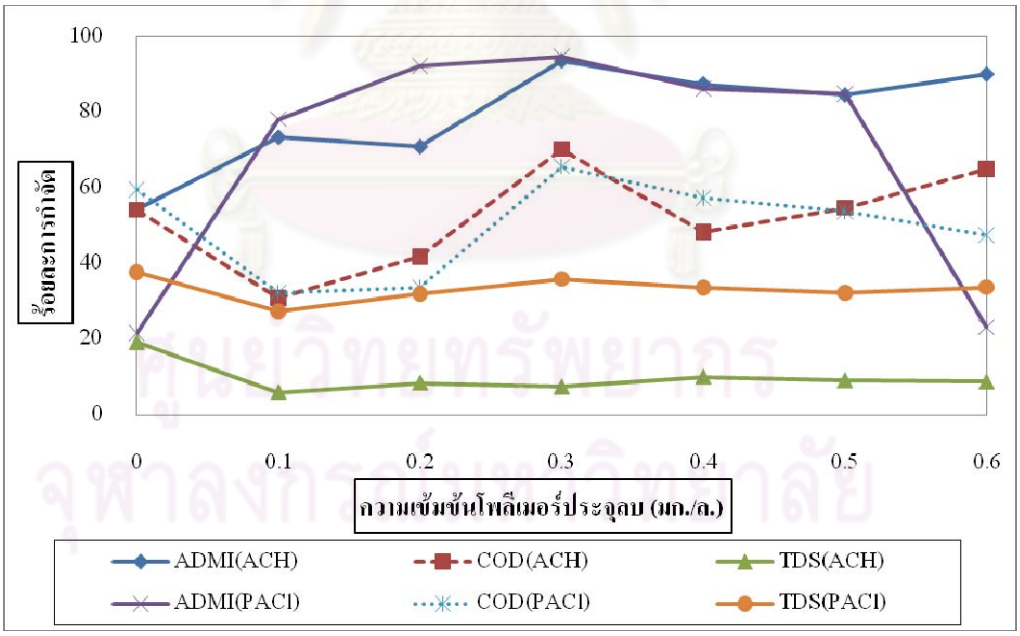
ภาพที่ 4.17 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์



ภาพที่ 4.18 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์



รูปที่ 4.19 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดร่วมด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับโพลิเมอร์ประจุบวก



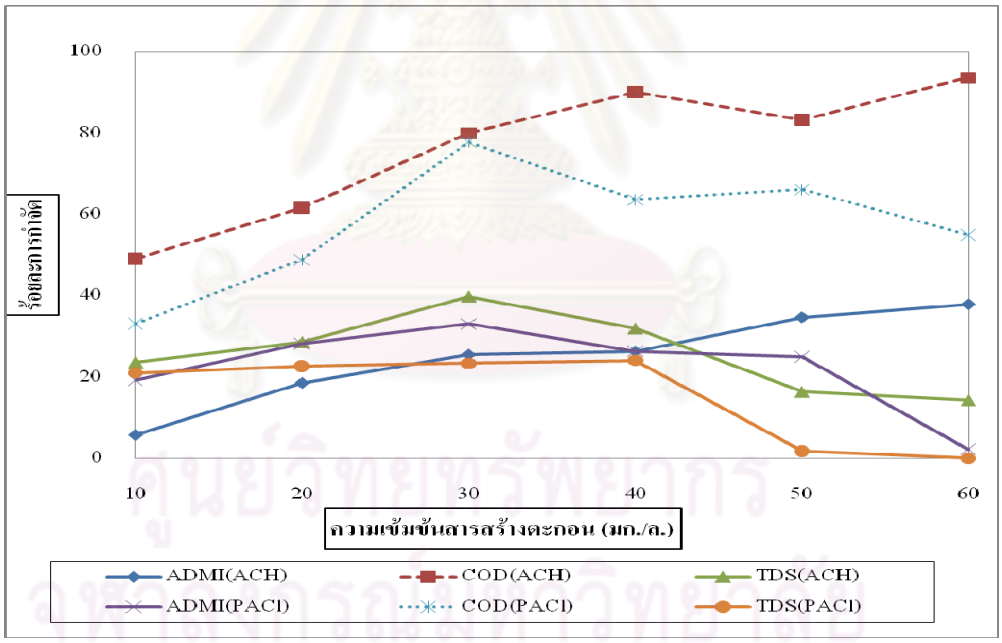
รูปที่ 4.20 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดร่วมด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับโพลิเมอร์ประจุลบ

4.4.1.4 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว

น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วมีค่าซีโอดีค่อนข้างต่ำ 81 มก./ล. และมีค่าพีเอช 8.47 ความเข้มข้นสี 201 ADMI แต่พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำยังคงสูง 3,450 มก./ล. เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจึงนำมาตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดของแข็งละลายน้ำ

พีเอชที่เหมาะสมคือ 6-7 โดยไม่ต้องทดลองก็สามารถนำผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์มาใช้ได้

จากผลการทดลองใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน พบว่า การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เพียง 10 มก./ล.ก็สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียให้ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งแล้ว คือ 2,635 และ 2,725 มก./ล.ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัด 23% และช่วยลดสีและซีโอดีลงเท่ากับ 5.7%,19.2% และ 41.03% ,54.16% ตามลำดับดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีน้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

4.5 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ก) การหาปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียรวมโรงงานฟอกย้อม ได้ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่น้ำเสียประเภทต่างๆรวมราคาสารเคมีปรับพีเอชน้ำแล้ว ได้แก่ น้ำเสียจากหม้อต้มย้อม น้ำเสียจากหม้อล้าง น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว มีปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสมคือ 400 300 50 และ 10 มก./ล.ตามลำดับ มีค่าใช้จ่าย 302.12 81.24 28.36 และ 20.72 บาท/ลบ.ม.ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสมคือ 40 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ 0.2 และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าใช้จ่าย 28.41 และ 28.39 บาท/ลบ.ม.ตามลำดับ

ข) การหาปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียรวมโรงงานฟอกย้อม ได้ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่น้ำเสียประเภทต่างๆรวมราคาสารเคมีปรับพีเอชน้ำแล้ว ได้แก่ น้ำเสียจากหม้อต้มย้อม น้ำเสียจากหม้อล้าง น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วมีปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 300 400 50 และ 10 มก./ล.ตามลำดับ มีค่าใช้จ่าย 298.32 80.84 28.06 และ 20.66 บาท/ลบ.ม.ตามลำดับ เมื่อใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 40 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ 0.2 และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าใช้จ่าย 27.97 และ 27.95 บาท/ลบ.ม. ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ กับน้ำเสียจริง

จากตารางที่ 4.22 สรุปได้ว่า อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสีสูงมากเช่น น้ำเสียจากหม้อต้มย้อมและน้ำเสียจากหม้อล้าง โดยพบว่า ต้องใช้สารตกตะกอนเป็นปริมาณสูงมากและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำ รวมทั้งไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้

การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับน้ำเสียรวมก่อนการบำบัดซึ่งมีค่าสี และซีโอดีเท่ากับ 151 ADM Iและ 547 มก./ล.และมีค่าของแข็งละลายน้ำสูงมาก 5,270 มก./ล. จากผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสม พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกมีประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีสูงมากร้อยละ 91.66-94.66 และ 62.99-76.33 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าซีโอดีหลังตกตะกอนทางเคมีลดลงเหลือเพียง 129.5-163 มก./ล. ส่วนค่าของแข็งละลายน้ำหลังการบำบัดพบว่ามีค่า 3,380-4,965 มก./ล.ถ้านำน้ำเสียหลังการบำบัดทางเคมีแล้ว เมื่อนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีทางชีวภาพ คาดว่าน่าจะสามารถกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำให้ได้ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้

การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพแล้ว พบว่า ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เพียง 10 มก./ล.ก็สามารถลดค่าของแข็งละลายน้ำได้ร้อยละ 21.01-23.62

ดังนั้นสรุปได้ว่าอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียรวมที่มีความเข้มข้นสีไม่สูงนักและมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว ดังภาพที่ 4.22 และ 4.23 โดยมีค่าใช้จ่ายเพียง 27.97-28.41 และ 20.66-20.72 บาท/ลบ.ม. สำหรับน้ำเสียรวมก่อนบำบัดและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 สรุปสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีน้ำเสียรวมจากโรงงานฟอกย้อม

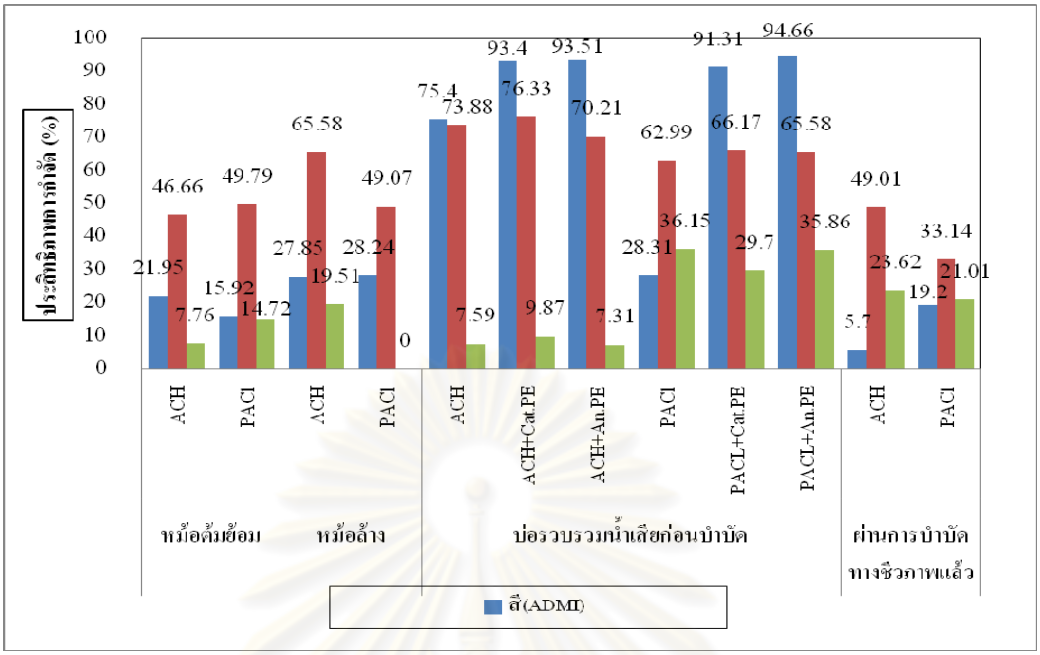
ประเภทน้ำเสีย	สารสร้างตะกอน	โพลีเมอร์	พีเอช	%การกำจัดสี	%การกำจัด COD	%การกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี (บาท/ลบ.ม.)
หม้อต้มย้อม	ACH 400 mg/L	-	6.55	21.95	46.66	7.76	302.12
	PACl 300 mg/L	-	4.92	15.92	49.79	14.72	298.32
หม้อล้าง	ACH 300 mg/L	-	6.52	27.85	65.58	19.51	81.24
	PACl 400 mg/L	-	4.91	28.24	49.07	0	80.84
บ่อรวบรวมน้ำเสียก่อนบำบัด(1)	ACH 50 mg/L	-	6.71	75.40	73.88	7.59	28.36
	ACH 40 mg/L	Polymer + 0.2 mg/L	6.33	93.04	76.33	9.87	28.41
	ACH 40 mg/L	Polymer - 0.3 mg/L	6.7	93.51	70.21	7.31	28.39
	PACl 50 mg/L	-	4.43	28.31	62.99	36.15	28.06
	PACl 40 mg/L	Polymer + 0.2 mg/L	4.73	91.31	66.17	29.7	27.97
	PACl 40 mg/L	Polymer - 0.3 mg/L	4.17	94.66	65.58	35.86	27.95
ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว (2)	ACH 10 mg/L	-	6.87	5.7	49.01	23.62	20.72
	PACl 10 mg/L	-	7.22	19.2	33.14	21.01	20.66

หมายเหตุ

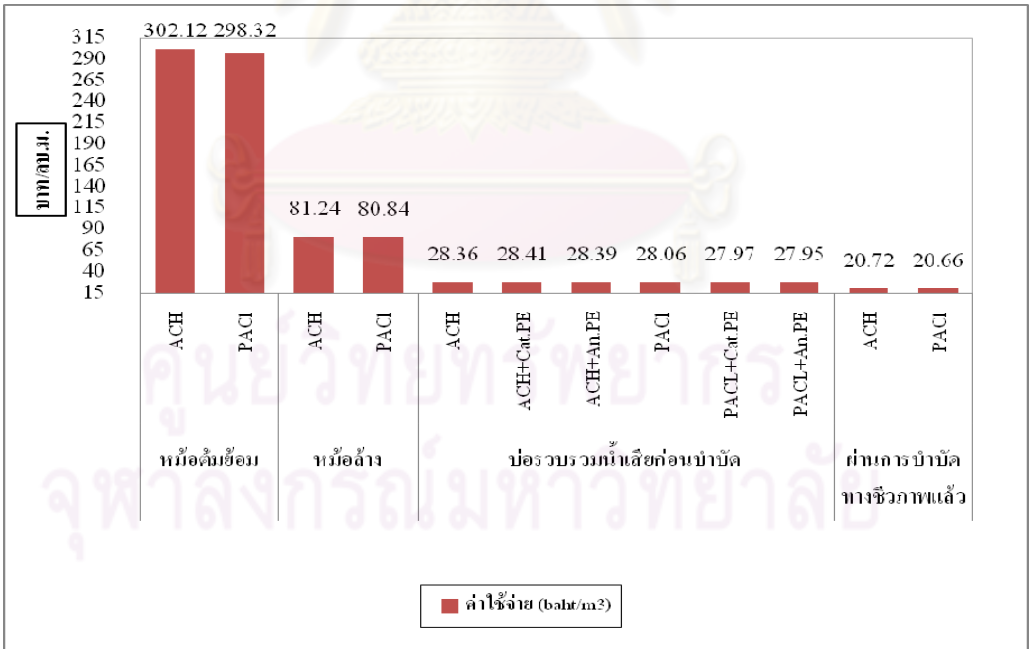
ACH	ราคากิโลกรัมละ	20	บาท
PACL	ราคากิโลกรัมละ	14	บาท
Polymer-	ราคากิโลกรัมละ	108	บาท
Polymer+	ราคากิโลกรัมละ	250	บาท

(1) การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับน้ำในบ่อรวบรวมน้ำเสียไม่สามารถกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้โดยเฉพาะโพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีผลทำให้ค่าพีเอชลดลงไม่ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่ 5-9

(2) น้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพมีค่าของแข็งละลายน้ำเกินมาตรฐานเล็กน้อย 3,450 มก./ล.ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์กับน้ำเสียเพียง 10 มก./ล.สามารถลดค่าของแข็งละลายน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง



ภาพที่ 4.22 สรุปผลการทดลองของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม



ภาพที่ 4.23 สรุปค่าใช่จ่ายสารเคมีสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ตารางที่ 4.23 ตารางเปรียบเทียบงานวิจัยอื่นๆ

สารตกตะกอน	ประเภทสีย้อม	ปริมาณสารที่ใช้ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี(%)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1. สารส้ม , ปูนขาว และ แมกนิเซียม คาร์บอเนตไฮเดรดเบสิค(MCHB)	สีแว็ต ไดเร็กท์ รีแอกทีฟ ซัลเฟอร์ อะโซอิคและเมททัลลิก	500 1,000 และ 250	มากกว่า 70	65-77	0.75-10.70	Pandswad, T. และ Wongchaisuwa.,(1986); สมคิด วงค์ไชย สุวรรณ (2525)
2. สารโซเดียม ไฮโดรซัลไฟท์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโซเดียมไฮโปรคลอไรท์	สีแว็ต ไดเร็กท์ รีแอกทีฟ ซัลเฟอร์ อะโซอิค เอซิดและสีเบสิก	1.80-28.80	50 และ 75	78-86	0.13-18.80	อภิชาต ปานเจริญ (2526)
3. โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์, เฟอร์ริกซัลเฟต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์	รีแอกทีฟ สีไดเร็กท์ สีดิสเพิสและสีเบสิค	2,000 250 และ400 โพลีเมอร์ประจุบวก 3.5 5.0 และ 3.50	-	57.8 51.9 และ 48.3	28 42 และ 30	สวีณา เกตุสุวรรณ (2543)
4. โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	รีแอกทีฟ สีเอซิด สีไดเร็กท์ และสีดิสเพิส	400-500, 500-3,000 ,600-3,000 และ100-1500	0.3-59.7, 8.2-84.5, 7.6-81.9 และ 63.5-96.1	2.6-27.6, 10.6-58.0, 6.6-46.3 และ 54.2-95.0	30-75, 30-546, 36-202 และ 7-93	กาญนิถา ครองธรรมชาติ (2535)
5. เฟอริคคลอไรด์ เฟอรัสซัลเฟต สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเบนโทไนท์	สีรีแอกทีฟ สีแอสิด สีเบสิค สีไดเร็กท์ สีแวต และสีดิสเพอร์ส	750-1000	77-99, 98 และ 99	60-93, 83, 70-84 และ65.71	8.25-14.75	**จารุทัศน์ มิลินทะเลข (2537)**
6. อลูมิเนียมซัลเฟต โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟต และเฟอร์รัสซัลเฟต	สีดิสเพิร์ส สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ	500-1000	100 97 และ 41	64.09-66	10.34-25.33	**ขนิษฐา เจริญลาภ (2545)**
7. สารส้ม ถ่านกัมมันต์และขี้เถ้าลอย	สีเอซิด สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟ	25-50	86.0-93.2และ 67.7-72.8	65.0-74.0 และ 56.0-65.0	6.4-9.4 และ 4.9-7.4	อริศรา พุ่มเคชา(2539)

สารตกตะกอน	ประเภทสีย้อม	ปริมาณสารที่ใช้ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี(%)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
8.เฟนตันรีเอเจนต์ (สารผสมของไฮโดรเจเปอร์ออกไซด์และเฟอรัสซัลเฟต)	สีไดเร็กท์ สีรีแอกทีฟ เอซิดและสีเบสิก	110-185 และ 19-36	83-94	37-61	5.94-9.55	ปวีณา ธนะสังข์ (2539)

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกำจัดสีย้อมด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4.23 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีความแตกต่างกันมากขึ้นกับชนิดสีย้อมและชนิดของสารตกตะกอน ซึ่งโดยทั่วไปพบว่ามีการใช้ปริมาณสารตกตะกอนชนิดต่างๆสูงมาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูงและประสิทธิภาพการกำจัดก็ไม่สูงมาก ส่วนการศึกษานี้มีการใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตแลโพลีอะลูมนัมคลอไรด์กับสีย้อมรีแอกทีฟกับน้ำเสียจริง พบว่าปริมาณสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ต่ำมาก สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายเท่ากับ 27.97-28.41 บาท/ลบ.ม. สรุปว่าสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพกำจัดสีรีแอกทีฟได้ดี และปริมาณใช้สารเคมีต่ำกว่าการใช้สารเคมีในงานวิจัยอื่นๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนเคมี

1) น้ำเสียสีสังเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่อง Fourier Transform Infra-red Spectrometer พบว่า องค์ประกอบของตะกอนจากการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ในแต่ละโทนสีมีองค์ประกอบเหมือนกันโดยพบองค์ประกอบ Aromatic compound. เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำเสียของสีย้อมที่ใช้ในการทดลองนี้ ดังตารางที่ 4.24 และไม่พบเกลือของโลหะหนัก ($Al(OH)_3$) เลยอาจเนื่องจากมีการใช้สารตกตะกอนปริมาณน้อยมาก

2) น้ำเสียจริงโรงงานฟอกย้อม

จากผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่อง Fourier Transform Infra-red Spectrometer พบว่า องค์ประกอบตะกอนที่พบเป็นพวก Hydroxy or amino compound and inorganic compound เป็นส่วนใหญ่และพบตะกอนโลหะหนักเนื่องจากใช้สารตกตะกอนปริมาณมาก ประกอบกับน้ำเสียจริงมีการใช้สารด่างและเกลือในกระบวนการผลิตมากทำให้โลหะเหล่านี้ตกตะกอนมากับน้ำเสียจากหม้อต้มย้อม น้ำล้างจากหม้อต้มย้อม น้ำเสียรวมก่อนการบำบัดและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่อง FTIR

ประเภทตะกอน	สารสร้างตะกอน	โพลีเมอร์	องค์ประกอบของตะกอน
สีรีแอกทีฟโทนสีแดง	ACH 70 มก./ล.	-	Aromatic compound-possibly hydroxy or amino substituted.
	PACl 20 มก./ล.	ประจุบวก 0.1 มก./ล.	Aromatic compound-possibly hydroxy or amino substituted.
สีรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน	ACH 50 มก./ล.	ประจุบวก 0.1 มก./ล.	Aromatic compound-possibly hydroxy or amino substituted aromatic ,alcohol-alkoxy substituted or halogenated phenol.
	PACl 30 มก./ล.	-	Aromatic compound-possibly hydroxy or amino substituted,aromatic alcohol-alkoxy substituted or halogenated phenol.
สีรีแอกทีฟโทนสีเหลือง	ACH 70 มก./ล.	-	Ortho aryl aryloxy or arylamino compound, hydroxy or amino compound-general.
	PACl 30 มก./ล.	-	Ortho aryl aryloxy or arylamino compound, hydroxy or amino compound-general.

