

การลดค่าซีไอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี
กับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์



นางสาว สวีณา เกตุสุวรรณ


สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-540-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COD REMOVAL OF TEXTILE WASTEWATER BY CHEMICAL PRECIPITATION
WITH POLYALUMINIUM CHLORIDE, FERRIC SULPHATE AND
CALCIUM HYDROXIDE



Miss Saveena Kedsuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Interdepartment of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-540-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดค่าซีไอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอน
ทางเคมีกับ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์
โดย นางสาวสวีณา เกตุสุวรรณ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนิตา จินศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนิตา จินศาสตร์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

สวีณา เกตุสุวรรณ : การลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์, เฟอริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์. (COD REMOVAL OF TEXTILE WASTEWATER BY CHEMICAL PRECIPITATION WITH POLYALUMINIUM CHLORIDE, FERRIC SULPHATE AND CALCIUM HYDROXIDE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วนิตา จินสาสตร์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์, [132] หน้า. ISBN 974-346-540-5.

สารสร้างตะกอน โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สารช่วยตกตะกอน ชนิดแอนไอออนและแคทไอออน และความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีมีผลต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ จากการศึกษาพบว่าสารสร้างตะกอนที่ลดค่าซีโอดีน้ำเสียจากบ่อกักได้สูงสุด คือ เฟอริกซัลเฟต 250 มก./ล. เมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.5 มก./ล. และพีเอชประมาณ 7 แต่ค่าที่ได้ค่าพีเอชต่ำมากคือ 4.11 ลดค่าซีโอดีได้ 57.8 % ค่าใช้จ่ายขั้นต่ำในการบำบัดน้ำให้เป็นกลางรวมกับสารตกตะกอนประมาณ 28 บาท/ลบ.ม. ส่วนโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 มก./ล. ร่วมกับสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 5.0 มก./ล. ที่พีเอชประมาณ 10 ลดค่าซีโอดีได้ 51.9 % ค่าใช้จ่ายประมาณ 42 บาท/ลบ.ม. และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มก./ล. ร่วมกับสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.50 มก./ล. ที่พีเอชประมาณ 7.5 ลดค่าซีโอดีได้ 48.3 % ค่าใช้จ่ายประมาณ 30 บาท/ลบ.ม. นอกจากนี้สีและสารช่วยย้อมยังมีผลต่อค่าซีโอดีด้วยคือ เมื่อใช้เฟอริกซัลเฟตกับน้ำย้อมประเภทสียดิสเพิส ไคเรทท์ รีแอกทีฟ เบสิก ลดค่าซีโอดีได้ 35.7, 36.2, 38.7 และ 30.7% ตามลำดับ ซึ่งสำหรับสียดิสเพิสและเบสิกใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดค่าซีโอดีได้ 36.9และ 35.7 % ส่วนสารช่วยย้อมประเภทน้ำแป้งใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ ลดค่าซีโอดีได้ 43.4 % สารช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟตใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ลดได้ 42.5 % ดังนั้นประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีกับพีเอช สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนมีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P < 0.05$) โดยเฟอริกซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงสุด

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิติ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4172480623 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD : COD / Textile Wastewater / Chemical Precipitation / Coagulation / Dyeing
SAVEENA KEDSUWAN : COD REMOVAL OF TEXTILE WASTEWATER BY
CHEMICAL PRECIPITATION WITH POLYALUMINIUM CHLORIDE, FERRIC
SULPHATE AND CALCIUM HYDROXIDE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
WANIDA JINSART, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSO. PROF. THARES
SRISATIT, Ph.D. [132] pp. ISBN 974-346-540-5.

The optimum and economical wastewater treatment method was studied to reduced Textile-wastewater COD . Several parameters such as pH, coagulants (Polyaluminium chloride, Ferric sulphate and Calcium hydroxide) and anionic and cationic co-precipitant were varied in chemical precipitation process. Wastewater samples from equalizing pond and dyeing process were used in this study. Ferric sulphate 280 mg/L, cationic co-precipitant 3.5 mg/L. at initial pH 7.0 and final pH 4 reduced COD to 57.8 %. The neutralizing expense was about 28 baht/m³. Polyaluminium chloride 2,000 mg/L, cationic co-precipitant 5.0 mg/L at pH 10.0 could reduce COD to 51.9 %. The expense was about 42 baht/m³. Calcium hydroxide 400 mg/L, cationic co-precipitant 3.5 mg/L. at pH 7.5 could reduce COD to 48.3 % with cost about 30 baht/m³. Dyes and additives also effected on COD. Ferric sulphate in wastewater containing Disperse dye, Direct dye, Reactive dye and Basic dye, COD in water samples were reduced to 35.7, 36.2, 38.7 and 30.7 % respectively. Polyaluminium chloride and Calcium hydroxide reduced COD in Disperse dye and Basic dye wastewater to 36.9 and 35.7 % respectively. Polyaluminium chloride decrease COD in wastewater containing starch additives to 43.4 % and Calcium hydroxide decrease COD in Sodium sulphate additives water samples to 42.5 %. The efficiency tests of COD removal, pH, coagulant and co-precipitant had calculated by Multiple linear regression with significant differences at 95 % confidence (P< 0.05). Ferric sulphate was found as the most significant efficient coagulant.

Inter-department of Environmental Science
Field of study Environmental Science
Academic year 2000

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนิดา จินศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และรองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีมาตลอด

กราบขอบพระคุณบริษัท ไทยโทเรเท็กซ์ไทล์มิลล์ จำกัด (มหาชน) ในความอนุเคราะห์สถานที่ทดลอง, เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและสารเคมีที่จำเป็น รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยจากคุณสำอางค์ ไซ้บางยาง และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ

กราบขอบพระคุณบริษัท MC Industrial Chemical Co., Ltd. ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านตัวอย่างสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลของสารเป็นอย่างดี

กราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่และพนักงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในบริษัท ไทยโทเรเท็กซ์ไทล์มิลล์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิจัยครั้งนี้

กราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ UV-Visible ในการทำการวิจัยครั้งนี้

กราบขอบพระคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

กราบขอบพระคุณ ทุนการศึกษามูลนิธิชิน โสภณพนิชที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน

กราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้ความสนับสนุน ช่วยเหลือในการวิจัยและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฐ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	7
2.2 ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการฟอกย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	7
2.2.1 การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	8
2.2.2 แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง.....	9
2.2.3 ประเภทของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย.....	12
2.2.4 การย้อมสีและจำแนกสีย้อม.....	13
2.2.5 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.....	16
2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี.....	17
2.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีหรือโคแอกกูเลชัน.....	18
2.4.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์.....	19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2	การเลือกใช้สารสร้างตะกอน	28
2.4.3	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน	31
2.4.4	การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์	32
2.5	กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ	33
2.6	ความต้องการออกซิเจนทางเคมี	34
2.7	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
2.7.1	การลดค่าซีโอดี	37
2.7.2	โพลีลูมิเนียมคลอไรด์	38
2.7.3	เพอร์ริกซัลเฟต	40
2.7.4	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	41
2.7.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย	44
3.1	สถานที่และระยะเวลาการทำงานวิจัย	44
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	45
3.3	แผนการทดลอง	47
3.3.1	กระบวนการลดค่าซีโอดีด้วยการตกตะกอนทางเคมี	47
3.3.2	ศึกษาชนิดสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด	50
3.3.3	ศึกษาชนิดสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการบำบัด	50
3.3.4	ประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย	52
3.4	การเก็บรวบรวมข้อมูล	52
3.5	การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล	57
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	58
4.1	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ	58
4.2	ผลการทดลองกระบวนการลดค่าซีโอดีด้วยการตกตะกอนทางเคมี	59
4.2.1	ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน	60

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2	ใช้เฟอร์ริกซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน.....	65
4.2.3	ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสร้างตะกอน.....	70
4.3	ผลของชนิดสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	75
4.3.1	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมสีดีสเพิส.....	76
4.3.2	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมสีไคเร็กซ์.....	77
4.3.3	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมสีรีแอคทีฟ.....	78
4.3.4	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมสีเบสิกหรือสีแคทไอออนิก.....	79
4.4	ศึกษานิคมสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	79
4.4.1	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมจากการเติมน้ำเบ็ง.....	80
4.4.2	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมจากการเติมโซเดียมซัลเฟต.....	81
4.5	ประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย.....	81
4.6	ผลการวิเคราะห์ปัจจัย.....	83
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	85
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	85
5.1.1	การศึกษาการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ โดยวิธีโคแอกกูเลชัน.....	85
5.1.2	ศึกษานิคมสารเคมีที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	86
5.1.3	ศึกษานิคมสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการบำบัด.....	87
5.2	อภิปรายผลการวิจัย.....	88
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	89
	รายการอ้างอิง.....	90
	บรรณานุกรม.....	93
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. รายละเอียดของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน.....	98
	ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยวิธี Dichromate Open Reflux Method.....	100

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. ผลการตกตะกอนของสารสร้างตะกอน.....	102
ภาคผนวก ง. สถานที่ทำการวิจัย.....	110
ภาคผนวก จ. การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัด.....	114
ภาคผนวก ฉ. การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	120
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	132



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.2.1	ปริมาณสีย้อมชนิดต่างๆ ที่ติดมากับน้ำเสีย.....	10
ตารางที่ 2.2.2	ลักษณะสมบัติโดยทั่วไปที่พบในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม.....	10
ตารางที่ 2.2.3	สารเคมีที่พบในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.....	12
ตารางที่ 2.7.1	ผลการกำจัดสีน้ำย้อมชนิดต่างๆ.....	38
ตารางที่ 3.3.1	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการศึกษา.....	44
ตารางที่ 4.1.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากบ่อกักที่เข้าสู่ระบบบำบัดและออกจาก ระบบบำบัดน้ำเสีย.....	59
ตารางที่ 4.2.1.1	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมเบื้องต้น.....	60
ตารางที่ 4.2.1.2	ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการตกตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์.....	65
ตารางที่ 4.2.2.1	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตที่เหมาะสมเบื้องต้น 65	
ตารางที่ 4.2.2.2	ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต.....	70
ตารางที่ 4.2.3.1	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเบื้องต้น 70	
ตารางที่ 4.2.3.2	ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	75
ตารางที่ 4.3.1	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากน้ำย้อมประเภทสีดิสเพิส.....	76
ตารางที่ 4.3.2	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากน้ำย้อมประเภทสีไคเร็กซ์.....	77
ตารางที่ 4.3.3	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากน้ำย้อมประเภทสีรีแอกทีฟ.....	78
ตารางที่ 4.3.4	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากน้ำย้อมประเภทสีเบสิกหรือสีแคทไอออนิก.....	79
ตารางที่ 4.4.1	การกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียจากสารช่วยย้อมประเภทน้ำแป้ง 80	
ตารางที่ 4.4.2	การกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียจากสารช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟต 81	
ตารางที่ 4.5.1	ราคาและค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งโรงงานสิ่งทอ.....	82
ตารางที่ 4.5.2	ค่าใช้จ่ายการปรับค่าพีเอชในการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งโรงงานสิ่งทอ.....	82
ตารางที่ 5.2.1	สรุปผลการลดค่าซีโอดี.....	86

ตารางที่ 5.2.2	ผลการเปรียบเทียบน้ำทิ้งสุดท้ายหลังผ่านการเติมอากาศ.....	88
ตารางที่ ก.1	รายละเอียดของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง.....	98
ตารางที่ ก.2	รายละเอียดของเฟอร์ริกซัลเฟตที่ใช้ในการทดลอง.....	98
ตารางที่ ก.3	รายละเอียดของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง.....	98
ตารางที่ ก.4	รายละเอียดของโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่ใช้ในการทดลอง.....	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ ก.5	รายละเอียดของโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่ใช้ในการทดลอง.....	99
ตารางที่ ค.1.1	ผลการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. โดยใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 400 มก./ล.....	102
ตารางที่ ค.1.2	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมอย่างละเอียด ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. ปรับค่าพีเอชเป็น 10.00.....	102
ตารางที่ ค.1.3	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมอย่าง ละเอียดของน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 10.00 ใช้สารตกตะกอน 2,000 มก./ล.....	103
ตารางที่ ค.1.4	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมอย่าง ละเอียดของน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 10.00 ใช้สารตกตะกอน 2,000 มก./ล.....	104
ตารางที่ ค.2.1	ผลการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. โดยใช้เฟอร์ริกซัลเฟต 350 มก./ล.....	104
ตารางที่ ค.2.2	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตที่เหมาะสมอย่างละเอียด ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. ปรับค่าพีเอชเป็น 7.00.....	105
ตารางที่ ค.2.3	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมอย่าง ละเอียดของน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.00 ใช้สารตกตะกอน 250 มก./ล.....	106
ตารางที่ ค.2.4	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมอย่าง ละเอียดของน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.00 ใช้สารตกตะกอน 250 มก./ล.....	106
ตารางที่ ค.3.1	ผลการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มก./ล.....	107
ตารางที่ ค.3.2	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมอย่างละเอียด ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. ปรับค่าพีเอชเป็น 7.50.....	108

ตารางที่ ค.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมอย่าง ละเอียดของน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.50 ใช้สารตกตะกอน 400 มก./ล.....	108
ตารางที่ ค.3.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมอย่าง ละเอียดของน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.50 ใช้สารตกตะกอน 400 มก./ล.....	109