ประเภทตะกอน	สารสร้างตะกอน	โพลีเมอร์	องค์ประกอบของตะกอน
น้ำเสียจากหม้อต้มย้อม	ACH 400 มก./ล.	-	hydroxy or amino compound-general,inorganic compound-hydrated metal salt or oxide.
	PACl 300 มก./ล.	-	Hydroxy or amino compound-general,inorganic compound-hydrated sulphate.
น้ำล้างจากหม้อต้มย้อม	ACH 300 มก./ล.	-	Hydroxy or amino compound-general,inorganic compound-hydrated metal salt or oxide,inorganic compound-sulphate
	PACl 400 มก./ล.	-	Hydroxy or amino compound-general,inorganic compound-hydrated metal salt or oxide,inorganic compound-sulphate, inorganic compound-hydrated sulphate.
น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด	ACH 50 มก./ล.	ประจุบวก 0.2 มก./ล.	Alkyl group-general, alkyl group-hydroxy or possibly amino substituted,hydroxy or amino compound-general.
	PACl 50 มก./ล.	ประจุบวก 0.2 มก./ล.	Alkyl group-general, alkyl group-hydroxy or possibly amino substituted,hydroxy or amino compound-general,aliphatic alcohol with carbonyl substituted.
น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว	ACH 10 มก./ล.	-	hydroxy or amino compound-general,inorganic compound-hydrated metal salt or oxide.
	PACl 10 มก./ล.	-	hydroxy or amino compound-general,inorganic compound-hydrated metal salt or oxide,inorganic compound-hydrate sulphate.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และ ของแข็งละลายน้ำ น้ำเสียสังเคราะห์รีแอกทีฟโดยใช้สารสร้างตะกอนอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์

สามารถสรุปเป็นข้อๆ ดังนี้

1) อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำในน้ำสังเคราะห์โทนสีแดง (C.I. Reactive 180) โทนสีน้ำเงิน (C.I. Reactive Black 5) และโทนสีเหลือง (C.I. Reactive Unknow)ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 100 มก./ล. (2,297- 3,200 ADMI) โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตคือ ที่พีเอช 6-8 ปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสม 60-70 มก./ล สามารถลดสีและซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 95.29 - 95.70 และ 50.79 - 92.52 ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับโพลีอะลูมินัมคลอไรด์คือพีเอช 5-8 ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. สามารถกำจัดสีและซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 92.05 - 93.42 และ 59.3 - 72.55 ตามลำดับ

2) การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้สูงขึ้นคิดเป็นอยู่ในช่วงร้อยละ 86.64 - 94.75 และ 52.03 - 54.20 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการใช้โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งละลายน้ำได้เช่นกัน

5.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี และ ของแข็งละลายน้ำ น้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตและน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ สรุปได้ดังนี้

1) อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดี ในน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดได้สูงถึงร้อยละ 92.59 94.64 และ 80.89 94.66 ตามลำดับ

2) การใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีได้สูงขึ้นร้อยละ 93.04 91.31 และ 76.33 66.17 ตามลำดับและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้ด้วย

3) ในกรณีน้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วการใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนช่วยกำจัดของแข็งแขวนลอยให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

4) น้ำเสียหม้อย้อมและน้ำหม้อล้างหม้อย้อม มีความเข้มสีและของแข็งละลายน้ำสูงมากซึ่งไม่สามารถกำจัดสีและของแข็งละลายน้ำด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ดังนั้นวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต

และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ จึงเหมาะสมในการบำบัดสี ซีโอดี และของแข็งละลายน้ำจากน้ำเสียรวมและน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดทางชีวภาพแล้วเท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรทำการทดลองตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตกับน้ำเสียประเภทอื่นๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษเป็นต้น

2) ควรศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารสร้างตะกอนหลายๆชนิดปนกันในการบำบัดน้ำเสีย

3) ควรศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีประเภทอื่นๆ เพิ่มเติม

4) ควรศึกษาผลของตะกอนที่เกิดขึ้น เพื่อประเมินว่ามีผลต่อสิ่งมีชีวิตหรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญนิถา ครองธรรมชาติ.2535. การใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงย้อม. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, เฉลิมราช วันทวิน, วุฒิ วิพันธ์พงษ์ และอำพล เตโชวณิชย์. 2544. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

เกศรินทร์ วรเดชวิทยา.2552. การกำจัดความขุ่นและสาหร่าย เซลล์เดียวในน้ำดิบจากคลองประปา วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2541. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อม. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ขนิษฐา เจริญลาภ. 2543 . การกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเร็กท์ และสีรีแอกทีฟจากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการ ตกตะกอน. คัลเลอร์เวย์ 34 (พฤษภาคม – มิถุนายน 2543): 32-38.

จารุทัศน์ มิลินทะเลข.2537. การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่มที่ 1 : สรุปรวม. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527.การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า เล่ม 2 : ข้อมูลพื้นฐาน. รายงานวิจัยขั้นสมบูรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ปวีณา ธนะสังข์.2539. การกำจัดสีจากน้ำทิ้งฟอกย้อมสิ่งทอ โดยวิธีการออกซิเดชัน-รีดักชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปิ่นสยาม ภูมิพาณิชย์. 2546.การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาลัยขอนแก่น.

พลังงาน, กระทรวงพลังงาน กรมอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร. 2547

พิงอร วิไลวงษ์. การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

โรงงานอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรุงเทพมหานคร.(ม.ป.ท.).

โรงงานอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ.กรุงเทพมหานคร. 2551

วรรษวรรณ เที่ยงวรรณการต์. 2546. การกำจัดซีโอดีสีย้อมรีแอกทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรวิทย์ เหลืองดิลก. 2544. ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟต่อการลดสีโดยกระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วาริท เจาะจิตต์. 2541. การศึกษาการใช้โพลีอะลูมินั่มคลอไรด์ เฟอร์ริกคลอไรด์และเบนโทไนท์ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2542. คู่มือผู้ควบคุมและปฏิบัติงานระบบบำบัดมลพิษโรงงาน. กรุงเทพมหานคร: (ม.ป.ท.).

สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ. 2525. การกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายโดยใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาวิตรี ตาสุติน (2552) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์และน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544. คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าและฟอกย้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

สิรินันท์ กันสิริ. 2550. การกำจัดซีโอดีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุชาติ สถิตย์มั่นในธรรม. เทคนิคการไตเตรตคอลลอยด์ในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

อริศรา พุ่มคชา.2539. การศึกษาการดูดซับร่วมกับสารส้มในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อภิชาต ปานเจริญ.2526. การสำรวจสารลดสีที่มีศักยภาพสำหรับน้ำเสียจากโรงย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539.การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดติดผิวและโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัจฉราพร ไศละสูต. คู่มือการย้อมสี. กรุงเทพมหานคร : เทคนิค 19 การพิมพ์กรุงเทพ, 2527.

ภาษาอังกฤษ

Allen, W., Prescott, W.B., Derby, R.E., Garland, C.E., Peret, J.M. and Saltzman, M.. Proceeding of the 28th Perdue Industrial Wastewater Conference Part 2., Purdue University 1973: 661-675.

American Public Health Association. Standard methods for examination of water and wastewater. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1995.

Bachand, P., Trejo. G .J., Darby, J and Reuter, J. 2006. Small-scale studies on Low Intensity Chemical Dosing (LICD) for treatment of highway runoff. Caltrans LICD Final Report V1.0 TO13

Brown, D. and Hamburger, B.. The Degradation of Dyestuffs : Part III – Investigations of their ultimate degradability. Chemosphere 16 (1987): 1539-1553.

Carliell, C.M., Barclay, S.J., Naidoo, N., Buckley, C.A., Mulholland, D.A. and Senior, E.. Microbial decolourization of a reactive azo dye under anaerobic conditions. Water SA 21 (1995): 61-69.

Chang, J.S. and Lin, Y.C.. Fed-batch bioreactor strategies for microbial decolorization of azo dye using a pseudomonas luteola strain. Biotechnol.Prog. 16 (2000): 979-985.

ChemicalBook Inc. Aluminium chlorohydrate[online]. (n.d.). Available from : http://www.chemicalbook.com [9 September 2008]

Dempsey, B.A. Polyaluminium chloride and alum coagulation of clay fulvic acid suspensions. J. Amer. Wat. Works Assoc. 77 (March 1985) : 74-80.

Frijters, C.T.M.J., Vos, R.H., Scheffer, G. and Mulder, R.. Decolorizing and detoxifying textile wastewater, containing both soluble and insoluble dyes, in a full scale combined anaerobic/aerobic system. Water Research 40 (2006): 1249-1257.

Gregor, K.H.. Oxidation decolorization of textile wastewater with advanced oxidation process. Chemical oxidation Volume 2 : Proceeding of the 2nd International Symposium Chemical Oxidation : Technology for the Nineties., 1992: 161-193.

Hammer, M.J. and Hammer, Jr. M.J. Water and wastewater technology. 3th ed. New Jersey : Prentice International, Inc., 1996

Kaeding, U.W. A direct comparision between aluminium sulphate and polyaluminium chloride as coagulants in water treatment plant. J. Wat. Supply. 10 (April 1992) : 119-132.

Kawamura, S. Consideration on Improveing Flocculation. J. Amer. Wat. Works Assoc. 65 (June 1976) : 417-423.

Kawamura, S. and Trussell, R.R. Main features of large water treatment plants in Japan. J. Amer. Wat. Works Assoc. 83 (June 1991) :56-62.

Kim, T.H., Park, C., Shin, E.B. and Kim, S.. Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride. Desalination 161 (2004): 49-58.

Kumar P., Prasad B., Mishra I.M., and Chand S. 2007. Decolorization and COD reduction of dyeing wastewater from a cotton textile mill using thermolysis and coagulation. Journal of Hazardous Materials 153 (2008) :635–645.

Linqvist, N., Korhonen, S., Jokela, J. and Tuhkanen, T. 2002. Comparison of Iron and Aluminum Based Coagulants and Polymeric Flocculant Aids to Enhance NOM Removal. In Hermann, H. H., Hoffmann, E. and Odegaard, H. (eds.), Chemical Water and Wastewater Treatment VII, pp.134-142. London: IWA Publishing.

Nilsson, R. Residual aluminium concentration in drinking water after treatment with aluminium of iron salts or apatite health aspects. J. Wat. Supply. 10 (April 1992) : 55-64.

Packham, R.F. and Ratnayaka, D.D. Water clarification with aluminium coagulants in the UK. J. Wat. Supply. 10 (April 1992) : 35-48.

Povillot, M. and Suty, H. High-basicity polymeric aluminium salts for drinking water production. J. Wat. Supply. 10 (1992) : 133-154.

Reife, A. and Freeman, H.S.. Carbon adsorption of dyes and selected intermediates. Environmental Chemistry of Dyes and Pigments. John Wiley & Sons. Inc., 1996: 3-32.

Rich, G.L. Environmental systems engineering. USA : McGraw-Hill, Inc., 1973.

Simpson, A.M., Hatton, W. and Brockbank, M. Aluminium its use and control in potable water. J. Envie. Tech. Left. 9 (September 1988) : 907-916.

Seesuriyachan P., Shinji T., Kuntiya A., Klayraung S., Shuichiro M. and Kenji A.. Metabolism of azodyes by Lactobacillus casei TISTR 1500 and effects of various factors on decolorization. Water Research 41 (2007): 985-992.

Shore, J. 1990. England Society of Dyes and Colorists. Colorants and Auxiliaries Organic Chemistry and Application Properties Vol 1.

Tran, T., Gray, S., Naughton, R. and Bolto, B. 2006. Polysilicato-iron for improved NOM removal and membrane performance. Journal of Membrane Science 280: 560–571.

U.S.EPA. Manual Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry. EPA/625/R-96/004. 1996.

Villegas, R.A. and Letterman, R.D. Optimizing flocculation power input. J. Env. Eng. Div. ASCE. (Apil 1976) : 251-263

Virrahavan, T. and Wimmer, C.H. Polyaluminium chloride as an alternative to alum coagulation a case study. J. Agua. 6 (1988) : 316-321.

Wang, S., Li, H., Xie, S., Liu, S., and Xu, L. 2006. Physical and chemical regeneration of zeolite absorbents for dye removal in wastewater treatment. Chemosphere 65: 82-87.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองน้ำสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เพื่อหาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	4.89	4.68	2297.314	64.69431	60.942	95.514	0.098	0.025	25	97.184	65.104	64.55	0.851	121.4	2,000
	2	4.89	4.45	2297.314	218.1952	60.942	83.619	0.098	0.079	79	90.502	65.104	60.05	7.763	120.5	2,100
	เฉลี่ย	4.89	4.565	2297.314	141.444755	60.942	89.567	0.098	0.052	52	93.843	65.104	62.3	4.307	120.95	2050
5	1	4.89	5.08	2297.314	117.569	60.942	91.974	0.098	0.044	44	94.882	65.104	50.048	23.126	92	1880
	2	4.89	4.73	2297.314	159.6166	60.942	87.147	0.098	0.06	60	93.052	65.104	45.04	30.818	89.88	1850
	เฉลี่ย	4.89	4.905	2297.314	138.5928	60.942	89.561	0.098	0.052	52	93.967	65.104	47.544	26.972	90.94	1865
6	1	4.89	5.48	2297.314	183.3802	60.942	85.330	0.098	0.084	84	92.018	65.104	30.05	53.843	88.5	1880
	2	4.89	4.89	2297.314	120.1055	60.942	90.692	0.098	0.043	43	94.772	65.104	25	61.600	88.3	1690
	เฉลี่ย	4.89	5.185	2297.314	151.74285	60.942	88.011	0.098	0.0635	63.5	93.395	65.104	27.525	57.721	88.4	1785
7	1	4.89	6.3	2297.314	277.078	60.942	70.765	0.098	0.136	136	87.939	65.104	25	61.600	90.2	1770
	2	4.89	6.08	2297.314	91.95634	60.942	92.758	0.098	0.033	33	95.997	65.104	23	64.672	90.4	1750
	เฉลี่ย	4.89	6.19	2297.314	184.51717	60.942	81.762	0.098	0.0845	84.5	91.968	65.104	24	63.136	90.3	1760
8	1	4.89	6.26	2297.314	146.6998	60.942	85.055	0.098	0.067	67	93.614	65.104	20	69.280	93.1	1570
	2	4.89	6.5	2297.314	96.53928	60.942	94.084	0.098	0.026	26	95.798	65.104	18	72.352	92.9	1610
	เฉลี่ย	4.89	6.38	2297.314	121.61954	60.942	89.570	0.098	0.0465	46.5	94.706	65.104	19	70.816	93	1590
9	1	4.89	6.83	2297.314	746.6714	60.942	65.034	0.098	0.047	47	67.498	65.104	24	63.136	95	1920
	2	4.89	6.59	2297.314	607.7177	60.942	93.245	0.098	0.032	32	73.547	65.104	26	60.064	95	1840
	เฉลี่ย	4.89	6.71	2297.314	677.19455	60.942	79.140	0.098	0.0395	39.5	70.522	65.104	25	61.600	95	1880

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เพื่อหาปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสม

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
20	1	7	5.66	2297.314	2091.829	0.593	10.713	0.098	0.069	8.945	69	65.104	57.44	11.772	87.7	1880
	2	7	5.51	2297.314	2018.879	0.593	10.211	0.098	0.063	12.120	63	65.104	55.12	15.335	79.9	1800
	เฉลี่ย	7	5.585	2297.314	2055.354	0.593	10.462	0.098	0.066	10.532	66	65.104	56.28	13.554	83.8	1840
30	1	7	5.64	2297.314	1551.667	0.593	22.904	0.098	0.059	32.457	59	65.104	18.04	72.290	82.2	1560
	2	7	5.22	2297.314	1499.547	0.593	21.665	0.098	0.055	34.726	55	65.104	20	69.280	79.1	1630
	เฉลี่ย	7	5.43	2297.314	1525.607	0.593	22.2845	0.098	0.057	33.592	57	65.104	19.02	70.785	80.65	1595
40	1	7	5.62	2297.314	1193.621	0.593	36.266	0.098	0.044	48.043	44	65.104	14.93	77.067	80.4	1440
	2	7	5.01	2297.314	1067.345	0.593	25.787	0.098	0.043	53.539	43	65.104	16.55	74.579	83.5	1470
	เฉลี่ย	7	5.315	2297.314	1130.483	0.593	31.0265	0.098	0.0435	50.791	43.5	65.104	15.74	75.823	81.95	1455
50	1	7	5.6	2297.314	482.959	0.593	61.572	0.098	0.021	78.977	21	65.104	11.49	82.351	81.9	1320
	2	7	5.25	2297.314	422.843	0.593	61.115	0.098	0.022	81.594	22	65.104	10.1	84.486	82	1400
	เฉลี่ย	7	5.425	2297.314	452.901	0.593	61.3435	0.098	0.0215	80.286	21.5	65.104	10.795	83.419	81.95	1360
60	1	7	5.51	2297.314	193.185	0.593	96.878	0.098	0.02	91.591	20	65.104	10.23	84.287	88.4	1540
	2	7	5.25	2297.314	190.321	0.593	96.224	0.098	0.015	91.715	15	65.104	10	84.640	87.6	1550
	เฉลี่ย	7	5.38	2297.314	191.753	0.593	96.551	0.098	0.0175	91.653	17.5	65.104	10.115	84.463	88	1545
70	1	7	5.51	2297.314	161.871	0.593	99.315	0.098	0.014	92.954	14	65.104	4.46	93.149	93.4	
	2	7	5.23	2297.314	151.229	0.593	99.101	0.098	0.018	93.417	18	65.104	5.03	92.274	91.7	1500
	เฉลี่ย	7	5.37	2297.314	156.55	0.593	99.208	0.098	0.016	93.186	16	65.104	4.745	92.712	92.55	1275

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	7	5.95	2297.314	142.0724	0.593	93.518	0.098	0.049	93.816	49	65.104	3.77	94.209	87.6	1220
	2	7	5.85	2297.314	101.656	0.593	90.128	0.098	0.045	95.575	45	65.104	4.55	93.011	87.6	1180
	เฉลี่ย	7	5.9	2297.314	121.8642	0.593	91.823	0.098	0.047	94.695	47	65.104	4.16	93.610	87.6	1200
0.2	1	7	5.78	2297.314	174.132	0.593	88.417	0.098	0.059	92.420	59	65.104	4.45	93.165	86.7	1200
	2	7	5.77	2297.314	174.028	0.593	88.321	0.098	0.057	92.425	57	65.104	5.68	91.275	86.5	1280
	เฉลี่ย	7	5.775	2297.314	174.08	0.593	88.369	0.098	0.058	92.422	58	65.104	5.065	92.220	86.6	1240
0.3	1	7	5.66	2297.314	180.6071	0.593	88.885	0.098	0.052	92.138	52	65.104	7.02	89.217	86.6	1230
	2	7	5.65	2297.314	180.562	0.593	88.723	0.098	0.052	92.140	52	65.104	6.88	89.432	86.4	1300
	เฉลี่ย	7	5.655	2297.314	180.58455	0.593	88.804	0.098	0.052	92.139	52	65.104	6.95	89.325	86.5	1265
0.4	1	7	5.59	2297.314	215.1268	0.593	89.139	0.098	0.027	90.636	27	65.104	7.82	87.988	86.2	1380
	2	7	5.56	2297.314	215.453	0.593	89.1	0.098	0.028	90.622	28	65.104	6.98	89.279	86.2	1330
	เฉลี่ย	7	5.575	2297.314	215.2899	0.593	89.1195	0.098	0.0275	90.629	27.5	65.104	7.4	88.634	86.2	1355
0.5	1	7	5.52	2297.314	310.0831	0.593	92.362	0.098	0.034	86.502	34	65.104	7.82	87.988	86.5	1450
	2	7	5.21	2297.314	310.234	0.593	92.134	0.098	0.034	86.496	34	65.104	7.03	89.202	86.3	1400
	เฉลี่ย	7	5.365	2297.314	310.15855	0.593	92.248	0.098	0.034	86.499	34	65.104	7.425	88.595	86.4	1425
0.6	1	7	5.36	2297.314	417.1915	0.593	86.883	0.098	0.049	81.840	49	65.104	11.66	82.090	85.2	1500
	2	7	5.42	2297.314	417.765	0.593	86.109	0.098	0.049	81.815	49	65.104	9.68	85.131	85	1580
	เฉลี่ย	7	5.39	2297.314	417.47825	0.593	86.496	0.098	0.049	81.828	49	65.104	10.67	83.611	85.1	1540

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	7	5.64	2297.314	143.9577	0.593	91.392	0.098	0.04	93.734	40	65.104	21.68	66.699	89.7	1320
	2	7	5.57	2297.314	144.004	0.593	91.678	0.098	0.04	93.732	40	65.104	20.66	68.266	89.5	1330
	เฉลี่ย	7	5.605	2297.314	143.98085	0.593	91.535	0.098	0.04	93.733	40	65.104	21.17	67.483	89.6	1325
0.2	1	7	5.53	2297.314	141.1557	0.593	92.726	0.098	0.034	93.856	34	65.104	15.84	75.670	85.8	1300
	2	7	5.33	2297.314	141.222	0.593	92.543	0.098	0.034	93.853	34	65.104	14.45	77.805	85.8	1280
	เฉลี่ย	7	5.43	2297.314	141.18885	0.593	92.6345	0.098	0.034	93.854	34	65.104	15.145	76.737	85.8	1290
0.3	1	7	5.32	2297.314	140.974	0.593	95.985	0.098	0.019	93.864	19	65.104	18.34	71.830	87.4	1170
	2	7	5.59	2297.314	140.232	0.593	92.578	0.098	0.034	93.896	34	65.104	15.88	75.608	87.2	1200
	เฉลี่ย	7	5.455	2297.314	140.603	0.593	94.2815	0.098	0.0265	93.880	26.5	65.104	17.11	73.719	87.3	1185
0.4	1	7	5.11	2297.314	168.8613	0.593	92.985	0.098	0.033	92.650	33	65.104	23.76	63.505	88	1200
	2	7	5.09	2297.314	168.335	0.593	92.323	0.098	0.034	92.673	34	65.104	20.76	68.113	88.1	1250
	เฉลี่ย	7	5.1	2297.314	168.59815	0.593	92.654	0.098	0.0335	92.661	33.5	65.104	22.26	65.809	88.05	1225
0.5	1	7	5.3	2297.314	408.3227	0.593	92.172	0.098	0.036	82.226	36	65.104	20.59	68.374	87.2	1280
	2	7	5.2	2297.314	399.985	0.593	91.142	0.098	0.037	82.589	37	65.104	18.55	71.507	87.2	1260
	เฉลี่ย	7	5.25	2297.314	404.15385	0.593	91.657	0.098	0.0365	82.408	36.5	65.104	19.57	69.940	87.2	1270
0.6	1	7	5.15	2297.314	258.9947	0.593	91.512	0.098	0.04	88.726	40	65.104	28.51	56.209	86.4	1230
	2	7	5.12	2297.314	248.765	0.593	92.322	0.098	0.039	89.171	39	65.104	24.75	61.984	86.2	1260
	เฉลี่ย	7	5.135	2297.314	253.87985	0.593	91.917	0.098	0.0395	88.949	39.5	65.104	26.63	59.096	86.3	1245

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	7	5.58	3200.2045	141.3482	6.948	85.605	0.098	0.067	95.583	67	ก่อน	หลัง	หลัง	93	3,000
	2	7	5.55	3200.2045	141.454	6.948	85.166	0.098	0.066	95.580	66	65.104	11.2	82.797	92.9	2980
	เฉลี่ย	7	5.565	3200.2045	141.4011	6.948	85.3855	0.098	0.0665	95.581	66.5	65.104	12.12	81.384	92.95	2990
200	1	7	5.37	3501.905	2141.803	0.403	8.626	0.193	0.165	38.839	165	65.104	11.66	82.090	153.2	3300
	2	7	5.33	3501.905	2141.335	0.403	8.522	0.193	0.166	38.852	166	94.93	72.8	23.312	153.3	3,500
	เฉลี่ย	7	5.35	3501.905	2141.569	0.403	8.574	0.193	0.1655	38.846	165.5	94.93	55.5	41.536	153.25	3400
300	1	7	5.44	3113.41	3097.825	0.437	1.216	0.292	0.214	0.501	214	94.93	64.15	32.424	219	3470
	2	7	5.35	3113.41	3097.634	0.437	1.144	0.292	0.206	0.507	206	148.53	96	35.367	219.1	3500
	เฉลี่ย	7	5.395	3113.41	3097.7295	0.437	1.18	0.292	0.21	0.504	210	148.53	93	37.386	219.05	3485
400	1	7	5.48	3673.93	3489.384	0.482	0.465	0.393	0.332	5.023	332	148.53	94.5	36.376	249.3	4200
	2	7	5.12	3673.93	3489.203	0.482	0.497	0.393	0.323	5.028	323	193.21	171.2	11.392	249.2	4250
	เฉลี่ย	7	5.3	3673.93	3489.2935	0.482	0.481	0.393	0.3275	5.026	327.5	193.21	160	17.189	249.25	4225
500	1	7	5.53	3424.255	3309.237	0.56	0.365	0.49	0.438	3.359	438	193.21	165.6	14.290	308	4120
	2	7	5.3	3424.255	3309.114	0.56	0.264	0.49	0.422	3.363	422	202.11	199.2	1.440	308	4400
	เฉลี่ย	7	5.415	3424.255	3309.1755	0.56	0.3145	0.49	0.43	3.361	430	202.11	200	1.044	308	4260
600	1	7	5.67	5377.648	3569.897	0.95	0.315	0.589	0.501	33.616	501	202.11	199.6	1.242	400	4580
	2	7	4.95	5377.648	3569.134	0.95	0.322	0.589	0.499	33.630	499	217.78	201.8	7.338	400.2	4500
	เฉลี่ย	7	5.31	5377.648	3569.5155	0.95	0.3185	0.589	0.5	33.623	500	217.78	201	7.705	400.1	4540

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

148

ตารางที่ ก-6 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	7	5.45	3200.2045	133.2949	6.948	0.044	0.098	0.078	95.835	78	65.104	3.2	95.085	95	1800
	2	7	5.55	3200.2045	133.212	6.948	0.044	0.098	0.072	95.837	72	65.104	6.66	89.770	95.2	1760
	เฉลี่ย	7	5.5	3200.2045	133.25345	6.948	0.044	0.098	0.075	95.836	75	65.104	4.93	92.428	95.1	1780
200	1	7	5.23	3501.905	2170.905	0.403	0.316	0.193	0.19	38.008	190	94.93	70.2	26.051	156.4	1890
	2	7	5.33	3501.905	2170.786	0.403	0.316	0.193	0.188	38.011	188	94.93	68.3	28.052	156.3	1940
	เฉลี่ย	7	5.28	3501.905	2170.8455	0.403	0.316	0.193	0.189	38.010	289	94.93	69.25	27.052	156.35	1915
300	1	7	5.38	3113.41	3095.703	0.437	1.025	0.292	0.289	0.569	289	148.53	125.2	15.707	215.7	1990
	2	7	5.35	3113.41	3095.003	0.437	1.022	0.292	0.279	0.591	279	148.53	120	19.208	215.5	2000
	เฉลี่ย	7	5.365	3113.41	3095.353	0.437	1.0235	0.292	0.284	0.580	284	148.53	122.6	17.458	215.6	1995
400	1	7	5.48	3673.93	3516.357	0.482	0.463	0.393	0.335	4.289	335	193.21	168	13.048	235.7	2200
	2	7	5.12	3673.93	3516.113	0.482	0.463	0.393	0.329	4.296	329	193.21	160	17.189	235.4	2000
	เฉลี่ย	7	5.3	3673.93	3516.235	0.482	0.463	0.393	0.332	4.292	332	193.21	164	15.118	235.55	2100
500	1	7	5.48	3424.255	3310.263	0.56	0.366	0.49	0.437	3.329	437	202.11	200.2	0.945	334	2300
	2	7	5.3	3424.255	3310.202	0.56	0.366	0.49	0.423	3.331	423	202.11	195	3.518	334.2	2200
	เฉลี่ย	7	5.39	3424.255	3310.2325	0.56	0.366	0.49	0.43	3.330	430	202.11	197.6	2.231	334.1	2250
600	1	7	5.47	5377.648	3590.81	0.95	0.326	0.589	0.587	33.227	587	217.78	198	9.083	375	2420
	2	7	4.95	5377.648	3590.33	0.95	0.326	0.589	0.543	33.236	543	217.78	200	8.164	375	2340
	เฉลี่ย	7	5.21	5377.648	3590.57	0.95	0.326	0.589	0.565	33.232	565	217.78	199	8.623	375	2380

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-7 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดงโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เพื่อหาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	4.89	4.28	3024.43	170.95	0.018	86.07	0.208	0.067	94.348	33.5	93.18	79.05	15.164	115.2	1670
	2	4.89	4.22	3024.43	224.772	0.018	82.252	0.208	0.08	13.318	40	93.18	80.77	13.318	115.1	1600
	เฉลี่ย	4.89	4.25	3024.43	197.861	0.018	84.161	0.208	0.0735	14.241	36.75	93.18	79.91	14.241	115.15	1635
5	1	4.89	4.46	3024.43	164.642	0.018	90.346	0.208	0.046	24.823	23	93.18	70.05	24.823	86	1700
	2	4.89	4.5	3024.43	199.163	0.018	88.89	0.208	0.049	29.663	24.5	93.18	65.54	29.663	87	1680
	เฉลี่ย	4.89	4.48	3024.43	181.9025	0.018	89.618	0.208	0.0475	27.243	23.75	93.18	67.795	27.243	86.5	1690
6	1	4.89	4.26	3024.43	118.667	0.018	91.814	0.208	0.039	95.171	19.5	93.18	4.5	95.171	88.9	1300
	2	4.89	4.28	3024.43	192.052	0.018	88.951	0.208	0.05	93.990	25	93.18	5.6	93.990	90	1280
	เฉลี่ย	4.89	4.27	3024.43	155.3595	0.018	90.3825	0.208	0.0445	94.580	22.25	93.18	5.05	94.580	89.45	1290
7	1	4.89	5.2	3024.43	164.406	0.018	88.236	0.208	0.056	83.891	28	93.18	15.01	83.891	86	1470
	2	4.89	5.25	3024.43	251.954	0.018	85.113	0.208	0.064	84.954	32	93.18	14.02	84.954	85	1500
	เฉลี่ย	4.89	5.225	3024.43	208.18	0.018	86.6745	0.208	0.06	84.423	30	93.18	14.515	84.423	85.5	1485
8	1	4.89	4.75	3024.43	187.049	0.018	90.517	0.208	0.046	83.902	23	93.18	15	83.902	85.2	1660
	2	4.89	5.07	3024.43	249.9574	0.018	85.007	0.208	0.063	80.683	31.5	93.18	18	80.683	85	1600
	เฉลี่ย	4.89	4.91	3024.43	218.5032	0.018	87.762	0.208	0.0545	82.292	27.25	93.18	16.5	82.292	85.1	1630
9	1	4.89	5.83	3024.43	712.757	0.018	60.835	0.208	0.224	80.683	112	93.18	18	80.683	92.7	1780
	2	4.89	6.01	3024.43	248.4597	0.018	84.828	0.208	0.063	86.049	31.5	93.18	13	86.049	92.5	1700
	เฉลี่ย	4.89	5.92	3024.43	480.60835	0.018	72.8315	0.208	0.1435	83.366	71.75	93.18	15.5	83.366	92.6	1740

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-8 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดงโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เพื่อหาปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสม

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
20	1	6	6.39	3024.43	2706.332	0.018	3.545	0.208	0.203	10.518	101.5	93.18	40	57.072	87.7	1330
	2	6	5.51	3024.43	3005.090	0.018	2.437	0.208	0.095	0.639	47.5	93.18	42	54.926	79.9	1310
	เฉลี่ย	6	5.95	3024.43	2855.711	0.018	2.991	0.208	0.149	5.579	74.5	93.18	41	55.999	83.8	1320
30	1	6	5.63	3024.43	2365.486	0.018	10.67	0.208	0.202	21.787	101	93.18	36.8	60.507	82.2	1230
	2	6	5.22	3024.43	2546.481	0.018	8.638	0.208	0.084	15.803	42	93.18	35	62.438	79.1	1190
	เฉลี่ย	6	5.425	3024.43	2455.984	0.018	9.654	0.208	0.143	18.795	71.5	93.18	35.9	61.472	80.65	1210
40	1	6	5.38	3024.43	1445.427	0.018	37.551	0.208	0.106	52.208	53	93.18	32	65.658	80.4	1290
	2	6	5.01	3024.43	1836.145	0.018	26.414	0.208	0.078	39.290	39	93.18	28	69.951	83.5	1250
	เฉลี่ย	6	5.195	3024.43	1640.786	0.018	31.9825	0.208	0.092	45.749	46	93.18	30	67.804	81.95	1270
50	1	6	5.04	3024.43	304.720	0.018	81.424	0.208	0.09	89.925	45	93.18	32	65.658	81.9	1190
	2	6	4.95	3024.43	483.058	0.018	74.873	0.208	0.025	84.028	12.5	93.18	28	69.951	82	1000
	เฉลี่ย	6	4.995	3024.43	393.889	0.018	78.1485	0.208	0.0575	86.976	28.75	93.18	30	67.804	81.95	1095
60	1	6	4.91	3024.43	165.345	0.018	89.694	0.208	0.048	94.533	24	93.18	24	74.243	88.4	780
	2	6	4.95	3024.43	166.279	0.018	96.531	0.208	0.016	94.502	8	93.18	20	78.536	87.6	850
	เฉลี่ย	6	4.93	3024.43	165.812	0.018	93.1125	0.208	0.032	94.518	16	93.18	22	76.390	88	815
70	1	6	4.94	3024.43	135.304	0.018	91.746	0.208	0.039	95.526	19.5	93.18	16	82.829	93.4	980
	2	6	4.93	3024.43	147.897	0.018	96.856	0.208	0.014	95.110	7	93.18	10	89.268	91.7	820
	เฉลี่ย	6	4.935	3024.43	141.601	0.018	94.301	0.208	0.0265	95.318	13.25	93.18	13	86.049	92.55	900

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-9 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.13	3024.43	254.635	0.018	86.055	0.208	0.066	91.581	33	93.18	4.75	94.902	83	890
	2	6	5.88	3024.43	358.7819	0.018	83.644	0.208	0.078	88.137	39	93.18	5.04	94.591	85.9	900
	เฉลี่ย	6	5.505	3024.43	306.70845	0.018	84.8495	0.208	0.072	89.859	36	93.18	4.895	94.747	84.45	895
0.2	1	6	5.57	3024.43	757.646	0.018	63.612	0.208	0.117	74.949	58.5	93.18	11.68	87.465	84	1030
	2	6	5.83	3024.43	385.0953	0.018	78.835	0.208	0.084	87.267	42	93.18	13	86.049	85	1100
	เฉลี่ย	6	5.7	3024.43	571.37065	0.018	71.2235	0.208	0.1005	81.108	50.25	93.18	12.34	86.757	84.5	1065
0.3	1	6	5.39	3024.43	536.754	0.018	73.255	0.208	0.136	82.253	68	93.18	15.84	83.001	81.5	1220
	2	6	5.77	3024.43	371.1012	0.018	83.352	0.208	0.077	87.730	38.5	93.18	16.45	82.346	81.2	1190
	เฉลี่ย	6	5.58	3024.43	453.9276	0.018	78.3035	0.208	0.1065	84.991	53.25	93.18	16.145	82.673	81.35	1205
0.4	1	6	5.38	3024.43	524.482	0.018	72.479	0.208	0.14	82.658	70	93.18	15.84	83.001	81.7	1200
	2	6	5.44	3024.43	363.8539	0.018	89.736	0.208	0.068	87.970	34	93.18	16	82.829	81.3	1210
	เฉลี่ย	6	5.41	3024.43	444.16795	0.018	81.1075	0.208	0.104	85.314	52	93.18	15.92	82.915	81.5	1205
0.5	1	6	5.31	3024.43	601.977	0.018	69.956	0.208	0.156	80.096	78	93.18	16.43	82.367	82.2	1250
	2	6	5.94	3024.43	276.9711	0.018	88.208	0.208	0.045	90.842	22.5	93.18	18	80.683	82	1280
	เฉลี่ย	6	5.625	3024.43	439.47405	0.018	79.082	0.208	0.1005	85.469	50.25	93.18	17.215	81.525	82.1	1265
0.6	1	6	5.38	3024.43	677.433	0.018	67.044	0.208	0.173	77.601	86.5	93.18	23.76	74.501	82.2	1300
	2	6	5.98	3024.43	280.0054	0.018	83.424	0.208	0.056	90.742	28	93.18	20	78.536	82.2	1270
	เฉลี่ย	6	5.68	3024.43	478.7192	0.018	75.234	0.208	0.1145	84.172	57.25	93.18	21.88	76.519	82.2	1285

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-10 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.34	3024.43	694.191	0.018	65.336	0.208	0.185	77.047	92.5	93.18	20.59	77.903	115.5	920
	2	6	5.87	3024.43	866.6899	0.018	59.259	0.208	0.076	71.344	38	93.18	20	78.536	115.2	950
	เฉลี่ย	6	5.605	3024.43	780.44045	0.018	62.2975	0.208	0.1305	74.195	65.25	93.18	20.295	78.220	115.35	935
0.2	1	6	5.23	3024.43	891.659	0.018	57.808	0.208	0.238	70.518	119	93.18	31.68	66.001	122.4	1130
	2	6	5.63	3024.43	1069.031	0.018	54.531	0.208	0.079	64.653	39.5	93.18	30.09	67.708	122.1	1150
	เฉลี่ย	6	5.43	3024.43	980.345	0.018	56.1695	0.208	0.1585	67.586	79.25	93.18	30.885	66.854	122.25	1140
0.3	1	6	5.38	3024.43	1122.87	0.018	50.879	0.208	0.294	62.873	147	93.18	28.51	69.403	86.7	1120
	2	6	5.35	3024.43	952.5153	0.018	56.811	0.208	0.084	68.506	42	93.18	26	72.097	86.5	1200
	เฉลี่ย	6	5.365	3024.43	1037.69265	0.018	53.845	0.208	0.189	65.690	94.5	93.18	27.255	70.750	86.6	1160
0.4	1	6	5.06	3024.43	512.138	0.018	73.909	0.208	0.132	83.067	66	93.18	14.76	84.160	87.9	1250
	2	6	5.12	3024.43	895.5868	0.018	60.185	0.208	0.089	70.388	44.5	93.18	15	83.902	87	1290
	เฉลี่ย	6	5.09	3024.43	703.8624	0.018	67.047	0.208	0.1105	76.727	55.25	93.18	14.88	84.031	87.45	1270
0.5	1	6	5.29	3024.43	550.171	0.018	72.14	0.208	0.142	81.809	71	93.18	15.84	83.001	87.6	1300
	2	6	5.3	3024.43	984.5461	0.018	55.529	0.208	0.093	67.447	46.5	93.18	16.23	82.582	87.2	1260
	เฉลี่ย	6	5.295	3024.43	767.35855	0.018	63.8345	0.208	0.1175	74.628	58.75	93.18	16.035	82.791	87.4	1280
0.6	1	6	4.85	3024.43	600.584	0.018	70.063	0.208	0.154	80.142	77	93.18	15.34	83.537	82.1	1290
	2	6	4.95	3024.43	881.0815	0.018	59.264	0.208	0.094	70.868	47	93.18	15.88	82.958	82.5	1290
	เฉลี่ย	6	4.9	3024.43	740.83275	0.018	64.6635	0.208	0.124	75.505	62	93.18	15.61	83.247	82.3	1290

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-11 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.58	3024.43	590.002	0.018	78.667	0.208	0.067	95.583	67	93.18	5.68	93.904	86	2,300
	2	6	5.55	3024.43	589.0234	0.018	78.735	0.208	0.066	95.580	66	93.18	6.02	93.539	86	2,100
	เฉลี่ย	6	5.565	3024.43	589.5127	0.018	78.701	0.208	0.0665	95.581	66.5	93.18	5.85	93.722	86	2200
200	1	6	5.37	3159.307	604.555	0.079	69.956	0.018	0.165	38.839	165	97.16	89.55	7.832	146.6	3,400
	2	6	5.33	3159.307	604.7426	0.079	69.232	0.018	0.166	38.852	166	97.16	85.11	12.402	146	3,100
	เฉลี่ย	6	5.35	3159.307	604.6488	0.079	69.594	0.018	0.1655	38.846	165.5	97.16	87.33	10.117	146.3	3250
300	1	6	5.44	3309.934	611.677	0.031	67.554	0.07	0.214	0.501	214	137.37	120.22	12.485	190.1	3,730
	2	6	5.35	3309.934	612.3618	0.031	67.097	0.07	0.206	0.507	206	137.37	120	12.645	190.1	3,500
	เฉลี่ย	6	5.395	3309.934	612.0194	0.031	67.3255	0.07	0.21	0.504	210	137.37	120.11	12.565	190.1	3615
400	1	6	5.48	3591.395	611.787	0.018	67.018	0.031	0.332	5.023	332	187.62	180.1	4.008	273	3,800
	2	6	5.12	3591.395	611.0027	0.018	67.543	0.031	0.323	5.028	323	187.62	170	9.391	273	3,700
	เฉลี่ย	6	5.3	3591.395	611.39485	0.018	67.2805	0.031	0.3275	5.026	327.5	187.62	175.05	6.700	273	3750
500	1	6	5.53	3617.6	627.889	0.016	65.203	0.018	0.438	3.359	438	242.35	229.22	5.418	331	3,980
	2	6	5.3	3617.6	627.2407	0.016	65.117	0.018	0.422	3.363	422	242.35	220	9.222	331	4,100
	เฉลี่ย	6	5.415	3617.6	627.56485	0.016	65.16	0.018	0.43	3.361	430	242.35	224.61	7.320	331	4040
600	1	6	5.67	3576.967	630.123	0.018	66.336	0.016	0.501	33.616	501	288.13	252.13	12.494	396	4,350
	2	6	4.95	3576.967	627.0503	0.018	66.884	0.016	0.499	33.630	499	288.13	250.03	13.223	396	4,000
	เฉลี่ย	6	5.31	3576.967	628.58665	0.018	66.61	0.016	0.5	33.623	500	288.13	251.08	12.859	396	4175

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-12 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.45	3024.43	571.7801	0.018	0.044	0.098	0.078	81.095	78	93.18	12.37	86.725	113	2,410
	2	6	5.55	3024.43	570.212	0.018	0.044	0.098	0.072	81.146	72	93.18	10.04	89.225	113	2,400
	เฉลี่ย	6	5.5	3024.43	570.99605	0.018	0.044	0.098	0.075	81.121	75	93.18	11.205	87.975	113	2405
200	1	6	5.23	3159.307	565.3439	0.079	0.316	0.193	0.19	82.105	190	97.16	82	15.603	146.6	3,220
	2	6	5.33	3159.307	565.002	0.079	0.316	0.193	0.188	82.116	188	97.16	85	12.515	146.6	3,100
	เฉลี่ย	6	5.28	3159.307	565.17295	0.079	0.316	0.193	0.189	82.111	289	97.16	83.5	14.059	146.6	3160
300	1	6	5.38	3309.934	563.5723	0.031	1.025	0.292	0.289	82.973	289	137.37	128.75	6.275	190.1	3,630
	2	6	5.35	3309.934	563.023	0.031	1.022	0.292	0.279	82.990	279	137.37	118.05	14.064	190.1	3,600
	เฉลี่ย	6	5.365	3309.934	563.29765	0.031	1.0235	0.292	0.284	82.982	284	137.37	123.4	10.170	190	3615
400	1	6	5.48	3591.395	551.2207	0.018	0.463	0.393	0.335	84.652	335	187.62	187.33	0.155	136	3,800
	2	6	5.12	3591.395	551.223	0.018	0.463	0.393	0.329	84.652	329	187.62	159	15.254	136	3,800
	เฉลี่ย	6	5.3	3591.395	551.22185	0.018	0.463	0.393	0.332	84.652	332	187.62	173.165	7.704	136	3800
500	1	6	5.48	3617.6	558.1205	0.016	0.366	0.49	0.437	84.572	437	242.35	229.78	5.187	331	4,000
	2	6	5.3	3617.6	558.565	0.016	0.366	0.49	0.423	84.560	423	242.35	198	18.300	331	4,100
	เฉลี่ย	6	5.39	3617.6	558.34275	0.016	0.366	0.49	0.43	84.566	430	242.35	213.89	11.743	331	4050
600	1	6	5.47	3576.967	530.6317	0.018	0.326	0.589	0.587	85.165	587	288.13	275.64	4.335	396	4,160
	2	6	4.95	3576.967	530.734	0.018	0.326	0.589	0.543	85.162	543	288.13	200	30.587	396	4,200
	เฉลี่ย	6	5.21	3576.967	530.68285	0.018	0.326	0.589	0.565	85.164	565	288.13	237.82	17.461	396	4180

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-13 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลืองโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เพื่อหาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	5.54	4.23	3200.201	189.8583	20.168	86.021	0.02	0.015	94.067	80.645	85.15	63.81	25.062	145.9	2000
	2	5.54	4.31	3200.201	119.7971	20.168	99.43	0.02	0.004	96.257	21.505	85.15	60.33	29.149	146.8	2000
	เฉลี่ย	5.54	4.27	3200.201	154.8277	20.168	92.7255	0.02	0.0095	95.162	51.075	85.15	62.07	27.105	146.35	2000
5	1	5.54	4.97	3200.201	187.5994	20.168	94.583	0.02	0.014	94.138	75.269	85.15	20.74	75.643	93.8	1600
	2	5.54	4.6	3200.201	142.0838	20.168	97.98	0.02	0.009	95.560	48.387	85.15	20.28	76.183	94.7	1650
	เฉลี่ย	5.54	4.785	3200.201	164.8416	20.168	96.2815	0.02	0.0115	94.849	61.828	85.15	20.51	75.913	94.25	1625
6	1	5.54	5.66	3200.201	90.2399	20.168	89.345	0.02	0.009	97.180	48.387	85.15	18.91	77.792	92.9	1580
	2	5.54	4.88	3200.201	87.42621	20.168	88.213	0.02	0.009	97.268	48.387	85.15	19.93	76.594	91	1500
	เฉลี่ย	5.54	5.27	3200.201	88.833055	20.168	88.779	0.02	0.009	97.224	48.387	85.15	19.42	77.193	91.95	1540
7	1	5.54	6.57	3200.201	185.5207	20.168	95.887	0.02	0.019	94.203	102.151	85.15	11.17	86.882	95.3	1600
	2	5.54	5.37	3200.201	137.596	20.168	97.55	0.02	0.005	95.700	26.882	85.15	10.66	87.481	95.6	1600
	เฉลี่ย	5.54	5.97	3200.201	161.55835	20.168	96.7185	0.02	0.012	94.952	64.516	85.15	10.915	87.181	95.45	1600
8	1	5.54	6.88	3200.201	188.9496	20.168	96.199	0.02	0.017	94.096	91.398	85.15	15.95	81.268	93.5	1700
	2	5.54	5.23	3200.201	91.391	20.168	89.654	0.02	0.008	97.144	43.011	85.15	13.28	84.404	94.4	1650
	เฉลี่ย	5.54	6.055	3200.201	140.1703	20.168	92.9265	0.02	0.0125	95.620	67.204	85.15	14.615	82.836	93.95	1675
9	1	5.54	7.19	3200.201	184.3835	20.168	86.116	0.02	0.016	94.238	86.022	85.15	27.12	68.150	110.2	1680
	2	5.54	6.22	3200.201	189.4637	20.168	92.164	0.02	0.013	94.080	69.892	85.15	25.55	69.994	111	1600
	เฉลี่ย	5.54	6.705	3200.201	186.9236	20.168	89.14	0.02	0.0145	94.159	77.957	85.15	26.335	69.072	110.6	1640