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.4.1 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory	
21	
รูปที่ 2.4.2 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ.....	22
รูปที่ 2.4.3 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์.....	23
รูปที่ 2.4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพ ของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ.....	24
รูปที่ 2.4.5 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์.....	27
รูปที่ 2.4.6 (ก) Al^{3+} รวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ (ข) $Al(OH)_3$ รวมกับอนุภาคที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนใหญ่.....	29
รูปที่ 2.5.1 Combination chemical coagulation and aerobic biological waste treatment plant flow diagram	
33	
รูปที่ 2.6.1 Correlation between acid and alkali methods for various effluents	
36	
รูปที่ 3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	51
รูปที่ 3.5.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	56
รูปที่ 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอช ที่ได้หลังตกตะกอน.....	61
รูปที่ 4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโพลีอูมิเนียมคลอไรด์ กับร้อยละ ซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	62
รูปที่ 4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	63
รูปที่ 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	64
รูปที่ 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอช ที่ได้หลังตกตะกอน.....	66
รูปที่ 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเฟอร์ริกซัลเฟตกับร้อยละซีโอดี ที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	67

รูปที่ 4.2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	68
--------------	--	----

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	69
รูปที่ 4.3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอช ที่ได้หลังตกตะกอน.....	71
รูปที่ 4.3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับร้อยละ ซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	72
รูปที่ 4.3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	73
รูปที่ 4.3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน.....	74
รูปที่ 4.3.1.1	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำย้อมสีดิสเพิส.....	76
รูปที่ 4.3.1.2	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำย้อมสีไคเร็กซ์.....	77
รูปที่ 4.3.1.3	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำย้อมสีรีแอคทีฟ.....	78
รูปที่ 4.3.1.4	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำย้อมสีเบสิกหรือแคทไอออนิก.....	79
รูปที่ 4.4.1.1	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำแป้ง.....	80
รูปที่ 4.4.1.2	การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากโซเดียมซัลเฟต.....	81
รูปที่ ง.1	ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานไทยเท็กซ์ไทล์มิลล์ จำกัด(มหาชน).....	113

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

ก.	=	กรัม
กก.	=	กิโลกรัม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	=	pH
ซีโอดี	=	COD : Chemical Oxygen Demand
บีโอดี	=	BOD : Biochemical Oxygen Demand
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	=	SS : Suspended Solid
ปริมาณของแข็งละลาย	=	TDS : Total Dissolved Solid
มก./ลบ.ดม.	=	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก.	=	มิลลิกรัม
A	=	ค่าแอมซอร์บแนนท์
ANOVA	=	Analysis of Variance
B	=	ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอย
°C	=	องศาเซลเซียส
F	=	ค่าสถิติทดสอบ
N	=	นอร์มัล
rmv	=	% COD removal
R Square	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
Sig.	=	Significance
SPSS	=	Statistical Package for the Social Science
SV	=	Standard Deviation
t	=	ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน
%T	=	เปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแตนซ์
v/v	=	Volume by volume

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยนับได้ว่ามีความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมสูง มีการลงทุนจากต่างประเทศมากขึ้น ทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมากและจากการขยายตัวอย่างต่อเนื่องก็มักจะเกิดผลเสียตามมาคือ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของคุณภาพสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านน้ำเสีย อากาศเป็นพิษ ภาวะของเสียและอื่นๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนเป็นอย่างยิ่งหากถูกระบายหรือปล่อยสู่ภาวะแวดล้อมโดยไม่ได้อำนาจก่อน ดังนั้นรัฐบาลจึงออกมาตรการควบคุมการระบายหรือปล่อยของเสียสู่ธรรมชาติ ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องหันมาเลือกแนวทางการบำบัดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าความเป็นพิษของของเสีย

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ทำรายได้หลักเข้าสู่ประเทศ ส่วนใหญ่ของสินค้าสิ่งทอจะผลิตและขายในประเทศ การส่งออกไปขายในต่างประเทศมีมากขึ้นโดยเฉพาะผ้าทอและเครื่องนุ่งห่ม ร้อยละ 80 ของเสื้อผ้าที่ผลิตขึ้นจะส่งออกสู่ตลาดโลก น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนใหญ่เป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (Process Wastewater) ที่มีปริมาณค่อนข้างมากเพราะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการผลิตแทบทุกขั้นตอนและบำบัดได้ยาก เนื่องจากลักษณะน้ำเสียมีความเข้มข้นของสีสูง และมีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์เจือปนอยู่ รวมทั้งสีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอยังเป็นสารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างซับซ้อนและมักจะเป็นสารพิษ มีค่าซีโอดีสูง ยากต่อการบำบัดโดยวิธีทางชีววิทยา ซึ่งหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำอาจทำให้สมดุลทางระบบนิเวศเปลี่ยนไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากน้ำทิ้งถูกปล่อยในปริมาณครั้งละมากๆ จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ จึงต้องมีการแก้ปัญหาภาวะเป็นพิษจากสารเคมีในน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำ ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสูงตามไปด้วย จึงควรศึกษาหาวิธีการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดต้นทุนดังกล่าว

น้ำทิ้งของอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มาจากกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมสิ่งทอชั้นกลาง คือ ปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า ฟอกย้อม และแต่งสำเร็จ ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอประเภทผลิตเส้นใยและเสื้อผ้าสำเร็จรูป ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้นและขั้นปลายนั้น ไม่มีน้ำทิ้งที่เกิดเนื่องจากกระบวนการผลิต ดังนั้นโดยทั่วไปอุตสาหกรรมสิ่งทอชั้นกลาง ที่ตั้งขึ้นต้องสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งอันเกิดจากกระบวนการผลิต เพื่อปรับสภาพของน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ ซึ่งถ้า น้ำทิ้งที่ถูกปล่อย

ออกจากโรงงานต่างๆ เป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว ก็จะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นที่รับน้ำทิ้งจากโรงงานไม่เกิดมลภาวะในด้านต่างๆ เช่น การเน่าเสียหรือเป็นอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อที่จะศึกษาการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยศึกษาเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนที่น่าสนใจ 3 ชนิด คือ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยจะพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีและค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอนและสารเคมีอื่นๆ ประกอบด้วย ทั้งยังสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นเพื่อลดความเป็นพิษของสารเคมีก่อนการบำบัดขั้นที่สอง ที่มักเป็นการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยา ตลอดจนกระบวนการบำบัดขั้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารสร้างตะกอน (coagulant) คือ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และหาประสิทธิภาพการตกตะกอนและสถานะที่เหมาะสมในการลดค่าซีโอดี
2. ศึกษาชนิดสี้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และปริมาณการใช้สารที่เหมาะสมสำหรับสีแต่ละประเภท
3. ประเมินความแตกต่างในด้านต้นทุนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ

1.3 สมมติฐาน

การลดซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะได้ผลที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีต้นทุนการบำบัดแตกต่างกันด้วย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในการทดลองนี้กระทำในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสียโรงงานไทยโทเรทกซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด (Thai Toray Textile Mills Company Limited) ตั้งอยู่ที่ 33/3 หมู่ 3 อ.สุขาภิบาล อ. นครชัยศรี จ. นครปฐม โดยในการทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ประกอบด้วยการวิเคราะห์ค่าซีโอดีและพารามิเตอร์อื่นๆ หลังจากการตกตะกอนเคมีกับโพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในสถานะที่เหมาะสม ได้แก่ ระดับพีเอช ปริมาณสารสร้างตะกอน ปริมาณสารช่วยตกตะกอน เปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอนและความสัมพันธ์ของลีย้อมรวมทั้งสารเคมีที่ใช้เป็นตัวช่วยในการย้อมผ้า เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการจัดระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

- การวิเคราะห์ราคา

ประกอบด้วยการคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากปริมาณสารเคมีที่เติมเพื่อหาความเหมาะสมของกระบวนการตกตะกอนทางเคมีในการลดค่าซีโอดีที่ประเมินออกมาในราคา บาทต่อลูกบาศก์เมตรและคำนวณค่าใช้จ่ายในอัตราส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียจริงของโรงงาน

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Chemical Oxygen Demand, COD – ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี, ซีโอดี : ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

Coagulation – การสร้างตะกอน : ในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย หมายถึง การทำให้สารแขวนลอยไม่เสถียรและเริ่มรวมตัวกันโดยการเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

Coagulant – สารสร้างตะกอน : สารประกอบที่ทำให้เกิดตะกอนหรือสำหรับจับอนุภาคขนาดเล็กให้ตกตะกอนต่อไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

Coagulant Aid – สารช่วยสร้างตะกอน : สารเคมีที่ใช้ช่วยให้เกิดหรือปรับปรุงการเกิดตะกอนดีขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

Flocculation – ฟล็อกกูเลชัน, สารสร้างฟล็อก, การรวมตะกอน : การที่สารแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำและน้ำเสียจับตัวเป็นก้อนหลังจากการทำลายเสถียร (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

Precipitation – การตกน้ำฟ้า, การตกตะกอนผลึก : การตกผลึกของตะกอนที่เกิดขึ้นใหม่ เกิดจากสารละลายทำปฏิกิริยากัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2536)

Multiple Linear Regression คือ การวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุคูณ โดยการกำหนดตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตามส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ เพื่อศึกษาว่าตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดเป็นตัวแปรอิสระมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรมากน้อยเพียงใด (กัลยา, 2540)

Polyaluminium Chloride (PACl) คือ สารช่วยตกตะกอนในกลุ่มอลูมิเนียมที่มีคุณสมบัติในการรวมตัวและตกตะกอนได้รวดเร็ว เตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$ หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลิเมอร์ สูตรโดยทั่วไปคือ $Al_n(OH)_mCl_{3-n-m}$ (O'Melia, 1972)

Ferric Sulphate ($Fe_2(SO_4)_3$) คือ สารช่วยตกตะกอนในกลุ่มเหล็ก ละลายได้ดีในน้ำอุ่น และจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือกับปูนขาวที่เติมลงไปเกิดเป็น $Fe(OH)_3$ floc กรณีของ $Fe_2(SO_4)_3$ ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อออกซิไดส์ (Nuphan, 1992)

Calcium Hydroxide ($Ca(OH)_2$) คือ สารช่วยตกตะกอนเพื่อบำบัดน้ำเสียให้เกิดการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต (พวงรัตน์, 2537)

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีที่ใช้กันอยู่ทั่วไปโดยอาศัยหลักการวัดการดูดกลืนแสง (A, absorbance) หรือ อัตราการทะลุผ่านของแสง (T, transmittance) ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมของสีนั้นๆ โดยสองตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์กันดังสมการ 1.5.1 (แมน, 2534)

$$A = 2 - \log \%T \quad (1.5.1)$$

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีที่มีความเหมาะสมในการลดค่าซีโอดีได้ และให้ผลกระทบข้างเคียง (Side Effect) น้อย

2. สามารถลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียลงจากการเลือกใช้สารเคมีที่ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง

3. ทำให้การจัดการเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียมีทางเลือกมากขึ้น

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การดำเนินงานวิจัยใช้ตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอของบริษัทไทยโเทเท็กซ์ ไทล์มิลล์ จำกัด โดยการทดลองมีตัวแปรเปลี่ยนอิสระที่ทำการศึกษา คือชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน

1.1 พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุม มีดังนี้

พีเอช, ปริมาณการเติมสารตกตะกอนและสารช่วยตกตะกอน

1.2 กำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้

1.3 เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อวันที่ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีได้แก่ ค่าซีไอดี, พีเอช, อุณหภูมิ, ความขุ่น, สีในรูปของเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแตนซ์ (percent transmittance) ก่อนทำการบำบัดด้วยสารเคมี

2. ศึกษาการตกตะกอนทางเคมีโดยการทำการทดสอบ โดยใช้สารตกตะกอน ได้แก่ PACl , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2.1 การทดสอบขั้นต้น

เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนอย่างหยาบในปริมาณต่างๆ กันโดยไม่ต้องปรับค่าพีเอชของน้ำทิ้ง เลือกปริมาณสารสร้างตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีสูงสุดและนำค่าปริมาณสารเคมีที่ก่อให้เกิดตะกอนนี้ไปใช้ในการเลือกปริมาณสารสร้างตะกอนในขั้นต่อไป

2.2 พีเอชที่เหมาะสม

ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนอย่างหยาบโดยการทำการทดสอบกับน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอโดยนำน้ำทิ้งมาปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับสารสร้างตะกอนด้วย H_2SO_4 0.1 N หรือ NaOH 0.1 N แล้วเติมสารสร้างตะกอนในปริมาณที่ได้จากข้อ 2.1 เลือกค่า pH ที่ให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีสูงสุด

2.3 ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม

ทดลองหาปริมาณสารสร้างตะกอนแบบละเอียด โดยปรับค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้ได้ตามค่าที่หามาได้จากข้อ 2.2 เติมสารสร้างตะกอนในปริมาณที่ได้จากข้อ 2.1 และค่าข้างเคียงอีกอย่างน้อย 5 ค่า ทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสต์ จากนั้นเก็บส่วนน้ำใสไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี ค่าพีเอช สี ความขุ่น เลือกปริมาณสารสร้างตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

2.4 ปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

ทำซ้ำข้อ 2.3 โดยใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจากข้อ 2.3 และเติมโพลีเมอร์ ในปริมาณต่างๆ กันหลังจากกวนเร็ว รินน้ำส่วนใสที่ได้มาตรวจหาค่าซีโอดี หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและปริมาณโพลีเมอร์ชนิดประจุบวกและลบ เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการลดค่าซีโอดีระหว่างการใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวกับการใช้สารสร้างตะกอนร่วมกับสารช่วยตกตะกอน