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-14 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลืองโดยใช้สารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต เพื่อหาปริมาณอะลูมินัมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสม

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
20	1	6	6.66	2297.314	1761.111	20.168	21.353	0.02	0.017	23.340	69.9	85.15	76.23	10.476	87.7	1650
	2	6	6.51	2297.314	1740.024	20.168	21.987	0.02	0.017	24.258	69.9	85.15	72.33	15.056	79.9	1720
	เฉลี่ย	6	6.585	2297.314	1750.5675	20.168	21.67	0.02	0.017	23.799	69.9	85.15	74.28	12.766	83.8	1685
30	1	6	6.64	2297.314	1249.237	20.168	37.702	0.02	0.012	45.622	64.516	85.15	61.64	27.610	82.2	1500
	2	6	6.22	2297.314	1273.9271	20.168	38.33	0.02	0.012	44.547	64.516	85.15	60	29.536	79.1	1480
	เฉลี่ย	6	6.43	2297.314	1261.58205	20.168	38.016	0.02	0.012	45.084	64.516	85.15	60.82	28.573	80.65	1490
40	1	6	6.02	2297.314	339.1035	20.168	89.278	0.02	0.017	85.239	69.9	85.15	57.35	32.648	80.4	1580
	2	6	6.1	2297.314	340.142	20.168	89.765	0.02	0.017	85.194	69.9	85.15	53.13	37.604	83.5	1500
	เฉลี่ย	6	6.06	2297.314	339.62275	20.168	89.5215	0.02	0.017	85.217	69.9	85.15	55.24	35.126	81.95	1540
50	1	6	6.06	2297.314	188.8168	20.168	94.401	0.02	0.005	91.781	26.882	85.15	48.18	43.417	81.9	1200
	2	6	6.05	2297.314	188.0971	20.168	94.552	0.02	0.005	91.812	26.882	85.15	40.88	51.991	82	1310
	เฉลี่ย	6	6.055	2297.314	188.45695	20.168	94.4765	0.02	0.005	91.797	26.882	85.15	44.53	47.704	81.95	1255
60	1	6	6.51	2297.314	172.0332	20.168	95.137	0.02	0.002	92.512	10.753	85.15	39.49	53.623	88.4	1000
	2	6	6.25	2297.314	90.556	20.168	88.345	0.02	0.009	96.058	10.753	85.15	35.45	58.368	87.6	850
	เฉลี่ย	6	6.38	2297.314	131.2946	20.168	91.741	0.02	0.0055	94.285	10.753	85.15	37.47	55.995	88	925
70	1	6	6.51	2297.314	177.0723	20.168	97.392	0.02	0.003	92.292	16.129	85.15	43.26	49.196	93.4	580
	2	6	6.02	2297.314	227.258	20.168	83.573	0.02	0.078	90.108	16.129	85.15	40.55	52.378	91.7	630
	เฉลี่ย	6	6.265	2297.314	202.16515	20.168	90.4825	0.02	0.0405	91.200	16.129	85.15	41.905	50.787	92.55	605

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-15 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.5	2297.314	162.4635	20.168	94.729	0.02	0.013	92.928	69.892	85.15	13.55	84.087	87.6	1150
	2	6	5.41	2297.314	192.722	20.168	85.362	0.02	0.019	91.611	102.151	85.15	13.98	83.582	87.6	1210
	เฉลี่ย	6	5.455	2297.314	177.59275	20.168	90.0455	0.02	0.016	92.270	86.022	85.15	13.765	83.834	87.6	1180
0.2	1	6	4.29	2297.314	173.2126	20.168	98	0.02	0.007	92.460	37.634	85.15	10.21	88.009	86.7	1230
	2	6	4.33	2297.314	184.268	20.168	89.112	0.02	0.016	91.979	86.022	85.15	12.54	85.273	86.5	1220
	เฉลี่ย	6	4.31	2297.314	178.7403	20.168	93.644	0.02	0.0115	92.220	61.828	85.15	11.375	86.641	86.6	1225
0.3	1	6	4.33	2297.314	166.3497	20.168	98.318	0.02	0.007	92.759	37.634	85.15	18.24	78.579	86.6	1100
	2	6	4.45	2297.314	212.111	20.168	91.224	0.02	0.006	90.767	32.258	85.15	20	76.512	86.4	1100
	เฉลี่ย	6	4.39	2297.314	189.23035	20.168	94.771	0.02	0.0065	91.763	34.946	85.15	19.12	77.546	86.5	1100
0.4	1	6	4.44	2297.314	165.9177	20.168	100.774	0.02	0.006	92.778	32.258	85.15	7.33	91.392	86.2	1300
	2	6	4.34	2297.314	165.428	20.168	100.009	0.02	0.006	92.799	32.258	85.15	8.66	89.830	86.2	1250
	เฉลี่ย	6	4.39	2297.314	165.67285	20.168	100.3915	0.02	0.006	92.788	32.258	85.15	7.995	90.611	86.2	1275
0.5	1	6	4.28	2297.314	170.8593	20.168	97.518	0.02	0.008	92.563	43.011	85.15	16.43	80.705	86.5	1280
	2	6	4.25	2297.314	170.221	20.168	97.213	0.02	0.008	92.590	43.011	85.15	19.66	76.911	86.3	1310
	เฉลี่ย	6	4.265	2297.314	170.54015	20.168	97.3655	0.02	0.008	92.577	43.011	85.15	18.045	78.808	86.4	1295
0.6	1	6	4.32	2297.314	197.2111	20.168	99.028	0.02	0.003	91.416	16.129	85.15	20.87	75.490	85.2	1300
	2	6	4.38	2297.314	228.107	20.168	93.101	0.02	0.017	90.071	91.398	85.15	22.23	73.893	85	1380
	เฉลี่ย	6	4.35	2297.314	212.65905	20.168	96.0645	0.02	0.01	90.743	53.763	85.15	21.55	74.692	85.1	1340

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-16 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.64	2297.314	200.7291	20.168	94.769	0.02	0.012	91.262	64.516	85.15	23.54	72.355	89.7	900
	2	6	5.57	2297.314	201.002	20.168	85.262	0.02	0.007	91.251	37.634	85.15	21.66	74.563	89.5	910
	เฉลี่ย	6	5.605	2297.314	200.86555	20.168	90.0155	0.02	0.0095	91.257	51.075	85.15	22.6	73.459	89.6	905
0.2	1	6	5.53	2297.314	185.1712	20.168	98.764	0.02	0.006	91.940	32.259	85.15	19.74	76.817	85.8	850
	2	6	5.33	2297.314	233.198	20.168	83.573	0.02	0.018	89.849	96.774	85.15	18.85	77.863	85.8	820
	เฉลี่ย	6	5.43	2297.314	209.1846	20.168	91.1685	0.02	0.012	90.894	64.517	85.15	19.295	77.340	85.8	835
0.3	1	6	5.32	2297.314	150.9634	20.168	97.608	0.02	0.002	93.429	10.753	85.15	10.32	87.880	87.4	800
	2	6	5.12	2297.314	206.346	20.168	85.343	0.02	0.008	91.018	43.011	85.15	10.33	87.868	87.2	800
	เฉลี่ย	6	5.22	2297.314	178.6547	20.168	91.4755	0.02	0.005	92.223	26.882	85.15	10.325	87.874	87.3	800
0.4	1	6	5.11	2297.314	177.9593	20.168	101.876	0.02	0.007	92.254	37.634	85.15	15.34	81.985	88	950
	2	6	5.09	2297.314	218.477	20.168	85.787	0.02	0.011	90.490	59.140	85.15	16.24	80.928	88.1	920
	เฉลี่ย	6	5.1	2297.314	198.21815	20.168	93.8315	0.02	0.009	91.372	48.387	85.15	15.79	81.456	88.05	935
0.5	1	6	5.3	2297.314	150.1616	20.168	93.475	0.02	0.018	93.464	96.774	85.15	17.65	79.272	87.2	980
	2	6	5.2	2297.314	212.224	20.168	85.455	0.02	0.01	90.762	53.763	85.15	15.78	81.468	87.2	980
	เฉลี่ย	6	5.25	2297.314	181.1928	20.168	89.465	0.02	0.014	92.113	75.269	85.15	16.715	80.370	87.2	980
0.6	1	6	5.15	2297.314	174.2732	20.168	99.329	0.02	0.002	92.414	10.753	85.15	13.86	83.723	86.4	960
	2	6	5.12	2297.314	221.466	20.168	85.679	0.02	0.013	90.360	69.892	85.15	14.22	83.300	86.2	970
	เฉลี่ย	6	5.135	2297.314	197.8696	20.168	92.504	0.02	0.0075	91.387	40.323	85.15	14.04	83.511	86.3	965

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-17 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.58	2297.314	595.6962	20.168	88.667	0.02	0.012	74.070	64.516	85.15	6.75	92.073	93	1890
	2	6	5.55	2297.314	519.222	20.168	89.166	0.02	0.016	77.399	86.022	85.15	5.88	93.095	92.9	2000
	เฉลี่ย	6	5.565	2297.314	557.4591	20.168	88.9165	0.02	0.014	75.734	75.269	85.15	6.315	92.584	92.95	1945
200	1	6	5.37	3954.6	605.2495	0.136	20.337	0.037	0.022	84.695	118.280	100.8	22.45	77.728	153.2	2100
	2	6	5.33	3954.6	2141.335	0.136	20.522	0.037	0.02	45.852	107.527	100.8	26.75	73.462	153.3	2100
	เฉลี่ย	6	5.35	3954.6	1373.29225	0.136	20.4295	0.037	0.021	65.274	112.903	100.8	24.6	75.595	153.25	2100
300	1	6	5.44	4193.281	597.1025	0.093	3.493	0.054	0.048	85.760	258.065	152	64.66	57.461	219	1900
	2	6	5.35	4193.281	3097.634	0.093	3.144	0.054	0.045	26.129	241.935	152	62.12	59.132	219.1	1980
	เฉลี่ย	6	5.395	4193.281	1847.36825	0.093	3.3185	0.054	0.0465	55.945	250.000	152	63.39	58.296	219.05	1940
400	1	6	5.48	4192.749	3352.507	0.093	1.122	0.076	0.056	20.040	301.075	216	86.23	60.079	249.3	2100
	2	6	5.12	4192.749	3439.203	0.093	1.497	0.076	0.06	17.973	322.581	216	81.12	62.444	249.2	2100
	เฉลี่ย	6	5.3	4192.749	3395.855	0.093	1.3095	0.076	0.058	19.006	311.828	216	83.675	61.262	249.25	2100
500	1	6	5.53	4132.101	3226.402	0.093	0.429	0.092	0.087	21.919	467.742	252.8	145.23	42.551	308	2000
	2	6	5.3	4132.101	3709.114	0.093	0.264	0.092	0.083	10.237	446.237	252.8	147.55	41.634	308	2000
	เฉลี่ย	6	5.415	4132.101	3467.758	0.093	0.3465	0.092	0.085	16.078	456.989	252.8	146.39	42.093	308	2000
600	1	6	5.67	4072.29	3272.034	0.088	0.357	0.112	0.094	19.651	505.376	304	166.33	45.286	400	2240
	2	6	4.95	4072.29	3569.134	0.088	0.322	0.112	0.091	12.356	489.247	304	168.97	44.418	400.2	2150
	เฉลี่ย	6	5.31	4072.29	3420.584	0.088	0.3395	0.112	0.0925	16.003	497.312	304	167.65	44.852	400.1	2195

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-18 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต 50 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.6	3200.2045	200.6634	20.168	84.438	0.02	0.014	93.730	75.269	85.15	3.15	96.301	92	1880
	2	6	5.55	3200.2045	200.556		85.003	0.02	0.014	93.733	75.269	85.15	4.2	95.068	92	1930
	เฉลี่ย	6	5.575	3200.2045	200.6097		84.7205	0.02	0.014	93.731	75.269	85.15	3.675	95.684	92	1905
200	1	6	5.32	3501.905	3271.538	0.136	14.133	0.037	0.0265	6.578	142.473	100.8	58.25	42.212	154	1900
	2	6	5.32	3501.905	2270.786		14.016	0.037	0.029	35.156	155.914	100.8	60.12	40.357	154	1950
	เฉลี่ย	6	5.32	3501.905	2771.162		14.0745	0.037	0.03175	20.867	149.194	100.8	59.185	41.285	154	1925
300	1	6	5.38	3113.41	3092.692	0.093	3.234	0.054	0.041	0.665	220.430	152	120.42	20.776	208	2100
	2	6	5.39	3113.41	2995.003		1.022	0.054	0.04	3.803	215.054	152	119.55	21.349	210	2310
	เฉลี่ย	6	5.385	3113.41	3043.8475		2.128	0.054	0.0475	2.234	217.742	152	119.985	21.063	209	2205
400	1	6	5.49	3673.93	3272.656	0.093	0.63	0.076	0.065	10.922	349.462	216	134.14	37.898	232	2400
	2	6	5.48	3673.93	3516.113		0.463	0.076	0.06	4.296	322.581	216	139.66	35.343	232	2530
	เฉลี่ย	6	5.485	3673.93	3394.3845		0.5465	0.076	0.0625	7.609	336.022	216	136.9	36.620	232	2465
500	1	6	5.5	3424.255	3235.467	0.093	0.418	0.092	0.077	5.513	413.978	252.8	163.2	35.443	336	2670
	2	6	5.49	3424.255	3210.202		0.366	0.092	0.073	6.251	392.473	252.8	160	36.709	335	2480
	เฉลี่ย	6	5.495	3424.255	3222.8345		0.392	0.092	0.0845	5.882	403.226	252.8	161.6	36.076	335.5	2575
600	1	6	5.52	5377.648	3254.741	0.088	0.356	0.112	0.102	39.476	548.387	304	175.2	42.368	379	2800
	2	6	5.51	5377.648	3590.33		0.326	0.112	0.096	33.236	516.129	304	175	42.434	375	2760
	เฉลี่ย	6	5.515	5377.648	3422.5355		0.341	0.112	0.099	36.356	532.258	304	175.1	42.401	377	2780

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-19 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินโดยใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เพื่อหาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	4.89	4.19	2297.314	125.921	60.948	90.006	0.098	0.046	94.519	46	65.104	63.81	1.988	148.9	1960
	2	4.89	4.33	2297.314	125.444	60.948	90.466	0.098	0.044	94.540	44	65.104	60.33	7.333	148.8	1980
	เฉลี่ย	4.89	4.26	2297.314	125.6825	60.948	90.236	0.098	0.045	94.529	45	65.104	62.07	4.660	148.85	1970
5	1	4.89	4.41	2297.314	37.371	60.948	97.626	0.098	0.005	98.373	5	65.104	15.95	75.501	126.6	1890
	2	4.89	4.43	2297.314	37.211	60.948	97.498	0.098	0.005	98.380	5	65.104	13.28	79.602	126.7	1990
	เฉลี่ย	4.89	4.42	2297.314	37.291	60.948	97.562	0.098	0.005	98.377	5	65.104	14.615	77.551	126.65	1940
6	1	4.89	4.42	2297.314	89.784	60.948	89.784	0.098	0.015	96.092	15	65.104	31.91	50.986	127.1	1940
	2	4.89	4.5	2297.314	89.423	60.948	97.91	0.098	0.009	96.107	9	65.104	27.93	57.099	127	1960
	เฉลี่ย	4.89	4.46	2297.314	89.6035	60.948	93.847	0.098	0.012	96.100	12	65.104	29.92	54.043	127.05	1960
7	1	4.89	4.46	2297.314	119.639	60.948	93.419	0.098	0.029	94.792	29	65.104	33	49.312	124.6	1930
	2	4.89	4.49	2297.314	199.212	60.948	98.819	0.098	0.005	91.328	5	65.104	31	52.384	124.6	1990
	เฉลี่ย	4.89	4.475	2297.314	159.4255	60.948	96.119	0.098	0.017	93.060	17	65.104	32	50.848	124.6	1960
8	1	4.89	4.8	2297.314	63.676	60.948	98.752	0.098	0.011	97.228	11	65.104	20.74	68.143	127	1985
	2	4.89	4.77	2297.314	63.113	60.948	99.048	0.098	0.011	97.253	11	65.104	18.28	71.922	127.4	1955
	เฉลี่ย	4.89	4.785	2297.314	63.3945	60.948	98.9	0.098	0.011	97.240	11	65.104	19.51	70.033	127.2	1970
9	1	4.89	4.5	2297.314	70.937	60.948	98.835	0.098	0.01	96.912	10	65.104	27.12	58.344	143.1	1985
	2	4.89	4.56	2297.314	70.545	60.948	99.466	0.098	0.01	96.929	10	65.104	25.55	60.755	143	2015
	เฉลี่ย	4.89	4.53	2297.314	70.741	60.948	99.1505	0.098	0.01	96.921	10	65.104	26.335	59.549	143.05	2000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-20 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงินโดยใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เพื่อหาปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสม

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
10	1	7	5.66	2297.314	1166.765	6.948	41.402	0.098	0.084	49.212	42	65.104	60.77	6.657	87.7	2015
	2	7	5.51	2297.314	1410.024	6.948	39.987	0.098	0.04	38.623	20	65.104	60	7.840	79.9	2175
	เฉลี่ย	7	5.585	2297.314	1288.3945	6.948	40.6945	0.098	0.062	43.917	31	65.104	60.385	7.248	83.8	2095
20	1	7	5.64	2297.314	301.3222	6.948	95.077	0.098	0.023	86.884	23	65.104	48	26.272	82.2	2220
	2	7	5.22	2297.314	273.9271	6.948	97.33	0.098	0.018	88.076	18	65.104	50	23.200	79.1	2080
	เฉลี่ย	7	5.43	2297.314	287.62465	6.948	96.2035	0.098	0.0205	87.480	20.5	65.104	49	24.736	80.65	2150
30	1	7	5.02	2297.314	176.9755	6.948	104.516	0.098	0.021	92.296	21	65.104	28	56.992	80.4	2110
	2	7	4.82	2297.314	188.142	6.948	106.765	0.098	0.02	91.810	20	65.104	25	61.600	83.5	2190
	เฉลี่ย	7	4.92	2297.314	182.55875	6.948	105.6405	0.098	0.0205	92.053	20.5	65.104	26.5	59.296	81.95	2150
40	1	7	5.6	2297.314	188.7103	6.948	106.324	0.098	0.027	91.786	27	65.104	32	50.848	81.9	2185
	2	7	5.25	2297.314	195.0971	6.948	101.552	0.098	0.022	91.508	22	65.104	30	53.920	82	2105
	เฉลี่ย	7	5.425	2297.314	191.9037	6.948	103.938	0.098	0.0245	91.647	24.5	65.104	31	52.384	81.95	2145
50	1	7	5.51	2297.314	174.205	6.948	106.069	0.098	0.024	92.417	20	65.104	28	56.992	88.4	2145
	2	7	5.25	2297.314	201.4913	6.948	96.224	0.098	0.019	91.229	19	65.104	28	56.992	87.6	2195
	เฉลี่ย	7	5.38	2297.314	187.84815	6.948	101.1465	0.098	0.0215	91.823	19.5	65.104	28	56.992	88	2170
60	1	7	5.51	2297.314	184.3	6.948	101.387	0.098	0.006	91.978	6	65.104	30	53.920	93.4	2225
	2	7	5.23	2297.314	207.5188	6.948	102.66	0.098	0.007	90.967	7	65.104	28	56.992	91.7	2275
	เฉลี่ย	7	5.37	2297.314	195.9094	6.948	102.0235	0.098	0.0065	91.472	6.5	65.104	29	55.456	92.55	2250

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-21 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	4.24	2297.314	172.3156	6.948	95.067	0.098	0.022	92.499	22	65.104	4.55	93.011	87.6	2010
	2	6	4.61	2297.314	53.914	6.948	96.126	0.098	0.017	97.653	17	65.104	4.65	92.858	87.6	1990
	เฉลี่ย	6	4.425	2297.314	113.1148	6.948	95.5965	0.098	0.0195	95.076	19.5	65.104	4.6	92.934	87.6	2000
0.2	1	6	4.29	2297.314	206.5979	6.948	93.028	0.098	0.032	91.007	32	65.104	5.05	92.243	86.7	2215
	2	6	4.33	2297.314	206	6.948	93.112	0.098	0.033	91.033	33	65.104	5.11	92.151	86.5	2265
	เฉลี่ย	6	4.31	2297.314	206.29895	6.948	93.07	0.098	0.0325	91.020	32.5	65.104	5.08	92.197	86.6	2240
0.3	1	6	4.33	2297.314	212.1413	6.948	91.463	0.098	0.037	90.766	37	65.104	11	83.104	86.6	2215
	2	6	4.45	2297.314	212.111	6.948	91.224	0.098	0.036	90.767	36	65.104	10.84	83.350	86.4	2315
	เฉลี่ย	6	4.39	2297.314	212.12615	6.948	91.3435	0.098	0.0365	90.766	36.5	65.104	10.92	83.227	86.5	2265
0.4	1	6	4.44	2297.314	213.9465	6.948	95.278	0.098	0.02	90.687	20	65.104	15.49	76.207	86.2	2340
	2	6	4.34	2297.314	212.428	6.948	95.009	0.098	0.028	90.753	28	65.104	15.02	76.929	86.2	2370
	เฉลี่ย	6	4.39	2297.314	213.18725	6.948	95.1435	0.098	0.024	90.720	24	65.104	15.255	76.568	86.2	2355
0.5	1	6	4.28	2297.314	237.2066	6.948	95.367	0.098	0.021	89.675	21	65.104	23.39	64.073	86.5	2400
	2	6	4.25	2297.314	237.221	6.948	95.213	0.098	0.021	89.674	21	65.104	12.45	80.877	86.3	2450
	เฉลี่ย	6	4.265	2297.314	237.2138	6.948	95.29	0.098	0.021	89.674	21	65.104	17.92	72.475	86.4	2425
0.6	1	6	4.32	2297.314	228.9088	6.948	93.714	0.098	0.028	90.036	28	65.104	18.56	71.492	85.2	2510
	2	6	4.38	2297.314	228.107	6.948	93.101	0.098	0.027	90.071	27	65.104	15	71.492	85	2570
	เฉลี่ย	6	4.35	2297.314	228.5079	6.948	93.4075	0.098	0.0275	90.053	27.5	65.104	16.78	74.226	85.1	2540

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-22 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.64	2297.314	248.3653	6.948	100.218	0.098	0.001	89.189	1	65.104	10.21	84.317	89.7	2050
	2	6	5.57	2297.314	248.002	6.948	100.388	0.098	0.001	89.205	1	65.104	11.09	82.966	89.5	2240
	เฉลี่ย	6	5.605	2297.314	248.18365	6.948	100.303	0.098	0.001	89.197	1	65.104	10.65	83.642	89.6	2145
0.2	1	6	5.53	2297.314	233.0845	6.948	96.766	0.098	0.014	89.854	14	65.104	8.18	87.435	85.8	2130
	2	6	5.33	2297.314	233.098	6.948	95.543	0.098	0.015	89.853	15	65.104	8.87	86.376	85.8	2240
	เฉลี่ย	6	5.43	2297.314	233.09125	6.948	96.1545	0.098	0.0145	89.854	14.5	65.104	8.525	86.906	85.8	2185
0.3	1	6	5.32	2297.314	199.4383	6.948	100.051	0.098	0.001	91.319	1	65.104	3.45	94.701	87.4	2150
	2	6	5.59	2297.314	200.011	6.948	100.12	0.098	0.001	91.294	1	65.104	3.05	95.315	87.2	2250
	เฉลี่ย	6	5.455	2297.314	199.72465	6.948	100.0855	0.098	0.001	91.306	1	65.104	3.25	95.008	87.3	2200
0.4	1	6	5.11	2297.314	217.1086	6.948	95.84	0.098	0.018	90.549	18	65.104	13.44	79.356	88	2190
	2	6	5.09	2297.314	218.177	6.948	92.323	0.098	0.019	90.503	19	65.104	15.67	75.931	88.1	2180
	เฉลี่ย	6	5.1	2297.314	217.6428	6.948	94.0815	0.098	0.0185	90.526	18.5	65.104	14.555	77.643	88.05	2185
0.5	1	6	5.3	2297.314	211.7812	6.948	98.992	0.098	0.003	90.781	3	65.104	18.69	71.292	87.2	2210
	2	6	5.2	2297.314	211.224	6.948	99.006	0.098	0.003	90.806	3	65.104	17.75	72.736	87.2	2240
	เฉลี่ย	6	5.25	2297.314	211.5026	6.948	98.999	0.098	0.003	90.793	3	65.104	18.22	72.014	87.2	2225
0.6	1	6	5.15	2297.314	211.827	6.948	98.245	0.098	0.006	90.779	6	65.104	25.84	60.310	86.4	2220
	2	6	5.12	2297.314	211.266	6.948	97.434	0.098	0.007	90.804	7	65.104	27.23	58.175	86.2	2180
	เฉลี่ย	6	5.135	2297.314	211.5465	6.948	97.8395	0.098	0.0065	90.792	6.5	65.104	26.535	59.242	86.3	2200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-23 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.58	3200.2045	219.9413	6.948	88.667	0.098	0.052	93.127	52	65.104	6.75	89.632	93	2360
	2	6	5.55	3200.2045	219.222	6.948	89.166	0.098	0.056	93.150	56	65.104	5.88	90.968	92.9	2400
	เฉลี่ย	6	5.565	3200.2045	219.58165	6.948	88.9165	0.098	0.054	93.139	54	65.104	6.315	90.300	92.95	2380
200	1	6	5.37	3501.905	2149.912	0.403	20.337	0.193	0.192	38.607	192	94.93	22.45	76.351	153.2	2800
	2	6	5.33	3501.905	2141.335	0.403	20.522	0.193	0.166	38.852	166	94.93	26.75	71.821	153.3	3200
	เฉลี่ย	6	5.35	3501.905	2145.6235	0.403	20.4295	0.193	0.179	38.730	179	94.93	24.6	74.086	153.25	3000
300	1	6	5.44	3113.41	3102.028	0.437	3.493	0.292	0.258	0.366	258	148.53	64.66	56.467	219	3050
	2	6	5.35	3113.41	3097.634	0.437	3.144	0.292	0.206	0.507	206	148.53	62.12	58.177	219.1	3170
	เฉลี่ย	6	5.395	3113.41	3099.831	0.437	3.3185	0.292	0.232	0.436	232	148.53	63.39	57.322	219.05	3110
400	1	6	5.48	3673.93	3439.696	0.482	1.122	0.393	0.351	6.376	351	193.21	86.23	55.370	249.3	3750
	2	6	5.12	3673.93	3439.203	0.482	1.497	0.393	0.323	6.389	323	193.21	81.12	58.015	249.2	3590
	เฉลี่ย	6	5.3	3673.93	3439.4495	0.482	1.3095	0.393	0.337	6.382	337	193.21	83.675	56.692	249.25	3670
500	1	6	5.53	3424.255	3361.247	0.56	0.429	0.49	0.469	1.840	469	202.11	145.23	28.143	308	4200
	2	6	5.3	3424.255	3309.114	0.56	0.264	0.49	0.422	3.363	422	202.11	147.55	26.995	308	4300
	เฉลี่ย	6	5.415	3424.255	3335.1805	0.56	0.3465	0.49	0.4455	2.601	445.5	202.11	146.39	27.569	308	4250
600	1	6	5.67	5377.648	3643.526	0.95	0.357	0.589	0.547	32.247	547	217.78	166.33	23.625	400	4350
	2	6	4.95	5377.648	3569.134	0.95	0.322	0.589	0.499	33.630	499	217.78	168.97	22.413	400.2	4410
	เฉลี่ย	6	5.31	5377.648	3606.33	0.95	0.3185	0.589	0.523	32.939	523	217.78	167.65	23.019	400.1	4380

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-24 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีน้ำเงิน เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.45	3200.2045	264.3396	6.948	84.438	0.098	0.074	91.740	74	65.104	3.15	95.162	95	2350
	2	6	5.55	3200.2045	264.216	6.948	85.003	0.098	0.074	91.744	74	65.104	4.2	93.549	95.2	2850
	เฉลี่ย	6	5.5	3200.2045	264.2778	6.948	84.7205	0.098	0.074	91.742	74	65.104	3.675	94.355	95.1	2600
200	1	6	5.23	3501.905	2257.624	0.403	14.133	0.193	0.189	35.532	189	94.93	58.25	38.639	156.4	3700
	2	6	5.33	3501.905	2270.786	0.403	14.016	0.193	0.189	35.156	189	94.93	60.12	36.669	156.3	3640
	เฉลี่ย	6	5.28	3501.905	2264.205	0.403	14.0745	0.193	0.191	35.344	189	94.93	59.185	37.654	156.35	3670
300	1	6	5.38	3113.41	3016.51	0.437	3.234	0.292	0.291	3.112	291	148.53	120.42	18.925	215.7	3950
	2	6	5.35	3113.41	3095.003	0.437	1.022	0.292	0.291	0.591	291	148.53	119.55	19.511	215.5	3850
	เฉลี่ย	6	5.365	3113.41	3055.7565	0.437	2.128	0.292	0.2915	1.852	291	148.53	119.985	19.218	215.6	3900
400	1	6	5.48	3673.93	3576.16	0.482	0.63	0.393	0.335	2.661	335	193.21	134.14	30.573	235.7	3990
	2	6	5.12	3673.93	3516.113	0.482	0.463	0.393	0.335	4.296	335	193.21	139.66	27.716	235.4	3970
	เฉลี่ย	6	5.3	3673.93	3546.1365	0.482	0.5465	0.393	0.335	3.478	335	193.21	136.9	29.144	235.55	3980
500	1	6	5.48	3424.255	3381.924	0.56	0.418	0.49	0.479	1.236	479	202.11	163.2	19.252	334	4440
	2	6	5.3	3424.255	3310.202	0.56	0.366	0.49	0.479	3.331	479	202.11	160	20.835	334.2	4260
	เฉลี่ย	6	5.39	3424.255	3346.063	0.56	0.392	0.49	0.4845	2.283	479	202.11	161.6	20.044	334.1	4350
600	1	6	5.47	5377.648	3654.42	0.95	0.356	0.589	0.56	32.044	560	217.78	175.2	19.552	375	4390
	2	6	4.95	5377.648	3590.33	0.95	0.326	0.589	0.579	33.236	579	217.78	175	19.644	375	4370
	เฉลี่ย	6	5.21	5377.648	3622.375	0.95	0.341	0.589	0.5695	32.640	569.5	217.78	175.1	19.598	375	4380

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-25 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดงโดยใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เพื่อหาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	4.89	4.34	3024.43	457.141	2.149	92.033	0.208	0.036	84.885	18	93.18	33.75	63.780	115	2340
	2	4.89	4.38	3024.43	205.9399	2.149	98.16	0.208	0.009	93.191	4.5	93.18	30.8	66.946	115	2370
	เฉลี่ย	4.89	4.36	3024.43	331.54045	2.149	95.0965	0.208	0.0225	89.038	11.25	93.18	32.275	65.363	115	2535
5	1	4.89	4.22	3024.43	418.164	2.149	95.02	0.208	0.023	86.174	11.5	93.18	10.27	88.978	87	2260
	2	4.89	4.44	3024.43	181.5892	2.149	98.458	0.208	0.007	93.996	3.7	93.18	12.33	86.768	87	2500
	เฉลี่ย	4.89	4.33	3024.43	299.8766	2.149	96.739	0.208	0.015	90.085	7.6	93.18	11.3	87.873	87	2380
6	1	4.89	4.2	3024.43	510.197	2.149	96.885	0.208	0.015	83.131	7.5	93.18	4.4	95.278	89	1700
	2	4.89	4.5	3024.43	184.4382	2.149	97.834	0.208	0.011	93.902	5.5	93.18	5.6	93.990	90	1680
	เฉลี่ย	4.89	4.35	3024.43	347.3176	2.149	97.3595	0.208	0.013	88.516	6.5	93.18	5	94.634	89.5	1690
7	1	4.89	4.21	3024.43	333.209	2.149	99.875	0.208	0.001	88.983	9	93.18	4.4	95.278	87	1640
	2	4.89	4.49	3024.43	205.9068	2.149	99.442	0.208	0.002	93.192	3.5	93.18	4.2	95.493	87	1730
	เฉลี่ย	4.89	4.35	3024.43	269.5579	2.149	99.6585	0.208	0.0015	91.087	6.25	93.18	4.3	95.385	87	1685
8	1	4.89	4.21	3024.43	358.015	2.149	97.473	0.208	0.013	88.163	6.5	93.18	18.69	79.942	86	1700
	2	4.89	4.57	3024.43	210.773	2.149	100.907	0.208	0.003	93.031	1.5	93.18	13.75	85.244	85	1760
	เฉลี่ย	4.89	4.39	3024.43	284.394	2.149	99.19	0.208	0.008	90.597	4	93.18	16.22	82.593	85.5	1730
9	1	4.89	4.87	3024.43	348.801	2.149	96.23	0.208	0.018	88.467	0.5	93.18	10.27	88.978	93	1750
	2	4.89	4.56	3024.43	195.6067	2.149	102.163	0.208	0.007	93.532	1	93.18	9.22	90.105	92	1730
	เฉลี่ย	4.89	4.715	3024.43	272.20385	2.149	99.1965	0.208	0.0125	91.000	0.75	93.18	9.745	89.542	92.5	1740

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-26 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดงโดยใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เพื่อหาปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสม

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
10	1	7	5.66	3024.43	2850.621	2.149	3.819	0.208	0.083	5.747	41.5	93.18	53.51	42.574	87.7	2100
	2		5.51	3024.43	2851.002	2.149	3.226	0.208	0.085	5.734	42.5	93.18	44.67	52.061	79.9	2070
	เฉลี่ย		5.585	3024.43	2850.8115	2.149	3.5225	0.208	0.084	5.741	62.75	93.18	49.09	47.317	83.8	2085
20	1		5.64	3024.43	1107.931	2.149	51.631	0.208	0.076	63.367	38	93.18	30	67.804	82.2	2200
	2		5.22	3024.43	1108.988	2.149	51.114	0.208	0.077	63.332	38.5	93.18	28	69.951	79.1	2070
	เฉลี่ย		5.43	3024.43	1108.4595	2.149	51.3725	0.208	0.0765	63.350	57.25	93.18	29	68.877	80.65	2135
30	1		5.62	3024.43	204.4244	2.149	98.795	0.208	0.004	93.241	2	93.18	28	69.951	80.4	2315
	2		5.01	3024.43	204.747	2.149	98.321	0.208	0.004	93.230	2	93.18	29	68.877	83.5	2395
	เฉลี่ย		5.315	3024.43	204.5857	2.149	98.558	0.208	0.004	93.236	2	93.18	28.5	69.414	81.95	2355
40	1		5.6	3024.43	191.8716	2.149	100.416	0.208	0.003	93.656	1.5	93.18	30	67.804	81.9	2350
	2		5.25	3024.43	191.998	2.149	100.005	0.208	0.003	93.652	1.5	93.18	30	67.804	82	3400
	เฉลี่ย		5.425	3024.43	191.9348	2.149	100.2105	0.208	0.003	93.654	1.5	93.18	30	67.804	81.95	2375
50	1		5.51	3024.43	228.1205	2.149	99.284	0.208	0.002	92.457	1	93.18	32	65.658	88.4	2390
	2		5.25	3024.43	228.568	2.149	99.444	0.208	0.002	92.443	1	93.18	35	62.438	87.6	2430
	เฉลี่ย		5.38	3024.43	228.34425	2.149	99.364	0.208	0.002	92.450	1	93.18	33.5	64.048	88	2410
60	1		5.51	3024.43	295.4768	2.149	92.773	0.208	0.002	90.230	1	93.18	29	68.877	93.4	2500
	2		5.23	3024.43	296.001	2.149	92.335	0.208	0.002	90.213	1	93.18	33	64.585	91.7	2530
	เฉลี่ย		5.37	3024.43	295.7389	2.149	92.554	0.208	0.002	90.222	1	93.18	31	66.731	92.55	2515

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-27 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.49	3024.43	110.688	2.149	49.463	0.208	0.031	96.340	15.5	93.18	4.75	94.902	83	1400
	2		5.55	3024.43	720.876	2.149	89.230	0.208	0.064	76.165	32	93.18	4.2	95.493	85.9	1470
	เฉลี่ย		5.52	3024.43	415.782	2.149	69.347	0.208	0.0475	86.253	23.75	93.18	4.475	95.197	84.45	1435
0.2	1		5.43	3024.43	1175.526	2.149	47.086	0.208	0.033	61.132	16.5	93.18	11.68	87.465	84	1530
	2		5.43	3024.43	1369.702	2.149	52.127	0.208	0.074	54.712	37	93.18	4.65	95.010	85	1610
	เฉลี่ย		5.43	3024.43	1272.614	2.149	49.607	0.208	0.0535	57.922	26.75	93.18	8.165	91.237	84.5	1570
0.3	1		5.39	3024.43	1477.291	2.149	36.537	0.208	0.044	51.155	22	93.18	15.84	83.001	81.5	1620
	2		5.37	3024.43	1121.262	2.149	42.192	0.208	0.076	62.927	38	93.18	8.84	90.513	81.2	1740
	เฉลี่ย		5.38	3024.43	1299.2765	2.149	39.365	0.208	0.06	57.041	30	93.18	12.34	86.757	81.35	1680
0.4	1		5.38	3024.43	1143.435	2.149	53.075	0.208	0.055	62.193	27.5	93.18	15.84	83.001	81.7	1550
	2		5.44	3024.43	1143.303	2.149	52.037	0.208	0.086	62.198	43	93.18	12.49	86.596	81.3	1580
	เฉลี่ย		5.41	3024.43	1143.369	2.149	52.556	0.208	0.0705	62.196	35.25	93.18	14.165	84.798	81.5	1565
0.5	1		5.31	3024.43	827.677	2.149	70.011	0.208	0.056	72.634	28	93.18	16.43	82.367	82.2	1680
	2		5.24	3024.43	827.7351	2.149	69.956	0.208	0.088	72.632	44	93.18	16.56	82.228	82	1730
	เฉลี่ย		5.275	3024.43	827.70605	2.149	69.984	0.208	0.072	72.633	36	93.18	16.495	82.298	82.1	1705
0.6	1		5.38	3024.43	1279.854	2.149	47.669	0.208	0.065	57.683	32.5	93.18	23.76	74.501	82.2	1750
	2		5.28	3024.43	1279.186	2.149	47.316	0.208	0.096	57.705	48	93.18	19.39	79.191	82.2	1780
	เฉลี่ย		5.33	3024.43	1279.52	2.149	47.493	0.208	0.0805	57.694	40.25	93.18	21.575	76.846	82.2	1765

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-28 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.64	3024.43	282.0432	2.149	86.803	0.208	0.062	90.675	31	93.18	21.68	76.733	115.5	1920
	2	6	5.57	3024.43	259.492	2.149	87.505	0.208	0.033	91.420	16.5	93.18	20.66	77.828	115.2	1950
	เฉลี่ย	6	5.605	3024.43	270.7676	2.149	87.154	0.208	0.0475	91.047	23.75	93.18	21.17	77.281	115.35	1935
0.2	1	6	5.53	3024.43	486.5304	2.149	67.794	0.208	0.069	83.913	34.5	93.18	25.34	72.805	122.4	1915
	2	6	5.33	3024.43	491.209	2.149	65.454	0.208	0.045	83.759	22.5	93.18	22.88	75.445	122.1	1965
	เฉลี่ย	6	5.43	3024.43	488.8697	2.149	66.624	0.208	0.057	83.836	28.5	93.18	24.11	74.125	122.25	1940
0.3	1	6	5.32	3024.43	288.9064	2.149	83.9	0.208	0.071	90.448	35.5	93.18	15.84	83.001	86.7	1955
	2	6	5.35	3024.43	236.516	2.149	87.794	0.208	0.019	92.180	9.5	93.18	14.45	84.492	86.5	1965
	เฉลี่ย	6	5.335	3024.43	262.7112	2.149	85.847	0.208	0.045	91.314	22.5	93.18	15.145	83.747	86.6	1960
0.4	1	6	5.11	3024.43	370.3738	2.149	74.747	0.208	0.078	87.754	39	93.18	23.76	74.501	87.9	2250
	2	6	5.09	3024.43	370.121	2.149	60.185	0.208	0.079	87.762	39.5	93.18	20.76	77.721	87	2290
	เฉลี่ย	6	5.1	3024.43	370.2474	2.149	67.466	0.208	0.0785	87.758	39.25	93.18	22.26	76.111	87.45	2270
0.5	1	6	5.3	3024.43	422.5838	2.149	58.717	0.208	0.091	86.028	45.5	93.18	20.59	77.903	87.6	2220
	2	6	5.2	3024.43	423.101	2.149	55.529	0.208	0.095	86.011	47.5	93.18	18.55	80.092	87.2	2340
	เฉลี่ย	6	5.25	3024.43	422.8424	2.149	57.123	0.208	0.093	86.019	46.5	93.18	19.57	78.998	87.4	2280
0.6	1	6	5.15	3024.43	1002.147	2.149	46.527	0.208	0.095	66.865	47.5	93.18	28.51	69.403	82.1	2250
	2	6	5.12	3024.43	1002.898	2.149	49.264	0.208	0.099	66.840	49.5	93.18	24.75	73.439	82.5	2330
	เฉลี่ย	6	5.135	3024.43	1002.5225	2.149	47.8955	0.208	0.097	66.853	48.5	93.18	26.63	71.421	82.3	2290

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

171

ตารางที่ ก-29 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.58	3024.43	586.8969	0.018	78.667	0.208	0.067	80.595	67	93.18	23.45	74.834	86	1890
	2	6	5.55	3024.43	501.121	0.018	78.735	0.208	0.066	83.431	66	93.18	20.19	78.332	86	1920
	เฉลี่ย	6	5.565	3024.43	544.00895	0.018	78.701	0.208	0.0665	82.013	66.5	93.18	21.82	76.583	86	1905
200	1	6	5.37	3159.307	587.8718	0.079	69.956	0.45	0.165	81.392	165	97.16	79.22	18.464	146.6	2340
	2	6	5.33	3159.307	503.875	0.079	69.232	0.45	0.166	84.051	166	97.16	72.32	25.566	146	2380
	เฉลี่ย	6	5.35	3159.307	545.8734	0.079	69.594	0.45	0.1655	82.722	165.5	97.16	75.77	22.015	146.3	2360
300	1	6	5.44	3309.934	584.0936	0.031	67.554	0.599	0.214	82.353	214	137.37	113.67	17.253	190.1	3550
	2	6	5.35	3309.934	555.886	0.031	67.097	0.599	0.206	83.206	206	137.37	102.65	25.275	190.1	3680
	เฉลี่ย	6	5.395	3309.934	569.9898	0.031	67.3255	0.599	0.21	82.779	210	137.37	108.16	21.264	190.1	3615
400	1	6	5.48	3591.395	3377.436	0.018	67.018	0.866	0.332	5.958	332	187.62	157.84	15.873	273	3780
	2	6	5.12	3591.395	3211.662	0.018	67.543	0.866	0.323	10.573	323	187.62	114.46	38.994	273	3820
	เฉลี่ย	6	5.3	3591.395	3294.549	0.018	67.2805	0.866	0.3275	8.265	327.5	187.62	136.15	27.433	273	3800
500	1	6	5.53	3617.6	3379.346	0.016	65.203	1.076	0.438	6.586	438	242.35	216.28	10.757	331	4410
	2	6	5.3	3617.6	3187.923	0.016	65.117	1.076	0.422	11.877	422	242.35	198.33	18.164	331	4490
	เฉลี่ย	6	5.415	3617.6	3283.6345	0.016	65.16	1.076	0.43	9.232	430	242.35	207.305	14.460	331	4450
600	1	6	5.67	3576.967	3380.546	0.018	66.336	1.311	0.501	5.491	501	288.13	254.77	11.578	396	4650
	2	6	4.95	3576.967	3111.775	0.018	66.884	1.311	0.499	13.005	499	288.13	187.54	34.911	396	4710
	เฉลี่ย	6	5.31	3576.967	3246.1605	0.018	66.61	1.311	0.5	9.248	500	288.13	221.155	23.245	396	4680