3 ศึกษาชนิดสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

โดยวิเคราะห์น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อมตามโทนสี เนื่องจากการย้อมโทนสีหนึ่งๆ จะใช้กลุ่มสีหลายชนิดเพื่อให้ได้โทนสีตามต้องการ หาปริมาณการใช้สีและความสัมพันธ์กับค่าซีโอดีและการตกตะกอน โดยนำตัวอย่างน้ำย้อมตามโทนสีต่างๆ มาปรับพีเอช ปริมาณสารสร้างตะกอนและปริมาณสารช่วยตกตะกอน ตามค่าที่ได้จากข้อ 2 เปรียบเทียบความสามารถในการตกตะกอนและประสิทธิภาพในการบำบัด วัดค่าการกำจัดสีเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์และศึกษาผลกระทบข้างเคียงร่วมด้วย

4 ศึกษาชนิดสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

โดยวิเคราะห์น้ำทิ้งที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมเพื่อให้สีติดเนื้อผ้าดีขึ้นและปรับสภาพเนื้อผ้าตามต้องการ ในขั้นตอนนี้สารที่จะมีผลต่อค่าซีโอดีของน้ำทิ้งคือ น้ำแป้ง และโซเดียมซัลเฟต คำนวณปริมาณการใช้สารเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าซีโอดีและการตกตะกอน โดยนำตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อม มาปรับพีเอช ปริมาณสารเคมีและปริมาณสารช่วยตกตะกอน ตามค่าที่ได้จากข้อ 2 เปรียบเทียบความสามารถในการตกตะกอนและประสิทธิภาพในการบำบัด วัดค่าการกำจัดสีเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์และศึกษาผลกระทบข้างเคียงร่วมด้วย

5. คำนวณค่าสารเคมีขั้นต้นในการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ทำการศึกษา

โดยคำนวณปริมาณ PACl, $Fe_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$, โพลีเมอร์ และปริมาณ $H_2SO_4/NaOH$ ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน และเปรียบเทียบกับขนาดระบบบำบัดน้ำเสียจริงของโรงงาน ในสถานะที่ถือว่าเหมาะสมทั้งในการทดลองและในเชิงเศรษฐกิจ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ทำรายได้เข้าสู่ประเทศจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันปัญหามลภาวะเป็นพิษจากการผลิตก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย เช่น น้ำเสียเป็นปัญหาที่เห็นได้ชัดและยากต่อการบำบัด ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอนี้ มีการฟอกย้อมเป็นขั้นตอนหลักและใช้น้ำในปริมาณสูง โดยการย้อมผ้าเป็นกระบวนการที่ใช้สีย้อมเป็นวัตถุดิบสำคัญ ร่วมกับน้ำและสารเคมีอื่นๆ ทำให้น้ำเสียมีการปนเปื้อนขององค์ประกอบต่างๆ จากกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสภาพแวดล้อม สิ่งที่เป็นปัญหามากกับน้ำเสียย้อมผ้า มีค่าบีโอดี ซีโอดี กรด ด่าง ฟีนอล สารแขวนลอย และความร้อนสูง ขึ้นกับสภาพและวิธีการในกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน เมื่อมองในแง่ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์โดยเฉพาะโรงงานในเมืองขนาดเล็ก สมรรถนะของระบบบำบัดซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สัดส่วนความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำเสีย ปริมาณสารเคมีที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน การบำบัดของเสียก่อนทิ้งจึงเป็นเรื่องยาก เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านต้นทุนการบำบัด

2.2 ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการฟอกย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอ หมายถึง อุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โดยวิธีการถัก ทอ เส้นใยต่างๆ ทั้งที่ได้จากธรรมชาติและที่ได้จากเส้นใยประดิษฐ์ โครงสร้างของอุตสาหกรรมต่อเนื่องนับตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ คือ เส้นใยแล้วนำมาทำการปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า จนถึงฟอกย้อม และแต่งให้สำเร็จให้พร้อมสำหรับการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป (บริษัท ปฤษฐธุรกิจ จำกัด, 2532)

อุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ โรงทอหรือโรงปั่น และโรงย้อม โรงทอหรือโรงปั่นจะทำการผลิตเส้นด้ายและผืนผ้าตามกรรมวิธีต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย และความต้องการของท้องตลาด ด้ายหรือผ้าที่ผ่านการปั่นหรือการทอเสร็จแล้วจะถูกนำเข้าสู่โรงย้อมเพื่อจัดเตรียมทำการย้อมและตกแต่งต่อไป

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอหรือฟอกย้อม ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมีที่อาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใช้น้ำ สารเคมี สีย้อมที่เหมาะสม และโดยอาศัยน้ำเป็น

ตัวกลาง อุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำมาก ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรม ประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 3 กระบวนการ คือ

1. การเตรียม กระบวนการที่สำคัญในการเตรียม ได้แก่

1.1 การเผาขน (Singeing) เป็นการทำให้ผ้ามีผิวเรียบ

1.2 การลอกแป้ง (Desizing) แป้งที่ติดอยู่บนเนื้อผ้ามาจากการลงแป้งบนด้ายในกระบวนการทอผ้า ทำให้เส้นด้ายแข็งตัวพอที่จะทนทานต่อการเสียดสีของเครื่องทอ เมื่อทอเป็นผ้าแล้วก่อนนำไปย้อมต้องนำไปลอกแป้งออกให้หมดเสียก่อน เพื่อให้ผ้าสามารถมีการย้อมติดสีดี

1.3 การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring) ได้แก่ การขจัดคราบน้ำมัน จี๊ดิน จี๊ผึ้ง กาว ฯลฯ ให้หมดไปจากเส้นใย

1.4 การฟอกขาว (Bleaching) เป็นการกำจัดสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

1.5 การชุบมัน (Mercerization) เพื่อเพิ่มความมันของวัสดุสิ่งทอ และทำให้วัสดุสิ่งทอดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้น

2. การให้สี กรรมวิธีการให้สีที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธี คือ

2.1 วิธีย้อม

2.2 วิธีการพิมพ์

3. การตกแต่งสำเร็จ เป็นขั้นตอนการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนคุณสมบัติสิ่งทอให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

2.2.1 การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต จะมีความแตกต่างกันไป กล่าวคือ

การผลิตเส้นใย มีอุตสาหกรรมการทอผ้าซึ่งไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตและอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ ได้แก่การผลิตเส้นใยวิสโคสเรยอน เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และเส้นใยไนลอน ในอุตสาหกรรมประเภทหลังนี้จะต้องมีการใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อสังเคราะห์สารที่จะนำมาอัดฉีดเป็นเส้นใย ปริมาณน้ำที่ใช้และความสกปรกของน้ำที่ต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่ผลิต เช่น การผลิตเส้นใยวิสโคสเรยอน จะมีปริมาณน้ำใช้มากกว่าการผลิตเส้นใยอีก 2 ชนิด เนื่องจากการอัดฉีดเส้นใยเป็นกระบวนการเปียก (wet-spinning) และภายหลังจากที่ได้เส้นใยออกมาแล้ว ยังต้องใช้น้ำในการชำระล้างและฟอกเส้นใยอีก ในขณะที่การอัดฉีดเส้นใยโพลีเอสเตอร์และเส้นใยไนลอนไม่

มีการใช้น้ำละลาย (melting-spinning) และเส้นใยที่ได้ก็มีความสะอาดสูง ไม่จำเป็นต้องทำการชำระล้างอีก การใช้น้ำใน 2 กรณีหลังนี้ จึงมีเฉพาะช่วงการทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อสังเคราะห์สาร โพลีเมอร์ที่ใช้เท่านั้น

การปั่นด้าย ไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

การทอผ้า-ถักผ้า สำหรับในการทอผ้า จำเป็นต้องมีการใช้น้ำในขั้นตอนการลงแป้งเส้นด้ายขึ้นก่อนการทอ แต่ปริมาณน้ำที่ใช้มีไม่มากนัก นอกจากนี้ก็ยังมีมีการใช้น้ำในการทอกรณีที่ทอด้วยเครื่องทอ 'water jet' แต่น้ำที่ใช้ในกรณีนี้เป็นน้ำสะอาด ส่วนในการถักผ้าไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

การฟอกย้อม-พิมพ์ ขั้นตอนนี้นับเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำมากที่สุดในกระบวนการผลิตทั้งหมด เนื่องจากต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการผลิตแทบทุกขั้นตอน และน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยกลับออกมาเป็นน้ำทิ้ง เรื่องน้ำทิ้งจึงเป็นปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมในกลุ่มนี้

การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป ไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

จากข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าปัญหาน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นปัญหาเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมฟอกย้อม-พิมพ์สิ่งทอเป็นหลัก ต่อไปนี้จะขอกล่าวถึงเรื่องน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมกลุ่มนี้เท่านั้น

2.2.2 แหล่งที่มาของน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีที่มาจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่งคือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อมโดยตรง น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนค่อนข้างสูง
- น้ำที่ใช้ในการซักล้าง ภายหลังจากการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยรวมแล้วจะต่ำกว่าในน้ำทิ้งประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

กระบวนการฟอกย้อมใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ย้อม ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรง ก็จะไปเพิ่มปริมาณน้ำย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำทิ้งที่สกปรกในที่สุด

3. น้ำหล่อเย็น

ในการฟอกย้อมอาจต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในเวลาอันสั้น โดยอาศัยน้ำหล่อเย็น

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่อง และทำความสะอาดโรงงาน

ในบางกรณีน้ำชนิดนี้ก็เป็นน้ำทิ้งที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสี ดังนั้นน้ำทิ้งที่มีปริมาณและความสกปรกมากที่สุด คือ น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยตรง

ตารางที่ 2.2.1 แสดงปริมาณสีย้อมชนิดต่างๆ ที่ติดมากับน้ำเสีย

ชนิดของสีย้อม	% การผนึกของสีกับเส้นใย	% สีในน้ำเสีย
Direct dyes	70-95	5-30
Sulfur dyes	60-70	30-40
Vat dyes	80-95	5-20
Azoic dyes	90-95	5-10
Reactive dyes	50-80	20-50
Acid dyes	80-93	7-20
Metal complex dyes	95-98	2-5
Cationic dyes	97-98	2-3
Disperse dyes	85-95	5-10

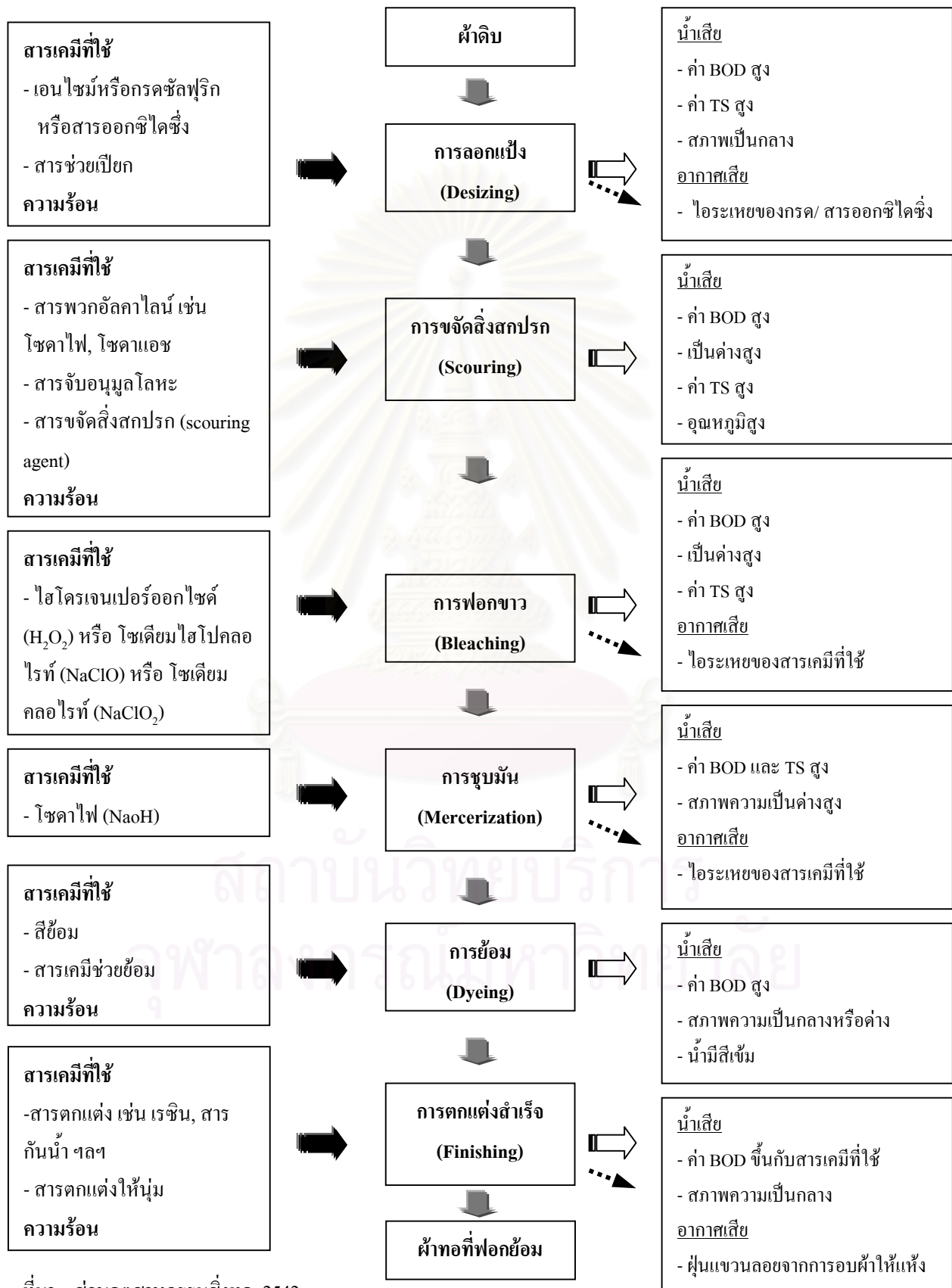
ที่มา : O' Neill, 1999

ตารางที่ 2.2.2 ลักษณะสมบัติโดยทั่วไปที่พบในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม