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-30 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีแดง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.45	3024.43	2881.933	0.018	0.044	0.208	0.078	4.712	78	93.18	18.89	79.727	113	2010
	2	6	5.55	3024.43	2898.327	0.018	0.044	0.208	0.072	4.169	72	93.18	20	78.536	113	2000
	เฉลี่ย	6	5.5	3024.43	2890.13	0.018	0.044	0.208	0.075	4.441	75	93.18	19.445	79.132	113	2005
200	1	6	5.23	3159.307	3080.277	0.079	0.316	0.45	0.19	2.501	190	97.16	65.67	32.410	146.6	2940
	2	6	5.33	3159.307	3099.876	0.079	0.316	0.45	0.188	1.881	188	97.16	60.11	38.133	146.6	2980
	เฉลี่ย	6	5.28	3159.307	3090.0765	0.079	0.316	0.45	0.189	2.191	289	97.16	62.89	35.272	146.6	2960
300	1	6	5.38	3309.934	3289.261	0.031	1.025	0.599	0.289	0.625	289	137.37	124.56	9.325	190.1	2800
	2	6	5.35	3309.934	3201.844	0.031	1.022	0.599	0.279	3.266	279	137.37	119.18	13.242	190.1	3120
	เฉลี่ย	6	5.365	3309.934	3245.5525	0.031	1.0235	0.599	0.284	1.945	284	137.37	121.87	11.283	190	3260
400	1	6	5.48	3591.395	3480.126	0.018	0.463	0.866	0.335	3.098	335	187.62	168.77	10.047	136	3200
	2	6	5.12	3591.395	3497.555	0.018	0.463	0.866	0.329	2.613	329	187.62	158.44	15.553	136	3800
	เฉลี่ย	6	5.3	3591.395	3488.8405	0.018	0.463	0.866	0.332	2.856	332	187.62	163.605	12.800	136	3500
500	1	6	5.48	3617.6	3577.031	0.016	0.366	1.076	0.437	1.121	437	242.35	227.62	6.078	331	3950
	2	6	5.3	3617.6	3504.665	0.016	0.366	1.076	0.423	3.122	423	242.35	200.09	17.438	331	4050
	เฉลี่ย	6	5.39	3617.6	3540.848	0.016	0.366	1.076	0.43	2.122	430	242.35	213.855	11.758	331	4000
600	1	6	5.47	3576.967	3495.203	0.018	0.326	1.311	0.587	2.286	587	288.13	230.2	20.106	396	4350
	2	6	4.95	3576.967	3485.225	0.018	0.326	1.311	0.543	2.565	543	288.13	220	23.646	396	4450
	เฉลี่ย	6	5.21	3576.967	3490.214	0.018	0.326	1.311	0.565	2.425	565	288.13	225.1	21.876	396	4400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-31 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลืองโดยใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เพื่อหาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	5.54	4.23	3200.201	189.3973	6.942	90.742	0.02	0.013	94.082	69.892	85.15	55.94	34.304	149.9	2340
	2	5.54	4.2	3200.201	201.929	6.942	85.262	0.02	0.019	93.690	102.151	85.15	52.12	38.790	150.3	2500
	เฉลี่ย	5.54	4.215	3200.201	195.66315	6.942	88.002	0.02	0.016	93.886	86.022	85.15	54.03	36.547	150.1	2420
5	1	5.54	4.97	3200.201	189.693	6.942	95.628	0.02	0.013	94.072	69.892	85.15	36.75	56.841	135.8	2215
	2	5.54	4.38	3200.201	151.744	6.942	89.038	0.02	0.017	95.258	91.398	85.15	35.71	58.062	135.7	2245
	เฉลี่ย	5.54	4.675	3200.201	170.7185	6.942	92.333	0.02	0.015	94.665	80.645	85.15	36.23	57.452	135.75	2230
6	1	5.54	4.66	3200.201	181.2392	6.942	97.502	0.02	0.012	94.337	64.516	85.15	31.97	62.454	130.9	2285
	2	5.54	4.46	3200.201	122.375	6.942	89.37	0.02	0.014	96.176	75.269	85.15	30.05	64.709	130.5	2315
	เฉลี่ย	5.54	4.56	3200.201	151.8071	6.942	93.436	0.02	0.013	95.256	69.892	85.15	31.01	63.582	130.7	2300
7	1	5.54	4.57	3200.201	185.6339	6.942	97.484	0.02	0.011	94.199	59.140	85.15	32.88	61.386	130.3	2360
	2	5.54	4.51	3200.201	133.688	6.942	87.535	0.02	0.009	95.823	48.387	85.15	30.83	63.793	131.2	2340
	เฉลี่ย	5.54	4.54	3200.201	159.66095	6.942	92.5095	0.02	0.01	95.011	53.763	85.15	31.855	62.590	130.75	2350
8	1	5.54	4.88	3200.201	180.2355	6.942	95.304	0.02	0.012	94.368	64.516	85.15	25.48	70.076	130.5	2340
	2	5.54	4.51	3200.201	111.143	6.942	89.817	0.02	0.008	96.527	43.011	85.15	22.64	73.412	128.3	2440
	เฉลี่ย	5.54	4.695	3200.201	145.68925	6.942	92.5605	0.02	0.01	95.447	53.763	85.15	24.06	71.744	129.4	2390
9	1	5.54	4.69	3200.201	271.075	6.942	94.054	0.02	0.019	91.529	102.151	85.15	34.33	59.683	125.2	2350
	2	5.54	4.59	3200.201	106.157	6.942	90.226	0.02	0.007	96.683	37.634	85.15	30.93	63.676	127.7	2450
	เฉลี่ย	5.54	4.64	3200.201	188.616	6.942	92.14	0.02	0.013	94.106	69.892	85.15	32.63	61.679	126.45	2400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

174

ตารางที่ ก-32 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลืองโดยใช้สารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เพื่อหาปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสม

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
10	1	7	5.66	2297.314	2040.542	2.159	19.294	0.02	0.016	11.177	86.022	85.15	38.76	54.480	87.7	2090
	2	7	5.51	2297.314	1902.294	2.159	21.987	0.02	0.017	17.195	91.398	85.15	35.67	58.109	79.9	2110
	เฉลี่ย	7	5.585	2297.314	1971.418	2.159	20.6405	0.02	0.0165	14.186	88.710	85.15	37.215	56.295	83.8	2100
20	1	7	5.64	2297.314	286.2854	2.159	92.571	0.02	0.014	87.538	75.269	85.15	21.87	74.316	82.2	1950
	2	7	5.22	2297.314	222.3445	2.159	94.56	0.02	0.012	90.322	64.516	85.15	26	69.466	79.1	1900
	เฉลี่ย	7	5.43	2297.314	254.31495	2.159	93.5655	0.02	0.013	88.930	69.892	85.15	23.935	71.891	80.65	1925
30	1	7	5.02	2297.314	162.1139	2.159	100.69	0.02	0.003	92.943	16.129	85.15	21.41	74.856	80.4	1920
	2	7	4.99	2297.314	140.266	2.159	90.423	0.02	0.002	93.894	10.753	85.15	25.34	70.241	83.5	1960
	เฉลี่ย	7	5.005	2297.314	151.18995	2.159	95.5565	0.02	0.0025	93.419	13.441	85.15	23.375	72.548	81.95	1940
40	1	7	5.6	2297.314	175.5298	2.159	102.169	0.02	0.003	92.359	16.129	85.15	30.12	64.627	81.9	2550
	2	7	5.25	2297.314	175.9986	2.159	94.552	0.02	0.005	92.339	26.882	85.15	28	67.117	82	2650
	เฉลี่ย	7	5.425	2297.314	175.7642	2.159	98.3605	0.02	0.004	92.349	21.505	85.15	29.06	65.872	81.95	2600
50	1	7	5.51	2297.314	241.4491	2.159	97.978	0.02	0.009	89.490	48.387	85.15	40.21	52.777	88.4	2670
	2	7	5.25	2297.314	220.7337	2.159	94.683	0.02	0.014	90.392	75.269	85.15	35.55	58.250	87.6	2680
	เฉลี่ย	7	5.38	2297.314	231.0914	2.159	96.3305	0.02	0.0115	89.941	61.828	85.15	37.88	55.514	88	2675
60	1	7	5.51	2297.314	199.4995	2.159	94.641	0.02	0.008	91.316	43.011	85.15	30.12	64.627	93.4	2590
	2	7	5.02	2297.314	256.839	2.159	83.573	0.02	0.015	88.820	80.645	85.15	30	64.768	91.7	2690
	เฉลี่ย		5.265	2297.314	228.16925	2.159	89.107	0.02	0.0115	90.068	61.828	85.15	30.06	64.698	92.55	2640

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

175

ตารางที่ ก-33 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	7	5.5	2297.314	182.464	2.159	94.729	0.02	0.013	92.058	69.890	85.15	28.12	66.976	87.6	1930
	2	7	5.41	2297.314	192.722	2.159	85.362	0.02	0.069	91.611	370.950	85.15	25.65	69.877	87.6	2030
	เฉลี่ย	7	5.455	2297.314	187.593	2.159	90.0455	0.02	0.041	91.834	255.365	85.15	26.885	68.426	87.6	1980
0.2	1	7	4.29	2297.314	185.213	2.159	98	0.02	0.007	91.938	37.600	85.15	25.1	70.523	86.7	1900
	2	7	4.33	2297.314	184.268	2.159	89.112	0.02	0.072	91.979	387.097	85.15	25	70.640	86.5	1950
	เฉลี่ย	7	4.31	2297.314	184.740	2.159	93.644	0.02	0.0395	91.958	231.148	85.15	25.05	70.581	86.6	1925
0.3	1	7	4.33	2297.314	176.350	2.159	98.318	0.02	0.007	92.324	37.600	85.15	30	64.768	86.6	1850
	2	7	4.45	2297.314	212.111	2.159	91.224	0.02	0.036	90.767	193.548	85.15	28.56	66.459	86.4	1950
	เฉลี่ย	7	4.39	2297.314	194.230	2.159	94.771	0.02	0.0215	91.545	115.574	85.15	29.28	65.614	86.5	1900
0.4	1	7	4.44	2297.314	167.917	2.159	100.774	0.02	0.006	92.691	40.000	85.15	10.43	87.751	86.2	1925
	2	7	4.34	2297.314	164.828	2.159	100.009	0.02	0.006	92.825	40.000	85.15	10	88.256	86.2	2025
	เฉลี่ย	7	4.39	2297.314	166.373	2.159	100.3915	0.02	0.006	92.758	40.000	85.15	10.215	88.004	86.2	1975
0.5	1	7	4.28	2297.314	171.859	2.159	97.518	0.02	0.008	92.519	43.010	85.15	12	85.907	86.5	1940
	2	7	4.25	2297.314	170.221	2.159	97.213	0.02	0.008	92.590	43.100	85.15	11.67	86.295	86.3	2050
	เฉลี่ย	7	4.265	2297.314	171.040	2.159	97.3655	0.02	0.008	92.555	43.055	85.15	11.835	86.101	86.4	1995
0.6	1	7	4.32	2297.314	259.298	2.159	99.028	0.02	0.003	88.713	16.100	85.15	32	62.419	85.2	1890
	2	7	4.38	2297.314	228.107	2.159	93.101	0.02	0.027	90.071	145.161	85.15	28	67.117	85	1990
	เฉลี่ย	7	4.35	2297.314	243.703	2.159	96.0645	0.02	0.015	89.392	80.631	85.15	30	64.768	85.1	1940

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-34 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับสาร โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.

ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	5.64	2297.314	181.8531	2.159	89.112	0.02	0.079	92.084	42.473	85.15	23	72.989	89.7	1920
	2	6	5.57	2297.314	181.002	2.159	89.212	0.02	0.079	92.121	42.473	85.15	22	74.163	89.5	2040
	เฉลี่ย	6	5.605	2297.314	181.42755	2.159	89.162	0.02	0.079	92.103	42.473	85.15	22.5	73.576	89.6	1980
0.2	1	6	5.53	2297.314	183.4863	2.159	89.332	0.02	0.078	92.013	41.935	85.15	22.86	73.153	85.8	1890
	2	6	5.33	2297.314	183.245	2.159	89.432	0.02	0.078	92.024	41.935	85.15	23	72.989	85.8	1960
	เฉลี่ย	6	5.43	2297.314	183.36565	2.159	89.382	0.02	0.078	92.018	41.935	85.15	22.93	73.071	85.8	1925
0.3	1	6	5.32	2297.314	174.611	2.159	86.512	0.02	0.061	92.399	32.796	85.15	20.22	76.254	87.4	1890
	2	6	4.9	2297.314	174.656	2.159	86.898	0.02	0.061	92.397	32.796	85.15	20.07	76.430	87.2	1910
	เฉลี่ย	6	5.11	2297.314	174.6335	2.159	86.705	0.02	0.061	92.398	32.796	85.15	20.145	76.342	87.3	1900
0.4	1	6	5.11	2297.314	178.2281	2.159	85.876	0.02	0.071	92.242	38.172	85.15	25	70.640	88	1950
	2	6	5.09	2297.314	178.477	2.159	85.787	0.02	0.071	92.231	38.172	85.15	24	71.814	88.1	2000
	เฉลี่ย	6	5.1	2297.314	178.35255	2.159	85.8315	0.02	0.071	92.236	38.172	85.15	24.5	71.227	88.05	1975
0.5	1	6	5.3	2297.314	180.7744	2.159	92.475	0.02	0.072	92.131	38.710	85.15	24.88	70.781	87.2	1950
	2	6	5.2	2297.314	212.224	2.159	91.224	0.02	0.072	90.762	38.710	85.15	23.78	72.073	87.2	2040
	เฉลี่ย	6	5.25	2297.314	196.4992	2.159	91.8495	0.02	0.072	91.447	38.710	85.15	24.33	71.427	87.2	1995
0.6	1	6	5.15	2297.314	176.8811	2.159	86.518	0.02	0.073	92.301	39.247	85.15	24.00	71.814	86.4	1950
	2	6	5.12	2297.314	180.466	2.159	90.679	0.02	0.073	92.144	39.247	85.15	23	72.989	86.2	1930
	เฉลี่ย	6	5.135	2297.314	178.67355	2.159	88.5985	0.02	0.073	92.223	39.247	85.15	23.5	72.402	86.3	1940

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-35 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุบวก 0.1 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.58	2297.314	586.8969	2.159	91.61	0.02	0.017	74.453	91.4	85.15	35.29	58.555	93	2350
	2	6	5.55	2297.314	586.003	2.159	91.61	0.02	0.017	74.492	91.4	85.15	45.88	46.119	92.9	2460
	เฉลี่ย	6	5.565	2297.314	586.44995	2.159	91.61	0.02	0.017	74.472	91.4	85.15	40.585	52.337	92.95	2405
200	1	6	5.37	3954.6	587.8718	0.136	16.701	0.037	0.029	85.134	155.914	100.8	70.59	29.970	153.2	3150
	2	6	5.33	3954.6	587.191	0.136	16.701	0.037	0.029	85.152	155.914	100.8	76.75	23.859	153.3	3370
	เฉลี่ย	6	5.35	3954.6	587.5314	0.136	16.701	0.037	0.029	85.143	155.914	100.8	73.67	26.915	153.25	3260
300	1	6	5.44	4193.281	584.0936	0.093	0.457	0.054	0.042	86.071	225.807	152	105.89	30.336	219	3560
	2	6	5.35	4193.281	584.552	0.093	0.457	0.054	0.042	86.060	225.807	152	112.12	26.237	219.1	3640
	เฉลี่ย	6	5.395	4193.281	584.3228	0.093	0.457	0.054	0.042	86.065	225.807	152	109.005	28.286	219.05	3600
400	1	6	5.48	4192.749	3377.436	0.093	0.078	0.076	0.064	19.446	344.086	216	110.59	48.801	249.3	3870
	2	6	5.12	4192.749	3387.656	0.093	0.078	0.076	0.064	19.202	344.086	216	110.12	49.019	249.2	3930
	เฉลี่ย	6	5.3	4192.749	3382.546	0.093	0.078	0.076	0.064	19.324	344.086	216	110.355	48.910	249.25	3900
500	1	6	5.53	4132.101	3379.346	0.093	0.071	0.092	0.069	18.217	381.721	252.8	190.59	24.608	308	4160
	2	6	5.3	4132.101	3376.454	0.093	0.071	0.092	0.069	18.287	381.721	252.8	157.55	37.678	308	4340
	เฉลี่ย	6	5.415	4132.101	3377.9	0.093	0.071	0.092	0.069	18.252	381.721	252.8	174.07	31.143	308	4250
600	1	6	5.67	4072.29	3380.546	0.088	0.06	0.112	0.089	16.987	478.495	304	302.96	0.342	400	4450
	2	6	4.95	4072.29	3379.878	0.088	0.06	0.112	0.089	17.003	478.495	304	228.97	24.681	400.2	4510
	เฉลี่ย	6	5.31	4072.29	3380.212	0.088	0.06	0.112	0.089	16.995	478.495	304	265.965	12.512	400.1	4480

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

178

ตารางที่ ก-36 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟโทนสีเหลือง เพื่อหาความเข้มข้นสีที่เหมาะสมร่วมกับสารโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ 20 มก./ล.และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.

ความเข้มข้นสีย้อม(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%T		Abs.		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า conduct (µS/cm)	TDS(mg/l)
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
100	1	6	5.45	3200.2045	200.6634	2.159	84.438	0.02	0.074	93.730	74	85.15	44.32	47.951	95	2390
	2	6	5.55	3200.2045	200.456	2.159	85.003	0.02	0.074	93.736	74	85.15	34.2	59.836	95.2	2420
	เฉลี่ย	6	5.5	3200.2045	200.5597	2.159	84.7205	0.02	0.074	93.733	74	85.15	39.26	53.893	95.1	2405
200	1	6	5.23	3501.905	3271.538	0.136	14.133	0.037	0.189	6.578	189	100.8	90.45	10.268	156.4	2860
	2	6	5.33	3501.905	2270.786	0.136	14.016	0.037	0.189	35.156	189	100.8	88.12	12.579	156.3	3140
	เฉลี่ย	6	5.28	3501.905	2771.162	0.136	14.0745	0.037	0.113	20.867	189	100.8	89.285	11.424	156.35	3000
300	1	6	5.38	3113.41	3092.692	0.093	3.234	0.054	0.291	0.665	291	152	114.6	24.605	215.7	3050
	2	6	5.35	3113.41	3095.003	0.093	1.022	0.054	0.291	0.591	291	152	119.55	21.349	215.5	3190
	เฉลี่ย	6	5.365	3113.41	3093.8475	0.093	2.128	0.054	0.1725	0.628	291	152	117.075	22.977	215.6	3120
400	1	6	5.48	3673.93	3272.656	0.093	0.63	0.076	0.335	10.922	335	216	183.9	14.861	235.7	3490
	2	6	5.12	3673.93	3516.113	0.093	0.463	0.076	0.335	4.296	335	216	139.66	35.343	235.4	3710
	เฉลี่ย	6	5.3	3673.93	3394.3845	0.093	0.5465	0.076	0.335	7.609	335	216	161.78	25.102	235.55	3600
500	1	6	5.48	3424.255	3335.467	0.093	0.418	0.092	0.479	2.593	479	252.8	192.81	23.730	334	3870
	2	6	5.3	3424.255	3310.202	0.093	0.366	0.092	0.479	3.331	479	252.8	160	36.709	334.2	3930
	เฉลี่ย	6	5.39	3424.255	3322.8345	0.093	0.392	0.092	0.2855	2.962	479	252.8	176.405	30.220	334.1	3900
600	1	6	5.47	5377.648	3254.741	0.088	0.356	0.112	0.56	39.476	560	304	207.78	31.651	375	4560
	2	6	4.95	5377.648	3590.33	0.088	0.326	0.112	0.579	33.236	579	304	165	45.724	375	4440
	เฉลี่ย	6	5.21	5377.648	3422.5355	0.088	0.341	0.112	0.5695	36.356	569.5	304	186.39	38.688	375	4500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองน้ำจริงจากโรงงานฟอกย้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-37 หม้อย้อม ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม ใช้สารตกตะกอนอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	11.22	4.49	3227.142	1318.058	59.157	197.5	421.2	280	33.523	29.2	31,011
	2	11.22	4.5	3227.142	1318.02	59.158	193	421.2	277	34.236	29.2	31,322
	เฉลี่ย	11.22	4.495	3227.142	1318.039	59.158	195.25	421.2	278.5	33.879	29.2	31166.5
5	1	11.22	5.52	3227.142	1277.365	60.418	190.5	421.2	230	45.394	30.8	32,110
	2	11.22	5.51	3227.142	1277.365	60.418	189	421.2	230	45.394	30	32,145
	เฉลี่ย	11.22	5.515	3227.142	1277.365	60.418	189.75	421.2	230	45.394	30.4	32127.5
6	1	11.22	6.66	3227.142	1233.991	61.762	189	421.2	200	52.517	30.8	32,840
	2	11.22	6.64	3227.142	1233.98	61.762	190	421.2	200	52.517	30.7	32,000
	เฉลี่ย	11.22	6.65	3227.142	1233.9855	61.762	189.5	421.2	200	52.517	30.75	32420
7	1	11.22	7.52	3227.142	1335.553	58.615	202.5	421.2	220	47.768	30	33,700
	2	11.22	7.52	3227.142	1335.23	58.625	200	421.2	228	45.869	30	32,740
	เฉลี่ย	11.22	7.52	3227.142	1335.3915	58.620	201.25	421.2	224	46.819	30	33220
8	1	11.22	7.97	3227.142	1320.578	59.079	203.5	421.2	220	47.768	30	32,200
	2	11.22	7.95	3227.142	1320.111	59.093	204	421.2	218	48.243	30	32,580
	เฉลี่ย	11.22	7.96	3227.142	1320.3445	59.086	203.75	421.2	219	48.006	30	32390
9	1	11.22	8.88	3227.142	1330.148	58.782	200	421.2	240	43.020	30.2	32,600
	2	11.22	8.8	3227.142	1330.038	58.786	199	421.2	230	45.394	30.2	32,130
	เฉลี่ย	11.22	8.84	3227.142	1330.093	58.784	199.5	421.2	235	44.207	30.2	32365

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

181

ตารางที่ ข-38 หม้อย้อม ผลการทดลองหาปริมาณ ACH

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
100	1	6	6.38	3227.14	2684.737	16.808	421.2	307.52	26.990	28.62	33,190
	2	6	6.39	3227.14	2680.119	16.951	421.2	300.45	28.668	28.6	33,220
	เฉลี่ย	6	6.385	3227.14	2682.428	16.879	421.2	303.985	27.829	28.61	33205
200	1	6	6.37	3227.14	2603.253	19.333	421.2	234.93	44.224	28.89	37,800
	2	6	6.37	3227.14	2602.564	19.354	421.2	240.12	42.991	29.6	37,500
	เฉลี่ย	6	6.37	3227.14	2602.9085	19.343	421.2	237.525	43.608	29.245	37650
300	1	6	6.38	3227.14	2683.451	16.847	421.2	251.73	40.235	28.69	31,550
	2	6	6.37	3227.14	2682.434	16.879	421.2	231	45.157	29.49	32,540
	เฉลี่ย	6	6.375	3227.14	2682.9425	16.863	421.2	241.365	42.696	29.09	32045
400	1	6	6.35	3227.14	2681.961	16.894	421.2	222.34	47.213	29.09	32,900
	2	6	6.75	3227.14	2355.534	27.009	421.2	227	46.106	29.7	32,000
	เฉลี่ย	6	6.55	3227.14	2518.7475	21.951	421.2	224.67	46.660	29.395	32450
500	1	6	6.36	3227.14	2683.767	16.838	421.2	179.47	57.391	28.9	33,370
	2	6	6.36	3227.14	2683.213	16.855	421.2	185	56.078	29.7	33,290
	เฉลี่ย	6	6.36	3227.14	2683.49	16.846	421.2	182.235	56.734	29.3	33330
600	1	6	6.37	3227.14	2681.901	16.895	421.2	176.53	58.089	28.86	33,210
	2	6	6.61	3227.14	2283.418	29.243	421.2	177	57.977	29.5	33,200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-38 หม้อย้อม(ต่อ) ผลการทดลองหาปริมาณ ACH

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
	เฉลี่ย	6	6.49	3227.14	2482.6595	23.069	421.2	176.765	58.033	29.18	33205
700	1	6	6.97	3227.14	2657.709	17.645	421.2	161.2	61.728	30	32,470
	2	6	6.97	3227.14	2657.345	17.656	421.2	165	60.826	30	32,570
	เฉลี่ย	6	6.97	3227.14	2657.527	17.651	421.2	163.1	61.277	30	32520
800	1	6	7.04	3227.14	2683.059	16.860	421.2	139.18	66.956	30.9	31,710
	2	6	6.2	3227.14	2257.076	30.060	421.2	133	68.424	30.1	31,345
7	เฉลี่ย	6	6.62	3227.14	2470.0675	23.460	421.2	136.09	67.690	30.5	31527.5
900	1	6	7.12	3227.14	2681.874	16.896	421.2	144.12	65.783	30.3	31,840
	2	6	7.1	3227.14	2680.998	16.923	421.2	147.66	64.943	30.2	32,000
	เฉลี่ย	6	7.11	3227.14	2681.436	16.910	421.2	145.89	65.363	30.25	31920
1,000	1	6	6.99	3227.14	2679.901	16.957	421.2	145.12	65.546	30.2	31,700
	2	6	6.98	3227.14	2680	16.954	421.2	144.66	65.655	30.2	32,140
	เฉลี่ย	6	6.985	3227.14	2679.9505	16.956	421.2	144.89	65.601	30.2	31920
1,100	1	6	7.02	3227.14	2682.501	16.877	421.2	168	60.114	30.3	33,200
	2	6	7.02	3227.14	2682.876	16.865	421.2	188	55.366	30	33,580
	เฉลี่ย	6	7.02	3227.14	2682.6885	16.871	421.2	178	57.740	30.15	33390
1,200	1	6	6.92	3227.14	2680.501	16.939	421.2	190	54.891	30.5	33,000
	2	6	6.93	3227.14	2680.998	16.923	421.2	191	54.653	30.2	33,230
	เฉลี่ย	6	6.925	3227.14	2680.7495	16.931	421.2	190.5	54.772	30.35	33115

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

183

ตารางที่ ข-39 หม้อล้าง ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
4	1	11.22	4.45	2790.993	1519.82	45.546	324	75.32	76.753	10.2	9,880
	2	11.22	4.5	2790.993	1509.33	45.921	324	73.1	77.438	10.3	9,760
	เฉลี่ย	11.22	4.475	2790.993	1514.575	45.733	324	74.21	77.096	10.25	9820
5	1	11.22	4.79	2790.993	1491.14	46.573	324	55	83.025	10.5	9,230
	2	11.22	4.82	2790.993	1490.14	46.609	324	48	85.185	10.6	9,000
	เฉลี่ย	11.22	4.805	2790.993	1490.64	46.591	324	51.5	84.105	10.55	9115
6	1	11.22	6.57	2790.993	1656.54	40.647	324	84	74.074	10.8	8,980
	2	11.22	6.56	2790.993	1639.88	41.244	324	82.55	74.522	11	8,910
	เฉลี่ย	11.22	6.565	2790.993	1648.21	40.945	324	83.275	74.298	10.9	8945
7	1	11.22	7.26	2790.993	1511.4	45.847	324	70	78.395	11.2	8,990
	2	11.22	7.3	2790.993	1511.89	45.830	324	65	79.938	11	8,650
	เฉลี่ย	11.22	7.28	2790.993	1511.645	45.838	324	67.5	79.167	11.1	8820
8	1	11.22	7.59	2790.993	1515.25	45.709	324	82	74.691	10.9	8,870
	2	11.22	7.58	2790.993	1515.67	45.694	324	80	75.309	10.9	9,000
	เฉลี่ย	11.22	7.585	2790.993	1515.46	45.702	324	81	75.000	10.9	8935
9	1	11.22	8.18	2790.993	1645.78	41.032	324	83.01	74.380	11.2	9,230
	2	11.22	8.18	2790.993	1645.655	41.037	324	83	74.383	11.2	9,330
	เฉลี่ย	11.22	8.18	2790.993	1645.7175	41.035	324	83.005	74.381	11.2	9280

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

184

ตารางที่ ข-40 หม้อล้าง ผลการทดลองหาปริมาณ ACH

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
100	1	6	6.58	2790.993	2066.485	25.959	324	158.4	51.111	10.8	9,740
	2	6	6.58	2790.993	2066.223	25.968	324	150	53.704	10.8	9,570
	เฉลี่ย	6	6.58	2790.993	2066.354	25.963	324	154.2	52.407	10.8	9655
200	1	6	6.5	2790.993	2081.441	25.423	324	146.52	54.778	10.81	9,590
	2	6	6.49	2790.993	2081.445	25.423	324	139.7	56.883	10.81	9,255
	เฉลี่ย	6	6.495	2790.993	2081.443	25.423	324	143.11	55.830	10.81	9422.5
300	1	6	6.52	2790.993	2013.434	27.860	324	112	65.432	10.83	8,420
	2	6	6.52	2790.993	2013.776	27.847	324	111.04	65.728	10.82	8,321
	เฉลี่ย	6	6.52	2790.993	2013.605	27.853	324	111.52	65.580	10.825	8370.5
400	1	6	6.53	2790.993	2153.505	22.841	324	130.68	59.667	10.82	8,570
	2	6	6.52	2790.993	2154.343	22.811	324	123.44	61.901	10.82	8,220
	เฉลี่ย	6	6.525	2790.993	2153.924	22.826	324	127.06	60.784	10.82	8395
500	1	6	6.55	2790.993	2030.144	27.261	324	130.68	59.667	10.87	8,820
	2	6	6.55	2790.993	2030.576	27.245	324	103	68.210	19.86	8,470
	เฉลี่ย	6	6.55	2790.993	2030.36	27.253	324	116.84	63.938	15.365	8645
600	1	6	6.57	2790.993	2014.359	27.826	324	91.08	71.889	10.83	7,920
	2	6	6.58	2790.993	2014.889	27.807	324	85.88	73.494	10.83	7,500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

185

ตารางที่ ข-40 หม้อล้าง (ต่อ) ผลการทดลองหาปริมาณ ACH

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
	เฉลี่ย	6	6.575	2790.993	2014.624	27.817	324	88.48	72.691	10.83	7710
700	1	6	6.43	2790.993	1968.686	29.463	324	99	69.444	10.64	8,350
	2	6	6.43	2790.993	1968.201	29.480	324	80	75.309	10.65	8,175
	เฉลี่ย	6	6.43	2790.993	1968.4435	29.472	324	89.5	72.377	10.645	8262.5
800	1	6	6.47	2790.993	1983.498	28.932	324	106.92	67.000	10.83	8,560
	2	6	6.45	2790.993	1983.034	28.949	324	98.66	69.549	10.82	8,280
	เฉลี่ย	6	6.46	2790.993	1983.266	28.940	324	102.79	68.275	10.825	8420
900	1	6	6.44	2790.993	1963.987	29.631	324	146.52	54.778	10.69	8,300
	2	6	6.43	2790.993	1963.567	29.646	324	120	62.963	10.7	8,000
	เฉลี่ย	6	6.435	2790.993	1963.777	29.639	324	133.26	58.870	10.695	8150
1,000	1	6	6.41	2790.993	1954.089	29.986	324	118.8	63.333	10.8	8,670
	2	6	6.41	2790.993	1954.112	29.985	324	100.77	68.898	10.8	8,370
	เฉลี่ย	6	6.41	2790.993	1954.1005	29.985	324	109.785	66.116	10.8	8520
1,100	1	6	6.47	2790.993	1941.091	30.452	324	126.72	60.889	10.81	8,850
	2	6	6.46	2790.993	1941.232	30.447	324	120	62.963	10.8	8,340
	เฉลี่ย	6	6.465	2790.993	1941.1615	30.449	324	123.36	61.926	10.805	8595
1,200	1	6	6.23	2790.993	1911.965	31.495	324	91.08	71.889	10.88	5,540
	2	6	6.23	2790.993	1911.467	31.513	324	90.04	72.210	10.87	4,980
	เฉลี่ย	6	6.23	2790.993	1911.716	31.504	324	90.56	72.049	10.875	5260

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-41 EQ ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	10.48	4.36	151.283	16.618	89.015	2	547.2	182	66.740	3.68	730
	2	10.48	4.38	151.283	16.558	89.055	2	547.2	179	67.288	3.6	780
	เฉลี่ย	10.48	4.37	151.283	16.588	89.035	2	547.2	180.5	67.014	3.64	755
5	1	10.48	5.54	151.283	11.21	92.590	2.5	547.2	109.2	80.044	3.59	630
	2	10.48	5.53	151.283	11.2	92.597	2.5	547.2	100	81.725	3.6	650
	เฉลี่ย	10.48	5.535	151.283	11.205	92.593	2.5	547.2	104.6	80.885	3.595	640
6	1	10.48	6.63	151.283	34.012	77.518	12	547.2	182	66.740	3.65	770
	2	10.48	6.62	151.283	34.621	77.115	12	547.2	167	69.481	3.68	790
	เฉลี่ย	10.48	6.625	151.283	34.3165	77.316	12	547.2	174.5	68.110	3.665	780
7	1	10.48	7.58	151.283	40.927	72.947	11.5	547.2	254.8	53.436	3.67	860
	2	10.48	7.58	151.283	40.434	73.273	11.5	547.2	232	57.602	3.68	880
	เฉลี่ย	10.48	7.58	151.283	40.6805	73.110	11.5	547.2	243.4	55.519	3.675	870
8	1	10.48	8.03	151.283	54.837	63.752	13	547.2	171.08	68.735	3.68	890
	2	10.48	8.02	151.283	54.655	63.872	13	547.2	169	69.115	3.68	870
	เฉลี่ย	10.48	8.025	151.283	54.746	63.812	13	547.2	170.04	68.925	3.68	880
9	1	10.48	8.83	151.283	40.816	73.020	7.5	547.2	145.6	73.392	3.69	900
	2	10.48	8.83	151.283	40.336	73.337	7.5	547.2	133	75.694	3.7	890
	เฉลี่ย	10.48	8.83	151.283	40.576	73.179	7.5	547.2	139.3	74.543	3.695	895

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-42 EQ ผลการทดลองหาปริมาณ ACH

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
10	1	6	6.84	151.283	139.975	7.475	547.2	300.96	45.000	3.7	2,540
	2	6	6.82	151.283	140.22	7.313	547.2	301.4	44.920	3.6	2,600
	เฉลี่ย	6	6.83	151.283	140.0975	7.394	547.2	301.18	44.960	3.65	2570
20	1	6	6.87	151.283	91.998	39.188	547.2	299.36	45.292	3.68	3,790
	2	6	6.87	151.283	70.625	53.316	547.2	360	34.211	3.68	3,860
	เฉลี่ย	6	6.87	151.283	81.3115	46.252	547.2	329.68	39.751	3.68	3825
30	1	6	6.91	151.283	66.458	56.070	547.2	258	52.851	3.67	2,370
	2	6	6.9	151.283	67.848	55.152	547.2	244	55.409	3.65	2,460
	เฉลี่ย	6	6.905	151.283	67.153	55.611	547.2	251	54.130	3.66	2415
40	1	6	6.82	151.283	70.12	53.650	547.2	220	59.795	3.68	2,230
	2	6	6.83	151.283	68.153	54.950	547.2	211	61.440	3.68	2,300
	เฉลี่ย	6	6.825	151.283	69.1365	54.300	547.2	215.5	60.618	3.68	2265
50	1	6	6.71	151.283	33.764	77.682	547.2	145.8	73.355	3.68	4,840
	2	6	6.7	151.283	40.665	73.120	547.2	140.08	74.401	3.68	4,900
	เฉลี่ย	6	6.705	151.283	37.2145	75.401	547.2	142.94	73.878	3.68	4870
60	1	6	6.91	151.283	45.897	69.661	547.2	178.6	67.361	3.68	2,000
	2	6	6.25	151.283	50.013	66.941	547.2	170.2	68.896	3.68	2,120
	เฉลี่ย	6	6.91	151.283	47.955	68.301	547.2	174.4	68.129	3.68	2060

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

188

ตารางที่ ข-43 EQ ผลการทดลองหาปริมาณ polymer cationic

ปริมาณ ACH (มก./ล.)+ปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	6.25	151.283	28.048	81.460	547.2	147	73.136	3.7	1,960
	2		6.3	151.283	28.122	81.411	547.2	145	73.501	3.6	1970
	เฉลี่ย		6.275	151.283	28.085	81.435	547.2	146	73.319	3.65	1965
0.2	1		6.3	151.283	10.809	92.855	547.2	134	75.512	3.68	1,700
	2		6.35	151.283	10.242	93.230	547.2	125	77.156	3.68	1800
	เฉลี่ย		6.325	151.283	10.5255	93.043	547.2	129.5	76.334	3.68	1750
0.3	1		6.44	151.283	14.268	90.569	547.2	149	72.770	3.67	1,820
	2		6.4	151.283	13.199	91.275	547.2	133	75.694	3.65	1760
	เฉลี่ย		6.42	151.283	13.7335	90.922	547.2	141	74.232	3.66	1790
0.4	1		6.7	151.283	55.255	63.476	547.2	198	63.816	3.68	1,690
	2		6.65	151.283	55.356	63.409	547.2	176	67.836	3.68	1650
	เฉลี่ย		6.675	151.283	55.3055	63.442	547.2	187	65.826	3.68	1670
0.5	1		6.48	151.283	49.63	67.194	547.2	178	67.471	3.68	1,730
	2		6.5	151.283	50	66.949	547.2	171	68.750	3.68	1800
	เฉลี่ย		6.49	151.283	49.815	67.072	547.2	174.5	68.110	3.68	1765
0.6	1		6.57	151.283	14.628	90.331	547.2	150	72.588	3.68	1,850
	2		6.55	151.283	14.711	90.276	547.2	141.23	74.190	3.68	1800
	เฉลี่ย		6.56	151.283	14.6695	90.303	547.2	145.615	73.389	3.68	1825

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

189

ตารางที่ ข-44 EQ ผลการทดลองหาปริมาณ polymer anionic

ปริมาณ ACH (มก./ล.)+ปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
0.1	1	6	6.45	151.283	40.323	73.346	547.2	377	31.104	3.7	2,000
	2		6.38	151.283	40.318	73.349	547.2	380	30.556	3.6	1920
	เฉลี่ย		6.415	151.283	40.3205	73.348	547.2	378.5	30.830	3.65	1960
0.2	1		6.57	151.283	44.1	70.849	547.2	320	41.520	3.68	1,860
	2		6.62	151.283	44.105	70.846	547.2	317	42.069	3.68	1800
	เฉลี่ย		6.595	151.283	44.1025	70.848	547.2	318.5	41.795	3.68	1830
0.3	1		6.71	151.283	9.875	93.472	547.2	176	67.836	3.67	1,880
	2		6.69	151.283	9.777	93.537	547.2	150	72.588	3.65	1890
	เฉลี่ย		6.7	151.283	9.826	93.505	547.2	163	70.212	3.66	1885
0.4	1		6.12	151.283	19.05	87.408	547.2	289	47.186	3.68	1,760
	2		6.15	151.283	19.028	87.422	547.2	277	49.379	3.68	1730
	เฉลี่ย		6.135	151.283	19.039	87.415	547.2	283	48.282	3.68	1745
0.5	1		6.4	151.283	23.108	84.725	547.2	252	53.947	3.68	1,800
	2		6.44	151.283	23.791	84.274	547.2	244	55.409	3.68	1790
	เฉลี่ย		6.42	151.283	23.4495	84.500	547.2	248	54.678	3.68	1795
0.6	1		6.5	151.283	15.062	90.044	547.2	200	63.450	3.68	1,850
	2		6.58	151.283	15.267	89.908	547.2	183	66.557	3.68	1780
	เฉลี่ย		6.54	151.283	15.1645	89.976	547.2	191.5	65.004	3.68	1815

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

190

ตาราง ข-45 Bio ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	6.22	4.54	200.871	114.304	43.096	8	81	25	69.136	7.86	3,210
	2	6.22	4.55	200.871	114.22	43.138	8	81	24.3	70.000	7.88	3,140
	เฉลี่ย	6.22	4.545	200.871	114.262	43.117	8	81	24.65	69.568	7.87	3175
5	1	6.22	5.6	200.871	126.078	37.234	1	81	30.7	62.099	7.88	3,160
	2	6.22	5.61	200.871	126.103	37.222	1	81	30	62.963	7.89	3,200
	เฉลี่ย	6.22	5.605	200.871	126.0905	37.228	1	81	30.35	62.531	7.885	3180
6	1	6.22	6.53	200.871	92.805	53.799	1.5	81	20	75.309	7.9	3,000
	2	6.22	6.56	200.871	92.448	53.976	1.5	81	18	77.778	7.95	2,980
	เฉลี่ย	6.22	6.545	200.871	92.6265	53.888	1.5	81	20	76.543	7.925	2990
7	1	6.22	7.48	200.871	120.366	40.078	5	81	20	75.309	7.98	2,890
	2	6.22	7.46	200.871	120.203	40.159	5	81	19	76.543	8	2,960
	เฉลี่ย	6.22	7.47	200.871	120.2845	40.119	5	81	19.5	75.926	7.99	2925
8	1	6.22	8	200.871	140.881	29.865	9.5	81	31	61.728	8.01	3,300
	2	6.22	7.9	200.871	140.211	30.198	9.5	81	30	62.963	8	3,330
	เฉลี่ย	6.22	7.95	200.871	140.546	30.032	9.5	81	20	62.346	8.005	3315
9	1	6.22	8.83	200.871	150.595	25.029	7	81	36	55.556	8.05	3,150
	2	6.22	8.82	200.871	150.767	24.943	7	81	33	59.259	8.04	3,070
	เฉลี่ย	6.22	8.825	200.871	150.681	24.986	7	81	34.5	57.407	8.045	3110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-46 Bio ผลการทดลองหาปริมาณ ACH

ปริมาณ ACH(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
10	1	6	6.87	200.871	189.277	5.772	81	41.6	48.642	9.7	2750
	2		6.86	200.871	189.643	5.590	81	41	49.383	9.6	2,700
	เฉลี่ย		6.865	200.871	189.46	5.681	81	41.3	49.012	9.65	2725
20	1		6.77	200.871	149.66	25.494	81	33.28	58.914	9.8	2700
	2		6.75	200.871	149.867	25.391	81	29	64.198	9.8	2,640
	เฉลี่ย		6.76	200.871	149.7635	25.443	81	31.14	61.556	9.8	2670
30	1		6.69	200.871	163.81	18.450	81	14.8	81.728	9.9	2660
	2		6.68	200.871	163.677	18.516	81	17.72	78.123	10.1	2,630
	เฉลี่ย		6.685	200.871	163.7435	18.483	81	16.26	79.926	10	2645
40	1		6.71	200.871	131.47	34.550	81	8.32	89.728	10.2	2790
	2		6.71	200.871	131.227	34.671	81	7.78	90.395	10.3	2,450
	เฉลี่ย		6.71	200.871	131.3485	34.611	81	8.05	90.062	10.25	2620
50	1		6.74	200.871	149.348	25.650	81	16.48	79.654	10.4	2440
	2		6.73	200.871	147.005	26.816	81	10.66	86.840	10.4	2,340
	เฉลี่ย		6.735	200.871	148.1765	26.233	81	13.57	83.247	10.4	2390
60	1		6.77	200.871	141.066	29.773	81	3.2	96.049	10.9	2660
	2		6.76	200.871	108.696	45.888	81	7.2	91.111	10.9	2,700
	เฉลี่ย		6.765	200.871	124.881	37.830	81	5.2	93.580	10.9	2680

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-47 ผลการทดลองน้ำเสียหม้อย้อมหาค่า pH ที่เหมาะสม ใช้สารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	11.22	4.45	3227.142	1274.64	60.503	190	421.2	203	51.804	29	30,119
	2	11.22	4.46	3227.142	1274.32	60.512	195	421.2	199	52.754	29	31,000
	เฉลี่ย	11.22	4.455	3227.142	1274.48	60.507	192.5	421.2	201	52.279	29	30559.5
5	1	11.22	4.81	3227.142	1274.554	60.505	190	421.2	173	58.927	30.9	30,224
	2	11.22	4.9	3227.142	1274.5	60.507	189	421.2	172.5	59.046	30.3	30,202
	เฉลี่ย	11.22	4.855	3227.142	1274.527	60.506	189.5	421.2	172.75	58.986	30.6	30213
6	1	11.22	4.42	3227.142	1270.066	60.644	196.5	421.2	162	61.538	30.4	29,840
	2	11.22	4.4	3227.142	1269.012	60.677	194	421.2	156	62.963	30.7	29,000
	เฉลี่ย	11.22	4.41	3227.142	1269.539	60.661	195.25	421.2	159	62.251	30.55	29420
7	1	11.22	6.66	3227.142	1305.275	59.553	193	421.2	179	57.502	30.8	30,700
	2	11.22	6.62	3227.142	1305.196	59.556	193	421.2	177	57.977	30.8	30,740
	เฉลี่ย	11.22	6.64	3227.142	1305.2355	59.554	193	421.2	178	57.740	30.8	30720
8	1	11.22	6.81	3227.142	1290.374	60.015	193	421.2	175	58.452	30.1	30,200
	2	11.22	6.8	3227.142	1290.34	60.016	195	421.2	174.11	58.663	30.1	30,580
	เฉลี่ย	11.22	6.805	3227.142	1290.357	60.015	194	421.2	174.555	58.558	30.1	30390
9	1	11.22	7.23	3227.142	1297.389	59.798	193.5	421.2	188	55.366	30.5	31,600
	2	11.22	7.2	3227.142	1297.23	59.803	194.5	421.2	182	56.790	30.5	31,130
	เฉลี่ย	11.22	7.215	3227.142	1297.3095	59.800	194	421.2	185	56.078	30.5	31365

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-48 PACLหม้อย้อม ผลการทดลองหาปริมาณ PACL

ปริมาณ PACL (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
100	1	11.22	5.12	3227.14	3000.13	7.034	421.2	300	28.775	29.9	31,660
	2	11.22	5.06	3227.14	2977.66	7.731	421.2	285	32.336	29.7	31,000
	เฉลี่ย	11.22	5.09	3227.14	2988.895	7.383	421.2	292.5	30.556	29.8	31330
200	1	11.22	4.98	3227.14	2877.54	10.833	421.2	275	34.710	29.6	30890
	2	11.22	4.96	3227.14	2803.12	13.139	421.2	265	37.085	29.8	30970
	เฉลี่ย	11.22	4.97	3227.14	2840.33	11.986	421.2	270	35.897	29.7	30930
300	1	11.22	4.93	3227.14	2713.323	15.922	421.2	223	47.056	28.9	30000
	2	11.22	4.9	3227.14	2713.3	15.922	421.2	200	52.517	28.9	30000
	เฉลี่ย	11.22	4.915	3227.14	2713.3115	15.922	421.2	211.5	49.786	28.9	30000
400	1	11.22	4.88	3227.14	2717.907	15.780	421.2	200	52.517	29.7	29950
	2	11.22	4.86	3227.14	2717.911	15.780	421.2	212	49.668	29.5	29970
	เฉลี่ย	11.22	4.87	3227.14	2717.909	15.780	421.2	206	51.092	29.6	29960
500	1	11.22	4.85	3227.14	2458.438	23.820	421.2	200	52.517	28.8	28,960
	2	11.22	4.78	3227.14	2458.444	23.820	421.2	199	52.754	28.7	28,760
	เฉลี่ย	11.22	4.815	3227.14	2458.441	23.820	421.2	199.5	52.635	28.75	28860
600	1	11.22	4.84	3227.14	2460.622	23.752	421.2	202	52.042	30.4	30,500
	2	11.22	4.82	3227.14	2460.6	23.753	421.2	200	52.517	30.4	31,000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-49 PACLหม้อย้อม(ต่อ) ผลการทดลองหาปริมาณ PACL