พารามิเตอร์	ช่วงที่พบ
อุณหภูมิ (°C)	10-90
COD (มก./ล.)	80-4000
BOD (มก./ล.)	50-2,000
TSS (มก./ล.)	20-500
SS (มก./ล.)	80-120
TDS (มก./ล.)	1,700-2,100
Color	สังเกตเห็น
NH ₃ (มก./ล.)	0-50
Phenol (มก./ล.)	0-12
PH	2-12

ที่มา : กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2535

แผนภูมิที่ 2.2.1 แสดงสารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้า



ที่มา: ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2542

2.2.3 ประเภทของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

นันทยา ยานูเมศ (2534) ได้จำแนกสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ที่น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม ดังนี้

1. สีย้อม เส้นใยจะดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วนที่เหลือจะคงอยู่ในน้ำย้อม และถูกปล่อยออกมาแก่น้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อมที่ใช้
2. สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้จะมีอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหรือน้ำซักล้างและจะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย
3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ นอกจากนี้ในขั้นตอนการผลิตก็ยังมีสารเติมแต่งต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น สารหล่อลื่น
4. เศษเส้นใย ในน้ำทิ้งมักประกอบด้วยเศษเส้นใยที่หลุดออกมาด้วย
5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ เช่น น้ำยาจักรอยเประอะเป็อนบนผ้า น้ำยาที่ใช้ในการล้างเครื่อง

ตารางที่ 2.2.3 แสดงสารเคมีที่พบในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

	กระบวนการ	สารเคมีที่ใช้
1.	การถักผ้า	สารหล่อลื่น
2.	การทอผ้า	สารลงแป้งชนิดต่างๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งฟิวเรอ แป้งอะคริลิก
3.	การลอกแป้ง	สารเอนไซม์ สารออกซิไดซิงส์ สารช่วยการเปียก
4.	การขจัดไขมันและสิ่งสกปรก	ด่างโซดาไฟ สารน้ำสบู่
5.	การฟอกขาว	สารออกซิไดซิงส์ (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียมคลอไรท์ โซเดียมไฮโปคลอไรท์) โซเดียมซัลไฟด์ สารจับอนุมลโลหะ
6.	การชุบมัน	ด่างโซดาไฟ
7.	การทำ 'burn-out'	กรดซัลฟูริก
8.	การย้อม	กรด (ซัลฟูริก อะซิติก) ด่าง (โซดาไฟ โซเดียมคาร์บอเนต) สารแคโรเจอร์ สารรีดิวซิงส์ (โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ โซเดียมซัลไฟด์) เกลือ (โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต) สารกันด่าง (levelling agent) สารชะลอการติดของสี (retarders) สารผนึกสี (fixing agent)
9.	การพิมพ์	แป้งพิมพ์ (thickening agent) ใต้แก่ พวกอัลจินต สารรีดิวซิงส์ (ใช้ในการพิมพ์แบบดิสซาร์จ) ใต้แก่ โซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ซัลฟอก น้ำมันก๊าด (ใช้ในการพิมพ์สีฟักเมนต์)
10.	การตกแต่งสำเร็จ	สารตกแต่งนุ่ม กันยับ กันไฟ ตกแต่งขาว (Fluorescent brightening agent)

ที่มา : นันทยา ยานูเมศ, 2535.

2.2.4. การย้อมสีและการจำแนกสีย้อม

การย้อมสีสิ่งทอ เป็นการทำให้วัสดุสิ่งทอเกิดสีขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการคือ ได้สีสม่ำเสมอและมีความคงทนต่อการใช้งานและการผลิตขั้นต่อมา เช่น กระบวนการตกแต่งสำเร็จ

นอกจากวัตถุประสงค์หลักแล้วยังควรคำนึงถึงด้านอื่นด้วย เช่น ความสามารถในการย้อมซ้ำ ต้นทุนการย้อม กระบวนการและวิธีการย้อมที่ถูกต้องเหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อม รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการย้อม

2.2.4.1 สีย้อม (Dyes)

สีย้อมเริ่มแรกมาจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน ผ่านการสกัดแล้วจะได้สารไฮโดรคาร์บอนออกมา ที่สำคัญได้แก่ เบนซีน ไซลีน แอนทราซีน โทลูอิน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว สารเหล่านี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับกระบวนการไนเตรชัน แอมมิเนชัน เพื่อเปลี่ยนสภาพจากสารไฮโดรคาร์บอนไปเป็นสารตัวกลาง และเปลี่ยนตัวเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ

คุณลักษณะของสีย้อม

สีย้อมที่ดีควรมีลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. มีความเข้มสูง
2. ละลายน้ำได้หรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้
3. มีแรงดึงดูดหรือมีแรงยึดกับเส้นใย
4. คงทนต่อการซักและการใช้งาน
5. คงทนต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อมา
6. ให้ความปลอดภัย ความสะดวกในการใช้งานและมีราคาเหมาะสม

โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลสี

โครงสร้างทางโมเลกุลสีนั้นประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. พันธะคู่สลับ (conjugated double bonds)
2. หมู่ปฏิกิริยาที่เรียกว่าโครโมฟอร์ (chromophore)
3. หมู่ปฏิกิริยาที่เรียกว่าอโซโครม (auxochromes)

ทั้งโครโมฟอร์และอโซโครมต่างเชื่อมอยู่กับพันธะคู่สลับ ทั้ง 3 ส่วนนี้เรียกรวมกันว่า โครโมเจน (chromogen) ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลสีเช่น C.I. Acid Red 1

2.2.4.2 การจำแนกสีย้อม (Dye Classification)

การจำแนกชนิดของสีย้อม (dye classification) มีหลายระบบด้วยกัน เช่น จำแนกตามแหล่งกำเนิด ตามกลุ่มเคมี ภายในโครงสร้างหรือการใช้งาน ระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นระบบที่ใช้ในดัชนีสี (Color Index) ซึ่งแบ่งตามการใช้งานดังนี้ คือ สีแอซิด (acid dyes) สีเอโซอิก (azoic dyes) สีเบ

สีดึก (basic dyes) สีไคเร็กท์ (direct dyes) สีดิสเพิส (disperse dyes) สารสี (pigment) สีรีแอคทีฟ (reactive dyes) สีซัลเฟอร์ (sulphur dyes) สีแวต (vat dyes) ตัวอย่างเช่น

ก. สีดิสเพิส

สีดิสเพิสเป็นสีที่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องได้น้อยมากแต่สามารถกระจายตัวในน้ำได้ มีแรงยึดกับเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำบางชนิด เช่น พอลิเอสเตอร์ เป็นสีที่น้ำหนักโมเลกุลไม่สูง ส่วนใหญ่หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 150-250 °C และระเหิดได้โดยไม่สลายตัว การละลายของสีชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เช่น ที่ 80 °C สามารถละลายได้ตั้งแต่ 0.2 มก./ล. ถึง 1 ก./ล. แต่ที่ 130 °C ละลายได้หมด

ข. สีไคเร็กท์

สีไคเร็กท์เป็นสีที่ละลายน้ำได้และแสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาพสารละลายมีแรงยึดกับเส้นใยเซลลูโลส วิธีการย้อมไม่ยุ่งยาก ใช้สารช่วยย้อมเพียงชนิดเดียวเท่านั้นคือ เกลือแกง หรือโซเดียมซัลเฟต การที่สีไคเร็กท์ยึดติดกับเส้นใยเซลลูโลสได้นั้น มาจากแรงดึงดูดจำนวนมากของพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล แต่แรงดึงดูดนี้ไม่แข็งแรงประกอบกับคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ของสีไคเร็กท์ จึงมีแนวโน้มที่สีจะหลุดออกมาจากภายในเส้นใยทำให้เป็นสีที่ไม่คงทนต่อการซัก แต่ความไม่คงทนต่อการซักนี้สามารถปรับปรุงได้ โดยการใช้สารที่มีประจุบวกให้มารวมตัวกับสีได้โครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น แต่ความคงทนนี้ไม่ได้ดีอย่างถาวร ดังนั้นในปัจจุบันจึงมักใช้สีไคเร็กท์กับการย้อมสีอ่อนๆ

ค. สีรีแอคทีฟ

สีรีแอคทีฟเป็นสีที่มีประจุลบละลายน้ำได้ สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในเส้นใยเซลลูโลส ได้พันธะโคเวเลนต์ที่มีความแข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างสีไคเร็กท์กับเส้นใยเซลลูโลสมากทนต่อการซักดี สีรีแอคทีฟใช้อย่างกว้างขวางกับผ้าฝ้าย 100% และใช้ร่วมกับสีดิสเพิส ในขั้นตอนการย้อมสีรีแอคทีฟนั้นเกิดขึ้นในสถานะที่เป็นกลางโดยมีเกลือเป็นตัวส่งเสริมการย้อม หลังจากย้อมสีแทรกซึมเข้าในเส้นใยสม่ำเสมอแล้ว ทำให้การใส่สารละลายต่างลงไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้พันธะโคเวเลนต์ เมื่อได้สีตามต้องการหยุดกระบวนการย้อมและพ่นก๊าสแล้วต่อด้วยการล้างสีและสารเคมีต่างๆ ที่เหลืออยู่ออก รวมทั้งการขจัดสีที่ไม่เกิดพันธะกับเส้นใยออกด้วย

ง. สีเบสิค

สีเบสิคหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า cationic dyes เนื่องจากเป็นสีที่ให้ประจุบวกเมื่อแตกตัวในน้ำ ย้อม และส่วนที่เป็นประจุบวกของสีเป็นส่วนที่เกิดพันธะกับเส้นใย ลักษณะเด่นของสีกลุ่มนี้คือมีความเสถียรสูง แต่มีความคงทนต่อแสงต่ำ สำหรับสีเบสิคที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ได้รับการปรับปรุงให้มีความคงทนต่อแสงดีขึ้น แล้วนิยมใช้ในการย้อมเส้นใยอะคริลิก (acrylic fiber) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังสามารถย้อมเส้นใยไหมและขนสัตว์ได้อีกด้วย สีเบสิคมีคุณสมบัติเด่น คือ สีสว่างสดใสและมีความเข้มสูง ละลายได้ง่ายในแอลกอฮอล์แต่ละลายในน้ำได้ยาก ในการละลายควรทำด้วยความระมัดระวัง เพราะถ้าเกิดเป็นยางเหนียวๆ แล้วจะละลายได้ยากและน้ำที่ใช้ในการละลายสีหรือในการย้อมไม่ควรมีสถานะ

เป็นต่าง เนื่องจากสีเบสติดสลายตัวในสารละลายต่างได้สารไม่มีสีที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย เมื่อทิ้งไว้สักครู่ จะเกิดตกตะกอน ดังนั้นถ้ามีสีสถานะเป็นต่าง ควรทำให้เป็นกลางด้วยกรดแอซิดิกก่อน

2.2.4.3 สารช่วยย้อม (Additive)

สารช่วยย้อมที่ใส่ในกระบวนการย้อมผ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้มีการดูดติดสีได้มากขึ้นและสม่ำเสมอขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความคงทนในการยึดเกาะของสีกับเส้นใยอีกด้วย สารช่วยย้อมมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

1. กรด ใช้สำหรับการย้อมเส้นใยจำพวกโปรตีนและไนลอน เมื่อใช้ย้อมแอซิด
2. ด่าง ใช้สำหรับย้อมใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมเบสิก แวด กำมะถัน อะโซอิก ดิสเพิส
3. เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีเบสิก และการย้อมเซลลูโลสทุกชนิด
4. สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวด แอซิด ดิสเพิส
5. สารนำสี (carrier) จะใช้เมื่อย้อมใยสังเคราะห์บางชนิด
6. สารละลายอินทรีย์ จะใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
7. สารรีดิวซ์ ใช้สำหรับรีดิวซ์ตัวสีบางชนิด เพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

ตัวแปรที่สำคัญในการย้อมสี

1. ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีย้อม

โดยทั่วไปสีย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมเส้นใยประเภทโปรตีน เช่น ขนสัตว์ ไหม นั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเส้นใยประเภทเซลลูโลส สีย้อมที่เหมาะสมกับการย้อมไหม ขนสัตว์ ฝ้ายและเรยอนส่วนใหญ่จะไม่สามารถย้อมเส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมาได้ สีย้อมประเภทดิสเพิสก็เหมาะสำหรับเส้นใยประเภทอะซิเตทหรือ โพลีเอสเทอร์ และก็ไม่เหมาะที่จะนำมาย้อมฝ้ายหรือขนสัตว์

2. การใช้สารช่วยอื่นๆ

สืบเนื่องมาจากกระบวนการย้อมสี ความสม่ำเสมอของสีขึ้นกับ ค่าพีเอชของน้ำย้อมหรือความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ การใช้สารเพิ่มความสม่ำเสมอใช้ได้ดีกับการย้อมเส้นใยหลายระบบ สารเคมีที่เป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน จะถูกนำมาใช้ในการควบคุมปริมาณการใช้ ออกซิเจนในกระบวนการย้อม สารเคมีที่ใช้สำหรับการขยายตัวจะใช้กับเส้นใยโพลีเอสเทอร์เพื่อที่จะช่วยให้เส้นใยดูดซับสีย้อมได้ดีขึ้น

3. อุณหภูมิในการย้อมสี

ในแต่ละระบบการย้อมสีก็จะมีลักษณะแตกต่างเฉพาะแบบกันออกไป การย้อมที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยให้การย้อมสีติดมากขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้สีย้อมกระจายหรือซึมผ่านได้ดีขึ้น

4. น้ำย้อม/พื้นผิวสัมผัส

ลักษณะและอัตราการหมุนเวียนของของเหลวเช่น ในเครื่อง Jet เครื่อง Beam หรือ Package จะทำหน้าที่ควบคุมความสม่ำเสมอของสีย้อมให้คงที่

5. วิธีการต่างๆ และเทคนิคในการย้อมสี

มีวิธีการและเทคนิคหลายอย่างที่ทำให้สีย้อมติดแน่นบนเส้นใยอย่างถาวร แต่ละวิธีจะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง

6. อัตราส่วนของของเหลว

อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ในขณะที่ย้อมสีมีผลกระทบต่อการใช้สีทุกชนิด อัตราส่วนของของเหลวถูกกำหนดโดยชนิดของเครื่องที่ใช้ การใช้อัตราส่วนของของเหลวในอัตราที่ต่ำจะทำให้ปริมาณการใช้สีรีแอคทีฟเป็นไปอย่างประหยัด ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในอ่างย้อม

2.2.5 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

กฏาณินา ครองธรรมชาต (2535) จําแนกมลภาวะที่เกดจากน้ำเสยโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ดังนี้

1. ความเป้นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (toxic to stream life) น้ำเสยจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำและจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบอนินลิเป็นต้น

2. การลดของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (oxygen depletion in stream water) น้ำเสยจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลเฟอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง (physical impairment of stream condition) น้ำเสยจากโรงย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดความรู้สึกพึงรังเกียจต่อผู้พบเห็น ทำให้สภาพลําน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สีย้อมที่มีความเข้มสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

สำหรับสีของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอนี้ เกิดจากกระบวนการฟอกย้อมสี (dyeing) ซึ่งอนุภาคของสีย้อมเหล่านี้จะละลายเจือปนและแขวนลอยอยู่ในน้ำทิ้ง เป็นสาเหตุให้น้ำทิ้งเกิดสีขึ้นรวมทั้งความสกปรกจากการปนเปื้อนของสารเคมีด้วย ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์นี้จะสามารถกำจัดให้มีค่าความ

สกปรกตกลงได้ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ค่าซีโอดีในน้ำที่เกิดจากสีข้อมและสารช่วยข้อมซึ่งมีอยู่หลายประเภทและจะมีการใช้งานไม่เหมือนกันในแต่ละโรงงานก็จะใช้สีข้อมและสารช่วยข้อมแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการผลิตซึ่งประเภทของสีข้อมและสารช่วยข้อมนี้มีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียมาก ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกข้อมสิ่งทอเพื่อลดค่าซีโอดี จึงมีความจำเป็นมากที่จะต้องศึกษาประเภทของสีข้อมและสารช่วยข้อมที่ใช้ในโรงงาน

2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment Process)

ระบบบำบัดน้ำเสียในสมัยแรกๆ ประมาณ 200 ปีที่แล้วมา ได้รู้จักการใช้สารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) และอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย แต่ก็มีปัญหาอยู่ที่ไม่สามารถกำจัดมลสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (soluble organics) ออกได้ ทำให้ในระยะต่อมาได้เปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแทน จนกระทั่งเมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้เริ่มให้ความสนใจในการใช้กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีมากขึ้น เพื่อลดมลสารอาหารเสริม (nutrients) เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และใช้ในการปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) ช่วยในการตกตะกอน และกำจัดสารโลหะต่างๆ ที่มีมากขึ้นในน้ำเสีย

วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. สร้างตะกอนให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย (coagulation and flocculation)
2. ทำให้มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำตกตะกอน (precipitation) หรือทำให้ไม่ละลายน้ำ (insolubilization)
3. ปรับสภาพของน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ปรับค่าความเป็นกรดค่า (pH) เติมอาหารเสริม (nutrients)
4. ฆ่าเชื้อโรค (disinfection)
5. ปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยตะกอน และ/หรือ แยกเอาน้ำออกจากตะกอน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี มีหลักการทำงานที่แน่นอนไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมมากเหมือนกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ดังนั้นผู้ควบคุมการทำงานของระบบ จึงจะต้องทราบทฤษฎีหลักการทำงานตลอดจนขั้นตอนต่างๆ เป็นอย่างดี ว่าการใส่สารเคมีลงไปแล้วจะทำให้เกิดผลตามที่ต้องการได้อย่างไร ซึ่งหากทราบทฤษฎีเป็นอย่างดีจะไม่เกิดปัญหาในการควบคุมหรือเกิดขึ้นก็สามารถทราบสาเหตุและวิธีแก้ไขได้โดยง่าย

2.4 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีหรือโคแอกกูเลชัน (Chemical Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน หมายถึง กระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ

1. การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่ง เป็นต้น

2. การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากกระทบสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม เมื่ออนุภาคต่างๆ สัมผัสกันแล้วควรเกาะติดกันแน่นและหลุดน้อยที่สุด

ความสำคัญของทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเท่าเทียมกัน และต้องมีทั้ง 2 ขั้นตอนจึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ปฏิกิริยา coagulation จะเกิดเกือบสมบูรณ์เมื่อสารเคมีละลายน้ำได้หมด โดยในขั้นแรกจะเกิดตะกอนขนาดเล็กและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดการลดประจุไฟฟ้าของอนุภาค และ Brownian movement จากนั้นจึงส่งเข้ากระบวนการ flocculation เพื่อกวั่นช้าๆ ให้อนุภาคมาชนกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น จนสามารถแยกออกได้ง่าย

การที่จะแยกอนุภาคออกจากของเหลวได้นั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้การแยกโดยถังตกตะกอน แต่ถ้าจะแยกอนุภาคออกโดยการตกตะกอนและอาศัยแรงดึงดูดของโลกแล้ว ขนาดของอนุภาคที่จะแยกจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอและตกตะกอนได้ง่าย จึงทำให้ต้องอาศัยกระบวนการ coagulation และ flocculation ร่วมกัน

แรงที่กระทำต่ออนุภาค นอกจากแรงดึงดูดของโลกแล้วยังมีแรง electrostatic และ interionic ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาค ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็กมาก แรงทั้งสองจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของโลก ทำให้เกิดแรงยี้ระหว่างอนุภาค จนไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้นจึงต้องใส่สารเคมี (coagulant) ลงไปเพื่อลด (destabilize) แรงที่กระทำที่ผิวโดยประจุไฟฟ้า ทำให้อนุภาคสามารถมาสัมผัสและรวมตัวกันให้ใหญ่ขึ้นได้

2.4.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์

มันนิน ตัณฑุลเวศม์ (2526) ได้กล่าวถึงเสถียรภาพของคอลลอยด์ และการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ไว้ว่า การที่อนุภาคคอลลอยด์ สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ซึ่งอาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน หรือฟลอค ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ในน้ำอนุภาคคอลลอยด์จะมีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคและแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคมีประจุชนิดเดียวกัน จึงเกิดการผลักรัน บทบาทของแรงทั้งสองมีผลต่อเสถียรภาพของคอลลอยด์ แรงผลักระหว่างอนุภาคจะสูงกว่าแรงดึงดูด จึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อน หรือฟลอคได้ ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้ง 2 ชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ แต่ถ้าหากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูง หรือมีชั้นกระจาย (diffuse layer) หนาจะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคสูงกว่าแรงดึงดูด

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์แตกต่างจากตะกอนแขวนลอย อะตอม และโมเลกุลขนาดเล็กทั้งขนาดและคุณสมบัติทางไฟฟ้า อนุภาคคอลลอยด์อาจมีทั้งประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่พบในงานด้านสิ่งแวดล้อมมักเป็นประจุลบ และเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก (อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) ตัวอย่างของอนุภาคประจุลบในน้ำ คือ ความขุ่นในน้ำผิวดิน ส่วนอนุภาคประจุบวกมักเป็นอินทรีย์สารอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก

อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า จึงทำให้มีแรงดันระหว่างอนุภาค เป็นสาเหตุให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำ โดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน หรือฟลอค (floc) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ

2. Electric Double Layer Theory

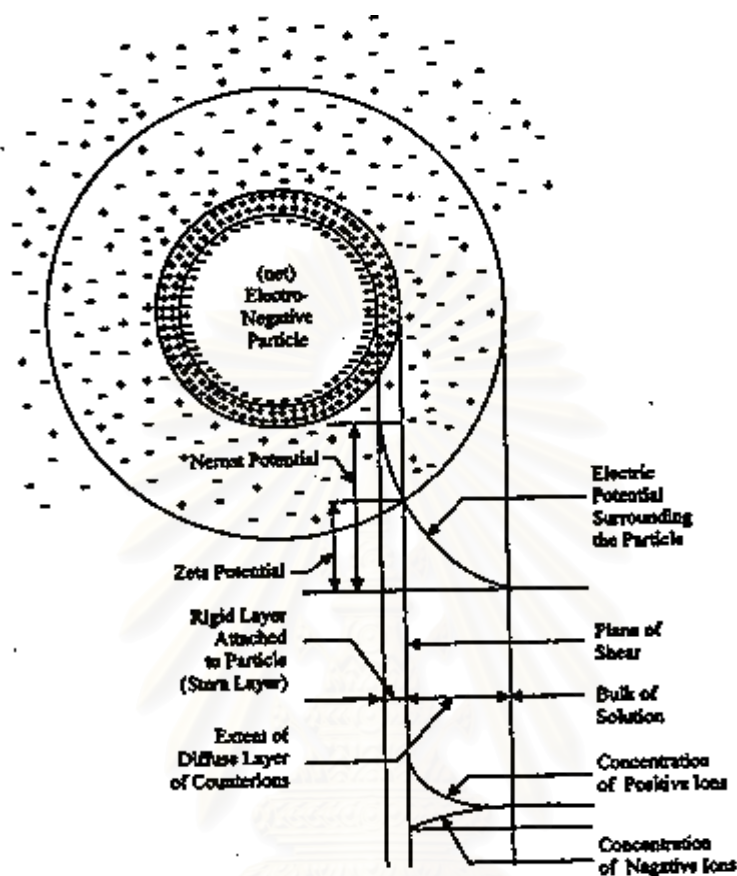
ความแตกต่างระหว่างคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกและแบบไฮโดรฟิลิก คือ เสถียรภาพ (Stability) ของคอลลอยด์ คอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกจะมีเสถียรภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างอนุภาคชนิดเดียวกัน ส่วนเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิกจะเกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค (Particle Solvation) ความแตกต่างดังกล่าวมีความสำคัญมากต่อกลไกในการทำลายเสถียรภาพ

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์ คือ Electric Double Layer Theory พิจารณาคอลลอยด์ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งอนุภาคนี้สามารถสร้างแรงดึงที่ทำให้ไอออนประจุ

บวก (ประจุตรงกันข้าม) ที่อยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาทำให้ประจุบวกมาแออัดอยู่ใกล้อนุภาคคอลลอยด์ อีออนบวกนี้ เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นของอีออนบวกสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาค ทั้งนี้เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (Nernst Potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป

ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของคอลลอยด์ ทำให้การกระจายตัวของอีออนบวกและลบเป็นไปตามปกติ ตามทฤษฎีของ Double Layer นั้นเชื่อว่าอีออนบวกชั้นในสุดไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะอีออนบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์กับจุดศูนย์กลางของอีออนที่อยู่ใกล้ที่สุด (ขึ้นอยู่กับขนาดของอีออน) คล้ายมีเปลือกทรงกลมบางขวางอยู่ เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า Stern Layer และถือว่าเป็นชั้นในสุด ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกนี้มีค่าเท่ากับ Stern Potential ส่วนเปลือกชั้นนอกมีชื่อเรียกว่า ชั้นกระจาย (Diffuse Layer) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์)

ขนาดของประจุไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์หรือ Nernst Potential ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่อาศัยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า (Electrophoretic Mobility) และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้ เรียกว่า ซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential, Z_p) ซีตาโพเทนเชียล หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่ผิว (หรือเปลือก) นอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ผิววนอกสุดนี้เรียกว่า Plane of Shear ดังแสดงในรูปที่ 2.4.1 ตำแหน่งที่แน่นอนของ Plane of Shear ยังไม่เป็นที่ทราบ ประมาณว่าอยู่นอก Stern Layer แต่ยังอยู่ใน Diffuse Layer อย่างแน่นอน บทบาทของซีตาโพเทนเชียลมีมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซีตาโพเทนเชียลใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงหรือคอลลอยด์มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูง จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลต่ำ และทำให้รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ง่าย

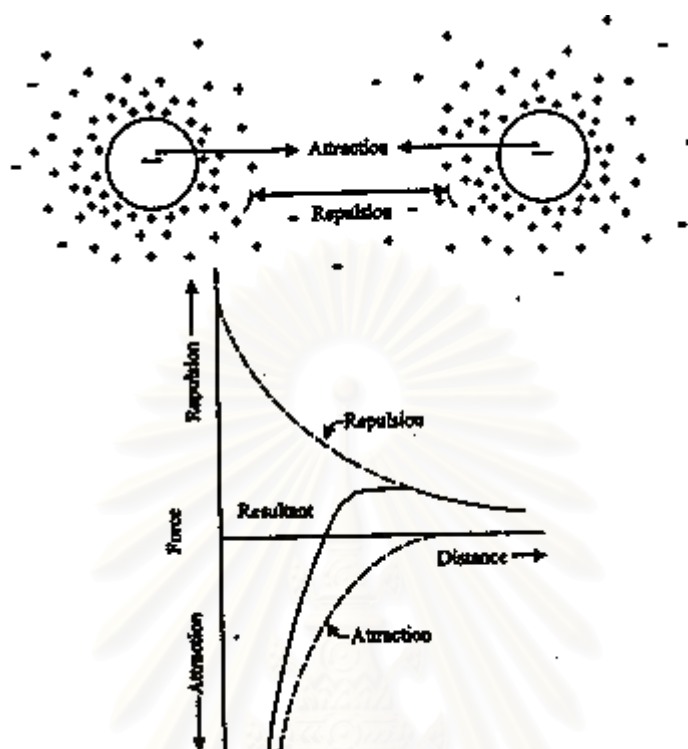


ที่มา : Amirtharajah, A. and O'Melia, C.R., 1990.

รูปที่ 2.4.1 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory

3. เสถียรภาพของคอลลอยด์

เมื่อคอลลอยด์ยังคงมีเสถียรภาพ จะสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนในระยะเวลายาวนาน แต่เมื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ทำให้เกิดการตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำ ดังนั้นเสถียรภาพของคอลลอยด์ จึงขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค ถ้าคอลลอยด์มีเสถียรภาพ แสดงว่ามีแรงผลักสูงกว่าแรงดูด แต่ถ้าอนุภาคมีแรงดูดมากกว่าแรงผลัก ทำให้สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ได้ ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงดูดระหว่างอนุภาค เรียกว่า แรงวันเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Force) เป็นแรงอ่อน ที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซิดาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.4.2



ที่มา : Samuel, D.F. and Osman, M.A., 1983.

รูปที่ 2.4.2 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ

แรงดูดมีอำนาจเหนือแรงผลักก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ โดยปกติแรงผลักซึ่งเกิดจากซีตาโพเทนเชียล จะไม่ยอมให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้กันจนเกิดการดูดเข้าหากัน

4. การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

- 4.1 การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)
- 4.2 การดูดติดและการทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption/Charge Neutralization)
- 4.3 ใช้ฟลิกสารอนินทรีย์เพิ่มน้ำหนัก และขนาดของอนุภาคคอลลอยด์
- 4.4 ใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (Polymer Bridging)

4.1 การลดความหนาของชั้นกระจาย

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคเป็นการเพิ่มความหนาของ Counter Ion ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง ทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.4.3

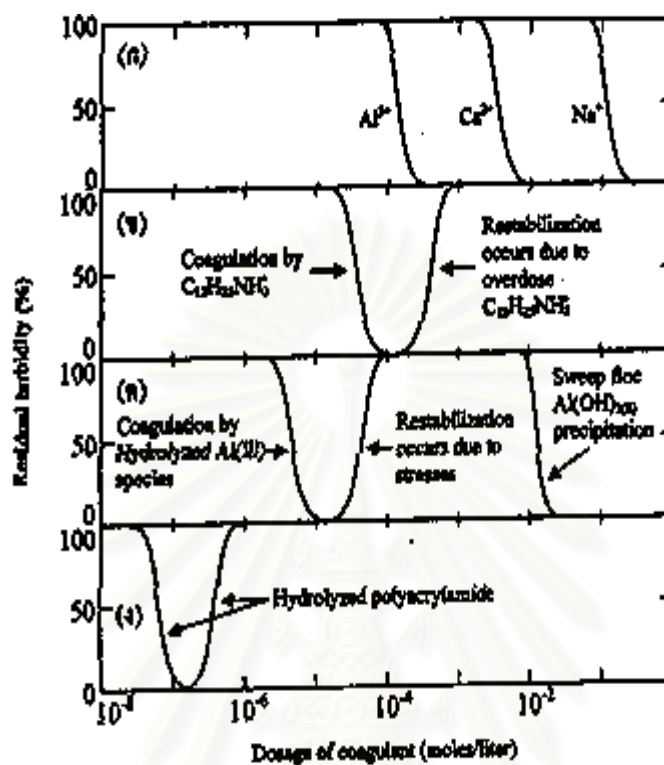


ที่มา : มั่นสิน ตันทุลเวศน์, 2527.

รูปที่ 2.4.3 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์

(ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากเติมไอออนแล้ว

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ทำให้อำนาจของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ไอออนต่างๆ มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจาย (ซึ่งเท่ากับลดซีตาโพเทนเชียล) ได้ไม่เท่ากัน ไอออนที่มีวาเลนซ์ (Valence) 1, 2 และ 3 มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจายเป็นสัดส่วน 1 : 10 : 1000 ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น Al^{+3} จะให้ผลดีกว่า Ca^{+2} ถึง 1000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 2.4.4



ที่มา : Samuel, D.F. and Osman, M.A., 1983.

รูปที่ 2.4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วย
กลไกแบบต่างๆ

ข้อที่ควรคำนึงถึง คือ อีออนบวกดังกล่าวไม่ได้อยู่ในรูปอิสระในน้ำ เนื่องจากอีออนบวกเหล่านี้มักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ เช่น Al^{3+} มีน้ำ 6 โมเลกุล จับกันอยู่ (เรียกว่า Aqua Complex) ดังนั้นสูตรโมเลกุลที่ถูกต้อง คือ $Al(H_2O)_6^{3+}$ แต่การเขียนสูตรโมเลกุลโดยที่มี H_2O อยู่ด้วย มักเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและไม่นิยม จึงมักละเว้นการเขียนโมเลกุลของน้ำ การที่ Al^{3+} หรือโลหะอื่นๆ มีน้ำจับรวมอยู่ด้วยเป็นข้อเสียเพราะทำให้อีออนบวก (ของโลหะ) ไม่สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ โมเลกุลของน้ำเป็นเหมือนเกราะป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับอีออนบวก อีออนบวกต่างๆ จึงอากันอยู่ในชั้นกระจาย และไม่สามารถทำลายประจุลบของคอลลอยด์ได้ดีเท่าที่ควร การลดโมเลกุลของน้ำในสารประกอบเชิงซ้อน (Aqua Complex) ช่วยทำให้อีออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น เช่น $Al(OH)(H_2O)_5^{2+}$ สามารถเกาะติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่ $Al(OH)(H_2O)_6^{3+}$ ไม่

สามารถทำได้ ด้วยเหตุนี้ในรูปที่ 2.4.4 (ค) จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ หรือ $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ หรือ สารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆ สลับเปลี่ยนน้อยกว่า Al^{3+} ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพโดยลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่างๆ มีข้อที่น่าสนใจดังนี้

ก) ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยวิธีการลดความหนาของชั้นกระจายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์

ข) อนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถเปลี่ยนสภาพจากประจุลบไปเป็นประจุบวกได้ (Charge Reversal) ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใดก็ตาม

4.2 การทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (กลไกแบบดูดติดผิว)

อนุภาคคอลลอยด์สามารถดูดติด (Adsorb) สารเคมีบางชนิดไว้ที่ผิวได้ ถ้าสารเคมีนั้นมี ประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนี้นี้แตกต่างจากกลไกแบบแรกที่กำลังกล่าวไว้ในข้อ 4.1 (ซึ่งไอออนต่างประจุหรือ Counter Ion อยู่ในชั้นกระจายโดยไม่ดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์) 3 ประการ ดังนี้

ก) กลไกแบบดูดติดผิวต้องการไอออนที่ต่างชนิดน้อยกว่าแบบแรก เนื่องจากไอออนต่างประจุ สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคได้

ข) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดติดผิวนั้นเป็นแบบสโตยชิโอเมตริก (Stoichiometric) ปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้จะมากหรือน้อยตามปริมาณของอนุภาคคอลลอยด์ (ที่ถูกควรเป็นพื้นที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์) แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่ เป็นไปตามสโตยชิโอเมตริก

ค) กลไกแบบดูดติดผิว สามารถเปลี่ยนประจุอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิม โดยการใส่สารสร้างตะกอนที่มากเกินไป โดยกลไกแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนประจุเป็นตรงกันข้าม อาจเป็นเพราะจำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกจำกัดด้วย ศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ไอออนต่างประจุ (สารสร้างตะกอน) ส่วนที่เติมเกินพอจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้น ไม่ว่าจะใส่สารสร้างตะกอนมากเท่าใดก็ไม่สามารถเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามได้ ข้อควรสังเกตเกี่ยวกับการเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ของกลไกแบบดูดติดผิว ก็คือ การที่ไอออนต่างประจุ สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนเป็นตรงกันข้ามย่อมแสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมี ระหว่างไอออนต่างประจุกับอนุภาคคอลลอยด์ จนเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้

4.3 การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น

ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอ จะเกิดการตกผลึกลงอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่ม

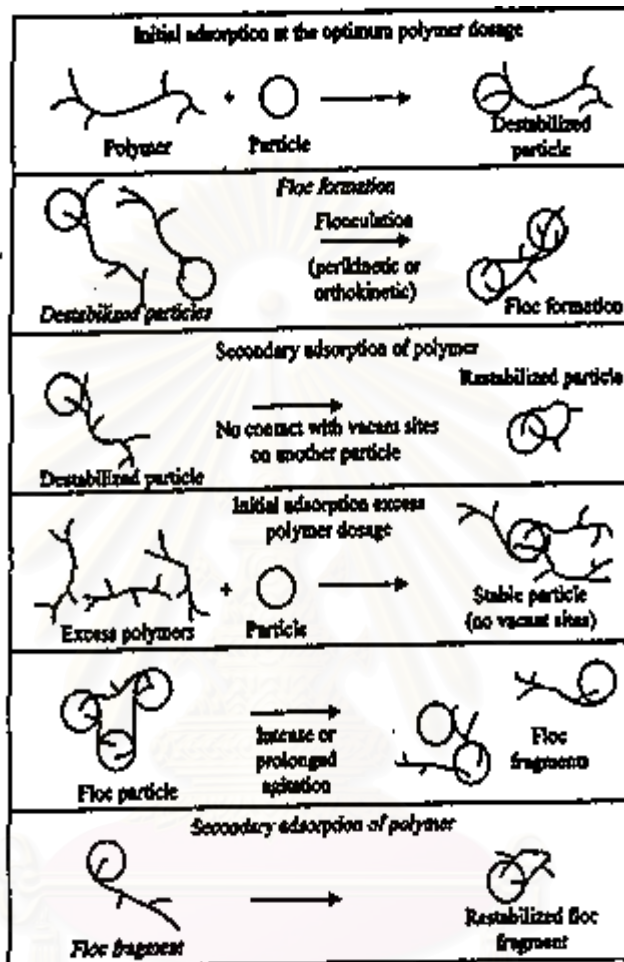
ขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนได้ สารสร้างตะกอนดังกล่าว เช่น สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว สามารถทำให้เกิดการโคแอกกูเลชันได้โดยการสร้าง $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Mg(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ซึ่งล้วนแต่เป็นผลึกสาร (Precipitation) ที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้มักเรียกว่าเป็น Sweep Flocculation หรือ Sweep Coagulation

กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยต้องใช้สารสร้างตะกอนจำนวนมาก จึงจะเกิดการรวมการโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้าม น้ำที่มีปริมาณสารมากอาจใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนน้อยกว่า เพราะน้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยจะมีโอกาสที่จะสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้ว แต่กระบวนการโคแอกกูเลชันอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนสูง เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีปริมาณมลสารอยู่มาก โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก

เนื่องจากกลไกแบบนี้ไม่จำเป็นต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ กระบวนการโคแอกกูเลชันจึงไม่จำเป็นต้องเกิดในขณะที่ค่าซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุด แต่ค่าที่มีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกนี้คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากความสามารถในการตกผลึกของสารต่างๆ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

4.4 การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยสารอินทรีย์ ทั้งที่เป็นสารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองที่เรียกว่า Polymer Bridging ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4.5



ที่มา : Samuel, D.F. and Osman, M.A., 1983.

รูปที่ 2.4.5 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์

ตามทฤษฎี โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง (ปฏิกิริยาที่ 1) การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับกับอนุภาคตัวอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็น

สะพานเชื่อม (ปฏิกิริยาที่ 2) การเชื่อมต่อดัวยโพลีเมอร์เกิดขึ้นได้ตลอดเท่าที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างที่ผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่สำหรับเกาะจับอนุภาคอื่น (ไม่ว่าจะเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม (ปฏิกิริยาที่ 3) ซึ่งทำให้เสียประโยชน์ 2 ประการ คือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้ตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะมีน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่างเรียกว่า อนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) การใช้สารโพลีเมอร์มากเกินไป ทำให้โพลีเมอร์หลายโมเลกุลไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น (ปฏิกิริยาที่ 4) การกวนน้ำที่แรงเกินไปหรือนานเกินไปทำให้ฟลอคที่เกิดขึ้นมาแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ (ปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม (ปฏิกิริยาที่ 6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่

2.4.2 การเลือกใช้สารสร้างตะกอน

สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ เช่น โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์หรือ PACI เป็นสารตัวใหม่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสะดวกในการใช้งานเพราะมีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตัวตะกอนสูง ตกตะกอนเร็วกว่าสารส้มใช้เวลาในการกวนเร็ว น้อย ละลายน้ำได้ดี แต่ราคาค่อนข้างสูง กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ เช่น เฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 4-9 ตะกอนเคมีของ Ferric มีน้ำหนักมากพอสมควรทำให้ตกตะกอนได้ดี และการใช้ปูนขาว (Lime) เพื่อทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งวิธีนี้ปกติจะใช้ในการกำจัดฟอสเฟตเท่านั้น แต่ก็สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสารอินทรีย์เพื่อลดค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยได้ด้วย ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าซีโอดีควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการเลือกใช้สารเคมีเพื่อลดต้นทุนและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในปัจจุบันสารสร้างตะกอนจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์

เมื่อเติมสารสร้างตะกอนในกลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ลงในน้ำโมเลกุลของมันจะแตกตัวเป็น อลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และสารประกอบเชิงซ้อนจำนวนมาก (Complex ion) อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ที่ใช้จะมีหลายชนิดเช่น

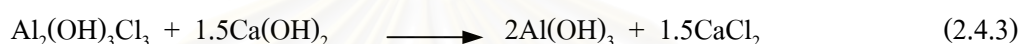
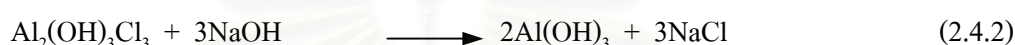
1.1 aluminium sulphate ($Al(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) หรือสารส้ม (alum) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Filter alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) ซึ่งละลายน้ำก็ได้

1.2 liquid alum จะมี water-soluble alumina (Al_2O_3) อยู่ 5.8-8.5 % ราคาถูกกว่าชนิดแรก

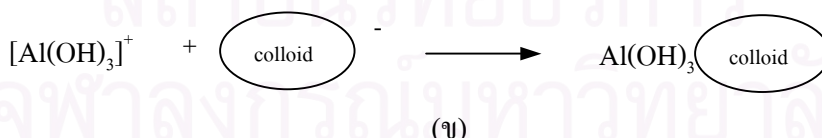
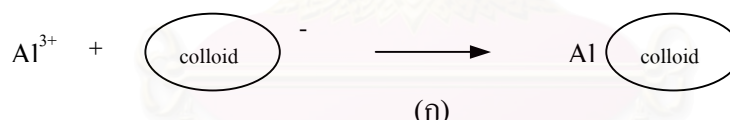
1.3 sodium aluminate ประกอบด้วย Al_2O_3 ซึ่งทำให้อยู่ตัวด้วย NaOH สารตัวนี้ไม่ใช่โคตๆ มักใช้คู่กับสารส้ม เพื่อให้ได้ผลที่ดี

1.4 activated silica มักใช้ร่วมกับ alum ทำให้การตกตะกอนเกิดเร็วขึ้น

1.5 PACl เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าโคแอกกูแลนต์ตัวอื่นๆ สร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีสูตรโมเลกุลเป็น $[\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}]^l$ ($n = 2, 2.7$ $m = 3.9, 1.0$) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



$\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำเหมือนกับปฏิกิริยาของสารส้มคือ แยกตัวให้ Al^{3+} ซึ่งจะรวมกับอนุภาคคอลลอยด์และทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ได้ ดังรูปที่ 2.4.6 (ข) นอกจากนี้ Al^{3+} ยังทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็นตะกอนเล็กๆ สามารถรวมตัวกับอนุภาคอื่นที่มีประจุบวก เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกไปจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นตะกอนใหญ่ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.4.6 (ข)



ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2527

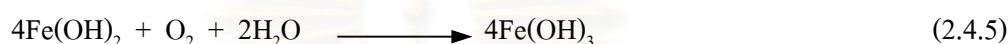
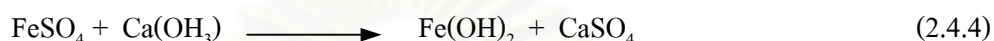
รูปที่ 2.4.6 (ก) Al^{3+} รวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่

(ข) $\text{Al}(\text{OH})_3$ รวมกับอนุภาคที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนใหญ่

2. กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหรือไอออน โคแอกกูแลนต์

ไอออน โคแอกกูแลนต์จะทำงานในสภาวะที่มีพีเอชต่ำกว่า อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์และสามารถทำงานในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า คือ 4-11 นอกจากนี้ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc ยังหนักกว่า $\text{Al}(\text{OH})_3$ floc ทำให้ตกตะกอนได้เร็วกว่า ไอออนโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่

2.1 Ferrous sulphate (FeSO_4) FeSO_4 จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ในสภาวะที่พีเอชสูงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ถ้าพีเอชต่ำกว่า 8.5 ดังนั้นจึงมักเติมปูนขาวลงไปดังสมการ



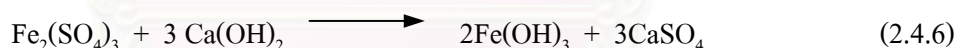
โดยทั่วไป FeSO_4 มักใช้ร่วมกับปูนขาวในการกำจัดน้ำกระด้างและตกตะกอนเหล็กกับแมงกานีส

2.2 Ferric Sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ละลายได้ดีในน้ำอุ่น และจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือกับปูนขาวที่เติมลงไป เกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc ในกรณีของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อออกซิไดส์ ตามทฤษฎี

1 ppm ของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ จะทำปฏิกิริยากับ 0.75 ppm alkalinity as CaCO_3

0.58 ppm 95% hydrate lime

ดังสมการ 2.4.6



โดยทั่วไป Ferric coagulant จะทำงานที่พีเอชต่ำกว่าเกลือของอลูมิเนียมและสามารถใช้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าคือตั้งแต่ 4-11 ที่พีเอชต่ำ ferric coagulant ใช้ได้ดีในการกำจัดสีและที่พีเอชสูงๆ ferric coagulant ก็ใช้ได้ดีในการกำจัดเหล็ก แมงกานีส ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี นอกจากนี้ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc ยังหนักกว่า $\text{Al}(\text{OH})_3$ floc และตกตะกอนได้เร็วกว่า (รายละเอียดเพิ่มเติม ภาคผนวก ก)

ข้อดีของ Ferric coagulant เปรียบเทียบกับ Aluminum coagulant คือ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floc จะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูงๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องใช้ที่พีเอชสูงทำให้เปลืองด่าง จึงมักใช้น้ำที่ผ่านการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวเท่านั้น

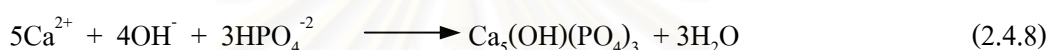
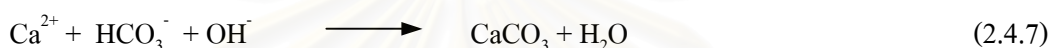
2.3 Ferric chloride (FeCl_3) มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้ามีความชื้นอยู่ด้วย FeCl_3 จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ในน้ำ เกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$

การที่เกลือของเหล็กและอลูมิเนียมเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตกตะกอน เพราะมีคุณสมบัติในการตกตะกอนคอลลอยด์ได้มากกว่าตัวอื่น ทั้งนี้เพราะการตกตะกอนของคอลลอยด์จะมีผลโดยของไอออนอิ

เลคโตรไลต์ที่เติมลงไปมีประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ และผลที่เกิดจากอไอออนเหล่านั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุบนตัวของมัน

3. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, Ca(OH)₂)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือปูนขาวผงน้ำ เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอนผลึก ความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยทำให้เกิดตกตะกอนผลึกในรูปหินปูน การเก็บรักษาจึงค่อนข้างยุ่งยาก การป้อนปูนขาวผงน้ำ จะต้องให้ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) ข้อดีในการใช้ปูนขาวผงน้ำคือมีราคาถูก เมื่อเติมลงไปใต้น้ำ จะทำปฏิกิริยากับค่างและฟอสฟอรัสที่มีอยู่กลายเป็นสารตัวใหม่ ตกตะกอนชะพาเอาสารแขวนลอยตกลงมาด้วย ดังสมการ



สมการ 2.4.8 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียได้ด้วย

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของคอลลอยด์ใต้น้ำ ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม
2. ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้น จะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน
3. พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี
4. ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า K_{sp} (หรือค่าคงที่ในการละลาย) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} มันจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้น ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ (มันสิน ดัชนีกุลเวศม์, 2526)

5. เวลาและความแรงของการผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำอย่างรวดเร็วด้วยเวลาที่สั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ดี ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้น ถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอน จำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกัน ได้มากที่สุด (ศุภฤกษ์ สินสุวรรณ, 2528)

2.4.4 การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์

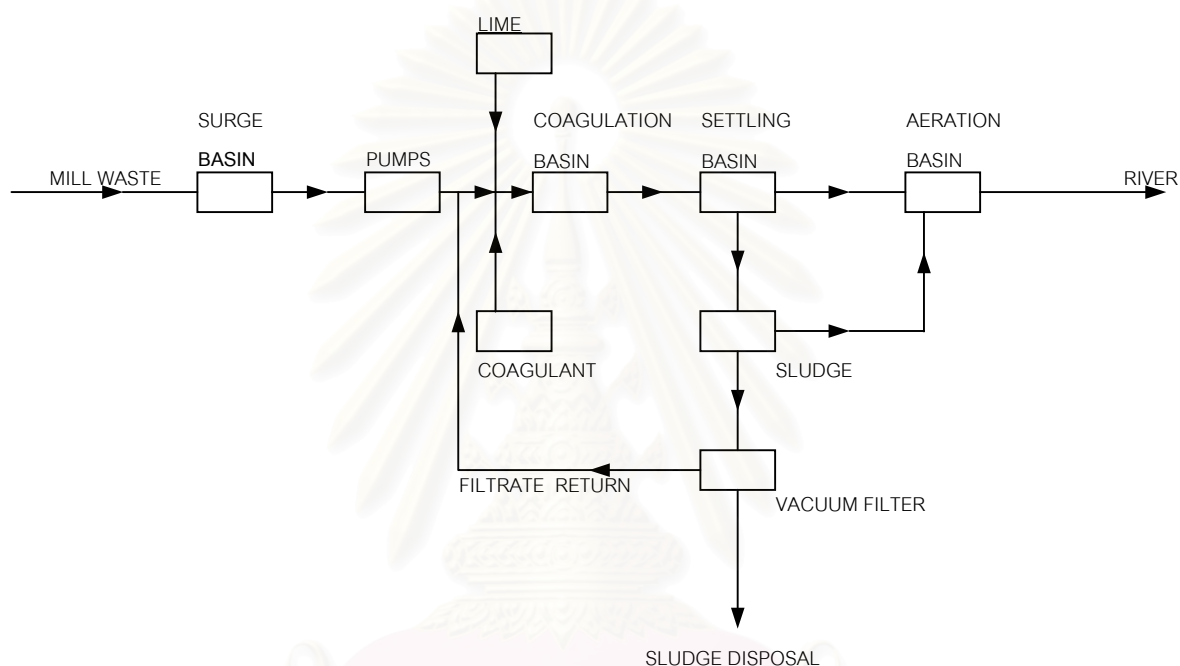
ค่าใช้จ่ายหลักในการตกตะกอนมี 2 ส่วน คือ ค่าก่อสร้างและค่าสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ซึ่งปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเป็นจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ทั้งนี้หน้าที่หลักของสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอน คือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์และการทำให้ตะกอนยึดเหนี่ยวกันแข็งแรงขึ้น เพื่อไม่ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วต้องแตกเป็นส่วนๆ ดังนั้นการเลือกชนิดและความเข้มข้นของโคแอกกูแลนทั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโคแอกกูแลนทั้นและคุณสมบัติของน้ำ ซึ่งในการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารที่ใช้ โดยวิธีที่เรียกว่า จาร์เทสต์

เครื่องมือในการทำจาร์เทสต์ ประกอบด้วยใบพัดสำหรับการกวนน้ำจำนวน 6 ใบ ที่หมุนรอบในแนวนอน ใช้ในการทดสอบน้ำตัวอย่างและสารโคแอกกูแลนทั้นที่ใส่ในบีกเกอร์ โดยปกติในการทำจาร์เทสต์มีช่วงของการกวนเร็ว ซึ่งใช้ความเร็วรอบสูงและใช้เวลาน้อย ช่วงของการกวนเร็วจะเป็นช่วงในการเติมโคแอกกูแลนทั้นลงในบีกเกอร์ที่ใช้ทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สารเคมีที่ใช้มีการกระจายตัวออกและผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วแล้วจะเป็นช่วงการกวนช้า เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตกตะกอนที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากน้ำ โดยปล่อยให้ตกตะกอน แล้วจึงนำน้ำใสส่วนบนมาวัดค่าต่างๆ ตามต้องการ

ในการทดลองนี้ชนิดของน้ำตัวอย่างที่ศึกษา คือ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งมีปริมาณการใช้ที่ค่อนข้างสูงและมีความเป็นพิษสูงด้วย การศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีก่อนทำการวิจัยจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเพราะอาจมีผลต่อการรวมตัวกันในการตกตะกอนเพื่อทำให้ค่าซีโอดีที่ได้หลังจากการตกตะกอนเป็นค่าที่ถูกต้อง

2.5 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในโรงงานฟอกย้อม จะเป็นระบบที่ประกอบด้วย การบำบัด โดยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment Coagulant) และการบำบัดโดยทางชีววิทยา (Aerobic Biological) ขั้นตอนต่างๆ แสดงได้ดัง รูปที่ 2.5.1



รูปที่ 2.5.1 Combination chemical coagulation and aerobic biological waste treatment plant flow diagram

ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่กระบวนการบำบัดนั้น จะต้องมีการปรับสภาพน้ำ (pre-treat) เสียก่อน โดยน้ำเสียก่อนเข้ากระบวนการจะถูกปั๊มไปผ่าน Cooling heat exchanger เพื่อลดอุณหภูมิ อาจมีตะแกรงกรองก่อนที่จะเข้าสู่ถังพัก เพื่อคัดสารที่มีลักษณะเป็นฝ้าคลุมผิวน้ำ (scum) ไว้เสียก่อน จากนั้นปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ถังพัก (surge basin) เพื่อให้ น้ำเสียที่มีลักษณะเป็นคลื่น ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตนั้น ได้พักตัว และปรับให้มีลักษณะสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และลดอุณหภูมิลง เพราะถ้าหากไม่ให้น้ำเสียปรับสภาพในขั้นนี้แล้วจะทำให้ น้ำเสียที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดมีลักษณะที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) และมีผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่เติมในระบบจะคำนวณจากผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำการทดลองในขณะที่น้ำเสียได้ปรับสภาพให้มีลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว น้ำเสียจะอยู่ในถังพักประมาณ

1-3 วัน จากนั้นจึงสูบน้ำเสียลงสู่บ่อเติมสารเคมี (coagulant basin) ซึ่งจะมีการเติมสารตกตะกอนลงไป ทำการกวนเร็วเพื่อให้สารเคมีเข้ากับน้ำเสียอย่างทั่วถึง จากนั้นกวนช้าๆ เพื่อให้เกิดฟล็อก (floc) หรือ ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นปล่อยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีแล้วลงสู่บ่อตกตะกอน (settling basin) ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งให้ตะกอนนอนก้นแล้วปล่อยน้ำเสียส่วนบน ซึ่งเป็นส่วนที่ใสลงสู่บ่อเติมอากาศ (Aeration basin) ทำการบำบัดโดยทางชีววิทยา เพื่อลดปริมาณ BOD ในน้ำ ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ส่วนตะกอน (sludge) จะถูกนำมารีดน้ำ แล้วกรองเอาสลัดจ์ไปทำการกำจัด (disposal) ส่วนของเหลวที่เหลือจากการกรองจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการบำบัด เพื่อทำการบำบัดใหม่อีกครั้ง สลัดจ์บางส่วนจะถูกนำกลับเข้าสู่กระบวนการใหม่อีกครั้ง เพราะในสลัดจ์จะมีเชื้อจุลินทรีย์ จากกระบวนการบำบัดโดยทางชีววิทยาหลุดติดออกมา การที่นำสลัดจ์กลับเข้าสู่กระบวนการ จะเป็นการนำเอาเชื้อจุลินทรีย์กลับเข้าไปอีกครั้ง จุลินทรีย์ที่นำเข้าไปนี้ จะแบ่งตัวเป็นเซลล์ใหม่ เพื่อใช้ในการบำบัดต่อไป โดยที่ไม่ต้องเสียเวลาเริ่มระบบเพาะเชื้อใหม่

2.6 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD)

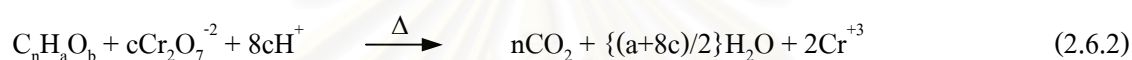
กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2525) กล่าวถึงความต้องการออกซิเจนทางเคมีหรือค่าซีโอดีว่า เป็นการวัดกำลังความสกปรกของน้ำทั้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงาน ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่มีในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (มียกเว้นบางตัวเป็นส่วนน้อย) สามารถถูกออกซิไดส์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด พวกอะมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และพวกสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท ดังสมการที่ 2.6.1



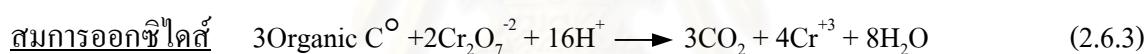
ก. การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)

ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี สารเติมออกซิเจนที่นิยมใช้กันมาก คือ โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งจะไปออกซิไดส์สารอินทรีย์คาร์บอนในสภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง และปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงใช้การกลั่นกลับคืนหรือรีฟลักซ์ (Reflux) เพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารที่ระเหยได้ซึ่งมีอยู่เดิมในตัวอย่าง หรือซึ่งเกิดในระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยทำการฟลักซ์เป็นเวลา 1.5-2 ชั่วโมง ซึ่งโปแตสเซียมไดโครเมตบางส่วนจะถูกใช้ไปในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ และหลังจากการทำปฏิกิริยาออกซิไดส์นี้แล้วนำไปเติมโพแทสเซียมไดโครเมตที่เกินพอมาไตเตรท

ด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีมีการเติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) ลงไปด้วย เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนบางตัวไม่ถูกออกซิไดส์โดยไดโครเมตทำให้ผลที่ได้้น้อยกว่าที่เป็นจริง ซึ่ง Ag^+ จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ Catalyst เร่งปฏิกิริยาให้โปแตสเซียมไดโครเมตสามารถออกซิไดส์พวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ (จำนวน C น้อย) อย่างไรก็ตามอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) และไพรีดีน (Pyridine) จะไม่ถูกออกซิไดส์ภายใต้สภาวะนี้ และเนื่องจากคลอไรด์ซึ่งเป็นตัวลดออกซิเจนและพบมากเสมอในน้ำเสีย จะไปรีดิวส์ไดโครเมตมีผลทำให้ค่าซีโอดีที่ได้สูงกว่าเป็นจริงและตกตะกอนซิลเวอร์ไอออนที่เติมลงไป ดังนั้นจึงมีการเติมเมอร์คิวรีซัลเฟต (HgSO_4) ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์เกิดเป็นเมอร์คิวรีคลอไรด์ (HgCl_2) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.6.2



เมื่อ $c = 2/3n + a/6 - b/3$ หรืออาจเขียนสมการง่ายๆ ได้ดังนี้



ได้จุดยุติ (End Point) เป็นสีออกแดงน้ำตาล ซึ่งแลเห็นได้ชัดกว่าสีเขียวของเกลือโครมิกที่เกิดขึ้นและจะคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลกับสารอินทรีย์คาร์บอนได้

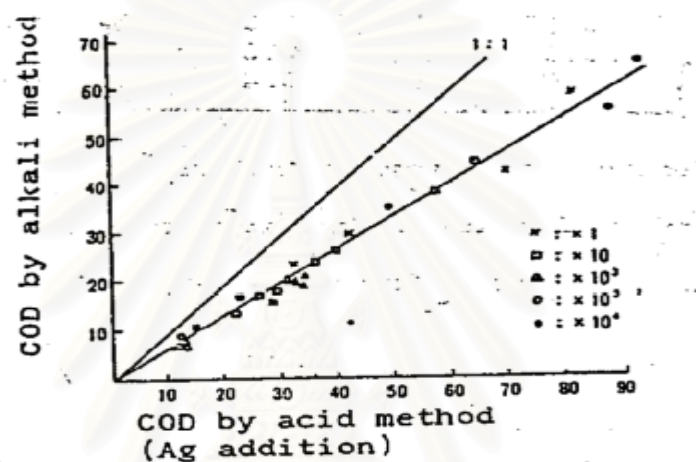
ข. วิธีการหาค่า COD และมาตรฐานที่กำหนดโดยแต่ละประเทศ

การวิเคราะห์หาค่า COD สามารถวิเคราะห์หาค่าได้หลายวิธีดังนี้

- A. 100 °C KMnO_4 Acid method
- B. 100 °C KMnO_4 Alkali method
- C. 20 °C KMnO_4 method
- D. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ method

ค่า COD (ppm) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการที่ต่างกันจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานว่าค่า COD นั้นหมายถึงค่า COD ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีใดเป็นหลัก ในประเทศญี่ปุ่น ได้กำหนดมาตรฐานของค่า COD โดยวิธี 100°C KMnO_4 Acid method (JISK0102)

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ค่าโดยแต่ละวิธีที่กล่าวมาข้างบนนี้ ถึงแม้จะได้ค่าที่ไม่เท่ากัน แต่ก็มีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างแน่นอนระหว่างกันอยู่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ที่วัดได้โดย 100°C KMnO_4 Alkaline method ค่าที่วัดได้จาก Alkaline method จะต่ำกว่า Acid method ประมาณ 20 %



ที่มา : พินิจ กฤตยรังสรรค์, 2527

รูปที่ 2.6.1 Correlation between acid and alkali methods for various effluents

ดังนั้น แม้ว่าในประเทศญี่ปุ่นมาตรฐานค่า COD จะกำหนดโดยวิธี Acid method แต่ก็อาจจะวัดค่าโดยวิธี Alkaline method และเทียบค่ากลับไปเป็นค่า Equivalent โดยวิธี Acid method ได้

ค. ผลเสียเนื่องจาก Chloride ions ที่ผสมอยู่ใน Sample

การวัดโดยวิธี Acid method ถ้าหากใน Sample มี Chloride ion จะทำให้ค่าวิเคราะห์ผิดพลาดตารางข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงค่า COD เมื่อเติม Chloride ion ลงไปในปริมาณต่างๆ กัน Chloride ion มีผลต่อค่าวัด COD โดยวิธี Acid method มาก แต่ในทางกลับกัน ค่า Chloride ion เกือบไม่มีผลต่อค่าวัด COD ของ Alkaline method

จากการศึกษาของพินิจ กฤติยรังสรรค์ (2527) พบว่าผลเสียที่เกิดจาก Chloride ion จะกำจัดโดยการเติม AgNO_3 เพื่อให้ Chloride ion ตกตะกอน แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากปริมาณ Chloride ion มีมากก็จะต้องใช้ AgNO_3 เป็นจำนวนมากด้วย เนื่องจากสาร AgNO_3 มีราคาแพง จึงทำให้ค่า Running cost สูง ดังนั้น ถ้าหากค่า Chloride ion มีค่าสูงกว่า 2,000 ppm มักจะใช้วิธี Alkali method ในการวัด และทำ Standard Curve เทียบกลับไปหาค่า COD โดยวิธี Acid method

ง. ความสำคัญและประโยชน์ของ COD

1. ใช้วัดปริมาณความสกปรกของน้ำโสโครกโดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. ค่า COD มีความสัมพันธ์กับค่า BOD อัตราส่วนขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ย่อยสลายแบคทีเรียได้ง่าย ค่า COD จะสูงกว่าค่า BOD_5 ไม่มากนัก ถ้าชนิดของน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ทนต่อปฏิกิริยาทางชีววิทยา ค่า COD จะสูงกว่าค่า BOD มาก ฉะนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD จึงเป็นเครื่องชี้ให้ทราบถึงสภาพแวดล้อมที่เป็นพิษ (Toxic condition) และการที่สารอินทรีย์ซึ่งทนต่อปฏิกิริยาทางชีววิทยามีอยู่มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมระบบการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย
3. COD สามารถตรวจได้เร็วกว่า BOD มาก ใช้เวลาประมาณ 3 ~ 4 ชม. เท่านั้น ซึ่ง BOD ใช้เวลาถึง 5 วัน ฉะนั้น COD จึงใช้ในการวัดเพื่อประเมินค่า BOD ตรวจสอบความผิดพลาดและข้อบกพร่องของระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้ทันที
4. ใช้เป็นค่าประมาณในการตรวจวัดค่า BOD เพื่อป้องกันความผิดพลาด

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การลดค่าซีโอดี

ดวงนภา (2541) ศึกษาการลดค่าซีโอดีน้ำเสียโรงงานผลิตยาปฏิชีวนะด้วยสารสร้างตะกอน 6 ชนิด คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ เฟอร์รัสซัลเฟต สารส้ม โพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ เบนโทไนท์และแมกนีเซียมออกไซด์ จากน้ำเสีย 3 ชนิด คือ น้ำเสียจากการเหวี่ยงแยกยา น้ำเสียจากหอกลิ้น และน้ำเสียจากบ่อพัก ผลที่ได้สารที่เหมาะสมของน้ำเสียจากการเหวี่ยงแยกยา คือ เบนโทไนท์ ลดได้ 39 % ส่วนน้ำเสียจากหอกลิ้นพบว่าเฟอร์ริกคลอไรด์ลดซีโอดีได้ 44 % สำหรับน้ำเสียจากบ่อพักค่าซีโอดีของสารสร้างตะกอนทั้ง 6 ชนิด ไม่แตกต่างกันมากนัก ประมาณ 32-40 %

2.7.2. โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl)

กาญจนา (2535) ศึกษาการกำจัดสีน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการทางเคมีด้วยสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ ตัวแปรที่ศึกษา คือ พีเอช ปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) และปริมาณโพลีเมอร์ แบ่งน้ำเสียตามประเภทของสีย้อมเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รีแอคทีฟ เอซิด ไคเร็กท์ และดิสเพิส พบว่าการกำจัดสีน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อม ชนิดโทนสี พีเอชที่เหมาะสม ปริมาณ PACl และโพลีเมอร์ที่เหมาะสมชนิดประจุบวก ชื่อทางการค้าว่า Zetag-63 กล่าวคือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่าสีที่ละลายน้ำ และน้ำเสียแต่ละประเภทจะมีพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน หรือประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อม โทนสี พีเอชที่เหมาะสม ปริมาณ PACl และโพลีเมอร์ที่เหมาะสม โดยผลการทดลองเมื่อใช้โพลีเมอร์ 0.2 ถึง 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 2.7.1

ตารางที่ 2.7.1 ผลการกำจัดสีน้ำเสียชนิดต่างๆ

สี	ปริมาณ PACl (มิลลิกรัม/ลิตร)	การกำจัดสี (%)	การลดค่า COD (%)	การลดค่า SS (%)
รีแอคทีฟ	400-500	0.3-59.7	2.6-27.6	3.8-40.6
เอซิด	500-มากกว่า 3000	8.2-84.5	10.6-58.0	6.9-78.8
ไคเร็กท์	600-3000	7.6-81.9	6.6-46.3	11.9-41.0
ดิสเพิส	100-1500	63.5-96.1	54.2-95.0	57.1-98.0

การทดลองนี้ น้ำเสียมีความเข้มข้นของสีสูงไม่เท่ากัน แม้ผลการทดลองที่ได้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูง ก็ไม่อาจกล่าวได