ปริมาณ PACL (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
	เฉลี่ย	11.22	4.83	3227.14	2460.611	23.753	421.2	300	28.775	29.9	31,660
700	1	11.22	4.74	3227.14	2461.997	23.710	421.2	285	32.336	29.7	31,000
	2	11.22	4.74	3227.14	2461.9	23.713	421.2	292.5	30.556	29.8	31330
	เฉลี่ย	11.22	4.74	3227.14	2461.9485	23.711	421.2	275	34.710	29.6	30890
800	1	11.22	4.72	3227.14	2310.649	28.399	421.2	265	37.085	29.8	30970
	2	11.22	4.7	3227.14	2310.653	28.399	421.2	270	35.897	29.7	30930
	เฉลี่ย	11.22	4.71	3227.14	2310.651	28.399	421.2	223	47.056	28.9	30000
900	1	11.22	4.58	3227.14	2319.353	28.130	421.2	200	52.517	28.9	30000
	2	11.22	4.59	3227.14	2319.21	28.134	421.2	211.5	49.786	28.9	30000
	เฉลี่ย	11.22	4.585	3227.14	2319.2815	28.132	421.2	200	52.517	29.7	29950
1,000	1	11.22	4.59	3227.14	2218.798	31.246	421.2	212	49.668	29.5	29970
	2	11.22	4.59	3227.14	2218.572	31.253	421.2	206	51.092	29.6	29960
	เฉลี่ย	11.22	4.59	3227.14	2218.685	31.249	421.2	200	52.517	28.8	28,960
1,100	1	11.22	4.68	3227.14	2294.828	28.890	421.2	199	52.754	28.7	28,760
	2	11.22	4.65	3227.14	2294.5	28.900	421.2	199.5	52.635	28.75	28860
	เฉลี่ย	11.22	4.665	3227.14	2294.664	28.895	421.2	202	52.042	30.4	30,500
1,200	1	11.22	4.58	3227.14	2296.022	28.853	421.2	200	52.517	30.4	31,000
	2	11.22	4.54	3227.14	2296	28.853	421.2	201	52.279	30.4	30750
	เฉลี่ย	11.22	4.56	3227.14	2296.011	28.853	421.2	189	55.128	30.3	31,310
1,300	1	11.22	4.48	3227.14	2280.511	29.333	421.2	180	57.265	30.2	31,300
	2	11.22	4.48	3227.14	2280.16	29.344	421.2	184.5	56.197	30.25	31,305
	เฉลี่ย	11.22	4.48	3227.14	2280.3355	29.339	421.2	190	54.891	30.3	30,300

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-50 PACLหม้อล้าง ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
4	1	11.22	4.33	2790.993	1468.32	47.391	324	140	56.790	11.5	9,000
	2	11.22	4.5	2790.993	1468	47.402	324	135	58.333	11.4	9,100
	เฉลี่ย	11.22	4.415	2790.993	1468.16	47.397	324	137.5	57.562	11.45	9050
5	1	11.22	4.37	2790.993	1421.51	49.068	324	80	75.309	11.48	8,980
	2	11.22	4.33	2790.993	1421.62	49.064	324	88	72.840	11.6	8,960
	เฉลี่ย	11.22	4.35	2790.993	1421.565	49.066	324	84	74.074	11.54	8970
6	1	11.22	4.42	2790.993	1411.01	49.444	324	92	71.605	11.37	8,800
	2	11.22	4.48	2790.993	1411.43	49.429	324	93	71.296	11.4	8,820
	เฉลี่ย	11.22	4.45	2790.993	1411.22	49.437	324	92.5	71.451	11.385	8810
7	1	11.22	6.66	2790.993	1148.65	58.844	324	72	77.778	11.37	9,190
	2	11.22	6.6	2790.993	1148.55	58.848	324	70	78.395	11.5	9,450
	เฉลี่ย	11.22	6.63	2790.993	1148.6	58.846	324	71	78.086	11.435	9320
8	1	11.22	6.81	2790.993	1252.12	55.137	324	92	71.605	11.42	8,970
	2	11.22	6.66	2790.993	1252.1	55.138	324	88	72.840	11.45	9,000
	เฉลี่ย	11.22	6.735	2790.993	1252.11	55.137	324	90	72.222	11.435	8985
9	1	11.22	7.23	2790.993	1367.5	51.003	324	120	62.963	11.46	9,130
	2	11.22	7.2	2790.993	1367.25	51.012	324	100	69.136	11.46	9,430
	เฉลี่ย	11.22	7.215	2790.993	1367.375	51.008	324	110	66.049	11.46	9280

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-51 หม้อล้าง ผลการทดลองหาปริมาณ PACL

ปริมาณ PACL (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
100	1		4.66	2790.993	2788.799	0.079	324	240	25.926	11.45	10,000
	2		4.68	2790.993	2652.657	4.957	324	220	32.099	11.4	12,000
	เฉลี่ย		4.67	2790.993	2720.728	2.518	324	230	29.012	11.425	11000
200	1		4.59	2790.993	2535.981	9.137	324	210	35.185	11.5	11,210
	2		4.58	2790.993	2533.623	9.221	324	210	35.185	11.4	11,000
	เฉลี่ย		4.585	2790.993	2534.802	9.179	324	210	35.185	11.45	11105
300	1		4.47	2790.993	2696.504	3.385	324	200	38.272	11.3	10930
	2		4.45	2790.993	2321.129	16.835	324	190	41.358	11.2	10600
	เฉลี่ย		4.46	2790.993	2508.8165	10.110	324	195	39.815	11.25	10765
400	1		4.86	2790.993	2002.799	28.241	324	170	47.531	11.5	10,530
	2		4.96	2790.993	2002.657	28.246	324	160	50.617	11.5	10,420
	เฉลี่ย		4.91	2790.993	2002.728	28.243	324	165	49.074	11.5	10475
500	1		4.47	2790.993	1488.52	46.667	324	120.12	62.926	11.46	10,190
	2		4.5	2790.993	2253.505	19.258	324	120.11	62.929	11.46	10,570
	เฉลี่ย		4.485	2790.993	1871.0125	32.962	324	120.115	62.927	11.46	10380
600	1		4.43	2790.993	2056.089	26.331	324	120.12	62.926	11.03	9,000
	2		4.77	2790.993	1348.76	51.675	324	120	62.963	11.11	9800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

197

ตารางที่ ข-52 หม้อล้าง(ต่อ) ผลการทดลองหาปริมาณ PACL

ปริมาณ PACL (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
	เฉลี่ย		4.6	2790.993	1702.4245	39.003	324	120.06	62.944	11.07	9400
700	1		4.32	2790.993	2035.981	27.052	324	101.92	68.543	11.16	9,580
	2		4.6	2790.993	2033.623	27.136	324	102	68.519	11.2	9340
	เฉลี่ย		4.46	2790.993	2034.802	27.094	324	101.96	68.531	11.18	9460
800	1		4.29	2790.993	2052.351	26.465	324	72.8	77.531	11.13	9,620
	2		4.81	2790.993	1333.04	52.238	324	72.8	77.531	11.15	9,500
	เฉลี่ย		4.55	2790.993	1692.6955	39.351	324	72.8	77.531	11.14	9560
900	1		4.23	2790.993	2054.061	26.404	324	94.64	70.790	11.2	9,680
	2		4.33	2790.993	2048.876	26.590	324	95.21	70.614	11.2	9200
	เฉลี่ย		4.28	2790.993	2051.4685	26.497	324	94.925	70.702	11.2	9440
1,000	1		4.23	2790.993	2016.351	27.755	324	94.64	70.790	11.6	10,640
	2		4.22	2790.993	2020.487	27.607	324	94.6	70.802	11.57	10,530
	เฉลี่ย		4.225	2790.993	2018.419	27.681	324	94.62	70.796	11.585	10585
1,100	1		4.17	2790.993	2034.504	27.105	324	79.2	75.556	11.22	9,930
	2		4.17	2790.993	2245.465	19.546	324	78.9	75.648	11.18	9670
	เฉลี่ย		4.17	2790.993	2139.9845	23.325	324	79.05	75.602	11.2	9800
1,200	1		4.17	2790.993	2035.981	27.052	324	118.8	63.333	11.35	9,150
	2		4.2	2790.993	2033.623	27.136	324	109.45	66.219	11.3	9000
	เฉลี่ย		4.185	2790.993	2034.802	27.094	324	114.125	64.776	11.325	9075

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

198

ตารางที่ ข-53 EQ ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	ความเข้มสีที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง			ก่อน	หลัง			
4	1	10.48	4.08	151.283	11.611	92.325	1.5	547.2	36.4	93.348	3.68	4,400
	2	10.48	4.1	151.283	11.566	92.355	1.5	547.2	36	93.421	3.6	4,370
	เฉลี่ย	10.48	4.09	151.283	11.5885	92.340	1.5	547.2	36.2	93.385	3.64	4385
5	1	10.48	4.55	151.283	8.004	94.709	1	547.2	28.4	94.810	3.59	3,580
	2	10.48	4.23	151.283	8.224	94.564	1	547.2	30	94.518	3.6	3,000
	เฉลี่ย	10.48	4.39	151.283	8.114	94.637	1	547.2	29.2	94.664	3.595	3290
6	1	10.48	4.87	151.283	17.016	88.752	4.5	547.2	47.32	91.352	3.65	3,780
	2	10.48	4.9	151.283	17.834	88.211	4	547.2	45	91.776	3.68	3,600
	เฉลี่ย	10.48	4.885	151.283	17.425	88.482	4.25	547.2	46.16	91.564	3.665	3690
7	1	10.48	5.62	151.283	80.728	46.638	22	547.2	98.28	82.039	3.67	3,900
	2	10.48	5.58	151.283	80.555	46.752	22.5	547.2	99.23	81.866	3.68	3,570
	เฉลี่ย	10.48	5.6	151.283	80.6415	46.695	22.25	547.2	98.755	81.953	3.675	3735
8	1	10.48	7.03	151.283	68.007	55.047	22	547.2	182	66.740	3.68	4,100
	2	10.48	7.02	151.283	68.698	54.590	21.5	547.2	160	70.760	3.68	4,240
	เฉลี่ย	10.48	7.025	151.283	68.3525	54.818	21.75	547.2	171	68.750	3.68	4170
9	1	10.48	8.78	151.283	80.721	46.642	18	547.2	72.8	86.696	3.69	3,970
	2	10.48	8.6	151.283	80.645	46.693	18	547.2	80	85.380	3.7	4,000
	เฉลี่ย	10.48	8.69	151.283	80.683	46.668	18	547.2	76.4	86.038	3.695	3985

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-54 EQ ผลการทดลองหาปริมาณ PACL

ปริมาณ PACL (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
10	1	6	5.7	151.283	150.719	0.373	547.2	316.16	42.222	3.74	3,671
	2		5.6	151.283	150.889	0.260	547.2	300.2	45.139	3.72	3,500
	เฉลี่ย		5.65	151.283	150.804	0.317	547.2	308.18	43.681	3.73	3585.5
20	1		5.57	151.283	133.115	12.009	547.2	274.56	49.825	3.77	2,650
	2		5.55	151.283	130.007	14.064	547.2	265.3	51.517	3.77	2,450
	เฉลี่ย		5.56	151.283	131.561	13.036	547.2	269.93	50.671	3.77	2550
30	1		5.52	151.283	130.835	13.516	547.2	228	58.333	3.79	2,330
	2		5.53	151.283	129.112	14.655	547.2	200	63.450	3.7	2,300
	เฉลี่ย		5.525	151.283	129.9735	14.086	547.2	214	60.892	3.745	2315
40	1		5.4	151.283	118.824	21.456	547.2	212.6	61.148	3.77	1,270
	2		5.4	151.283	118.22	21.855	547.2	230	57.968	3.75	1,100
	เฉลี่ย		5.4	151.283	118.522	21.655	547.2	221.3	59.558	3.76	1185
50	1		5.43	151.283	108.269	28.433	547.2	208	61.988	3.78	2,530
	2		5.42	151.283	108.654	28.178	547.2	197	63.999	3.77	2,200
	เฉลี่ย		5.425	151.283	108.4615	28.306	547.2	202.5	62.993	3.775	2365
60	1		5.32	151.283	145.764	3.648	547.2	220.48	59.708	3.74	2,960
	2		5.32	151.283	145.998	3.493	547.2	214.22	60.852	3.74	2,458
	เฉลี่ย		5.32	151.283	145.881	3.571	547.2	217.35	60.280	3.74	2709

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-55 EQ ผลการทดลองหาปริมาณ polymer cationic

ปริมาณ PACL (มก./ล.)+ปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
0.1	1	10.48	4.48	151.283	35.414	76.591	421.2	149	64.625	3.9	1,990
	2	10.48	4.46	151.283	35.414	76.591	421.2	150	64.387	3.7	1980
	เฉลี่ย	10.48	4.47	151.283	35.414	76.591	421.2	149.5	64.506	3.8	1985
0.2	1	10.48	4.73	151.283	13.142	91.313	421.2	143	66.049	3.8	1,690
	2	10.48	4.73	151.283	13.144	91.312	421.2	142	66.287	3.8	1720
	เฉลี่ย	10.48	4.73	151.283	13.143	91.312	421.2	142.5	66.168	3.8	1705
0.3	1	10.48	5.53	151.283	83.189	45.011	421.2	152	63.913	3.7	1,780
	2	10.48	5.5	151.283	83.2	45.004	421.2	153	63.675	3.7	1790
	เฉลี่ย	10.48	5.515	151.283	83.1945	45.007	421.2	152.5	63.794	3.7	1785
0.4	1	10.48	5.45	151.283	18.84	87.547	421.2	155	63.200	3.8	1,750
	2	10.48	5.44	151.283	18.85	87.540	421.2	155	63.200	3.7	1730
	เฉลี่ย	10.48	4.945	151.283	18.845	87.543	421.2	155	63.200	3.75	1740
0.5	1	10.48	5.42	151.283	32.993	78.191	421.2	140	66.762	3.6	1,740
	2	10.48	5.42	151.283	32.993	78.191	421.2	144	65.812	3.6	1750
	เฉลี่ย	10.48	5.42	151.283	32.993	78.191	421.2	142	66.287	3.6	1745
0.6	1	10.48	5.22	151.283	32.993	78.191	421.2	147	65.100	3.63	1,800
	2	10.48	5.25	151.283	32.993	78.191	421.2	148	64.862	3.63	1820
	เฉลี่ย	10.48	5.235	151.283	32.993	78.191	421.2	147.5	64.981	3.63	1810

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

201

ตารางที่ ข-56 EQ ผลการทดลองหาปริมาณ polymer anionic

ปริมาณ PACL (มก./ล.)+ปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวก(มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
0.1	1	10.48	4.42	151.283	33.117	78.109	421.2	270	35.897	3.7	1,840
	2	10.48	4.43	151.283	33.014	78.177	421.2	300	28.775	3.6	1820
	เฉลี่ย	10.48	4.425	151.283	33.0655	78.143	421.2	285	32.336	3.65	1830
0.2	1	10.48	5.1	151.283	11.793	92.205	421.2	280	33.523	3.7	1,580
	2	10.48	5.02	151.283	11.888	92.142	421.2	280	33.523	3.7	1600
	เฉลี่ย	10.48	5.06	151.283	11.8405	92.173	421.2	280	33.523	3.7	1590
0.3	1	10.48	5.14	151.283	8.032	94.691	421.2	140	66.762	3.6	1,360
	2	10.48	5.2	151.283	8.112	94.638	421.2	150	64.387	3.7	1400
	เฉลี่ย	10.48	5.17	151.283	8.072	94.664	421.2	145	65.575	3.65	1380
0.4	1	10.48	4.34	151.283	20.828	86.232	421.2	170	59.639	3.8	1,480
	2	10.48	4.5	151.283	20.788	86.259	421.2	190	54.891	3.8	1520
	เฉลี่ย	10.48	4.42	151.283	20.808	86.246	421.2	180	57.265	3.8	1500
0.5	1	10.48	5.19	151.283	23.084	84.741	421.2	200	52.517	3.8	1,550
	2	10.48	5.22	151.283	22.998	84.798	421.2	190	54.891	3.9	1590
	เฉลี่ย	10.48	5.205	151.283	23.041	84.770	421.2	195	53.704	3.85	1570
0.6	1	10.48	4.63	151.283	116.393	23.063	421.2	200	52.517	3.9	1,500
	2	10.48	4.6	151.283	116.23	23.170	421.2	242	42.545	3.9	1490
	เฉลี่ย	10.48	4.615	151.283	116.3115	23.117	421.2	221	47.531	3.9	1495

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

202

ตารางที่ ข-57 Bio ผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสม

pH	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัด COD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
4	1	6.22	4.33	200.871	97.309	51.556	81	80	1.235	7.78	2,890
	2	6.22	4.32	200.871	97.222	51.600	81	77	4.938	7.7	2,780
	เฉลี่ย	6.22	4.325	200.871	97.2655	51.578	81	78.5	3.086	7.74	2835
5	1	6.22	5.46	200.871	98.246	51.090	81	30	62.963	7.79	2,670
	2	6.22	5.45	200.871	98.143	51.141	81	30	62.963	7.79	2,770
	เฉลี่ย	6.22	5.455	200.871	98.1945	51.116	81	30	62.963	7.79	2720
6	1	6.22	6.56	200.871	99.227	50.602	81	20	75.309	7.82	2,120
	2	6.22	6.6	200.871	99.2	50.615	81	20	75.309	7.85	2,110
	เฉลี่ย	6.22	6.58	200.871	99.2135	50.608	81	20	75.309	7.835	2115
7	1	6.22	7.43	200.871	98.413	51.007	81	20	75.309	7.88	2,320
	2	6.22	7.42	200.871	98.578	50.925	81	18	77.778	7.89	2,240
	เฉลี่ย	6.22	7.425	200.871	98.4955	50.966	81	19	76.543	7.885	2280
8	1	6.22	7.79	200.871	96.484	51.967	81	20	75.309	7.9	2,100
	2	6.22	7.78	200.871	96.388	52.015	81	20	75.309	7.9	2,100
	เฉลี่ย	6.22	7.785	200.871	96.436	51.991	81	20	75.309	7.9	2100
9	1	6.22	8.18	200.871	96.987	51.717	81	24	70.370	7.95	2,000
	2	6.22	8.25	200.871	96.766	51.827	81	23	71.605	7.98	2,000
	เฉลี่ย	6.22	8.215	200.871	96.8765	51.772	81	23.5	70.988	7.965	2000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-58 Bio ผลการทดลองหาปริมาณ PACL

ปริมาณ PACL (มก./ล.)	ครั้งที่	pH		สี ADMI		%การกำจัดสี	COD		% การกำจัดCOD	ค่าความนำไฟฟ้า (µs/cm)	TDS(mg/l) หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง			
10	1	6.22	5.72	200.871	162.068	19.317	81	54.1	33.210	9.5	2750
	2	6.22	5.72	200.871	162.556	19.074	81	54.21	33.074	9.89	2700
	เฉลี่ย	6.22	5.72	200.871	162.312	19.196	81	54.155	33.142	9.65	2725
20	1	6.22	5.54	200.871	144.022	28.301	81	43	46.914	9.75	2620
	2	6.22	5.5	200.871	144.412	28.107	81	40	50.617	9.85	2720
	เฉลี่ย	6.22	5.52	200.871	144.217	28.204	81	41.5	48.765	9.8	2670
30	1	6.22	5.51	200.871	134.041	33.270	81	38	53.086	9.95	2650
	2	6.22	5.53	200.871	134.988	32.799	81	35	56.790	10.05	2640
	เฉลี่ย	6.22	5.52	200.871	134.5145	33.034	81	36.5	54.938	10	2645
40	1	6.22	5.41	200.871	147.949	26.346	81	32	60.494	10.1	2600
	2	6.22	5.45	200.871	148.001	26.320	81	27	66.667	10.4	2640
	เฉลี่ย	6.22	5.43	200.871	147.975	26.333	81	29.5	63.580	10.25	2620
50	1	6.22	5.28	200.871	150.727	24.963	81	20	75.309	10.5	3350
	2	6.22	5.15	200.871	150.989	24.833	81	16	80.247	10.3	3430
	เฉลี่ย	6.22	5.215	200.871	150.858	24.898	81	18	77.778	10.4	3390
60	1	6.22	4.94	200.871	196.093	2.379	81	28	65.432	10.75	3650
	2	6.22	5	200.871	196.666	2.093	81	27	66.667	11.05	3710
	เฉลี่ย	6.22	4.97	200.871	196.3795	2.236	81	27.5	66.049	10.9	3680

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

204

ภาคผนวก ค
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานน้ำเสีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๙)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๔ แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาแต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวง

ข้อ ๑ คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมและให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการ ระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ ๒ น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า ๕.๕ และไม่มากกว่า ๙.๐

(๒) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

๒.๑ ค่า ทีดีเอส ไม่มากกว่า ๓,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๒.๒ น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า ๒,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๑๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) โลหะหนักมีค่าดังนี้

๔.๑ ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า ๐.๐๐๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๒ เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า ๐.๐๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๓ แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า ๐.๐๓ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๔ ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๕ อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่มากกว่า ๐.๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๖ โครเมียม (Chromium)

๔.๖.๑ Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า ๐.๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๖.๒ Trivalent Chromium ไม่มากกว่า ๐.๗๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๗ บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๘ นิเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๙ ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า ๒.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๑๐ สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๔.๑๑ แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๖) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๗) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๘) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๙) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๐) เพสติไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(๑๑) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า ๔๐ องศาเซลเซียส

(๑๒) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(๑๓) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(๑๔) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า ๕ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๑๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๕) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เวลา ๕ วัน ไม่มากกว่า ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับ

ปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่ มากกว่า ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๖) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๗) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า ๑๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๓ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๒ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(๒) การตรวจสอบค่าทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ ๑๐๓ องศาเซลเซียสถึงอุณหภูมิ ๑๐๕ องศาเซลเซียส ในเวลา ๑ ชั่วโมง

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(๔) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

๔.๑ การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตร์โฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตร์ สโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๔.๒ การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่นสเปคโตร์โฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตร์สโคปี (Plasma Emission Spectroscopy)

๔.๓ การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์เวเปอร์เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(๕) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(๖) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีนบาร์บิทูริค แอซิค (Pyridine – Barbituric Acid)

(๗) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(๘) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี ๔ – อะมิโน แอนติไพรีน (Distillation, ๔ - Aminoantipyrine)

(๙) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริค (Iodometric Method)

(๑๐) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas - Chromatography)

(๑๑) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(๑๒) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(๑๓) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(๑๔) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(๑๕) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ ๔ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ ๓ จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard American Water Work Associantion และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ ๑๔ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๓๕

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจีรานุช ทวนทอง เกิดเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2526 สถานที่เกิด จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี พ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย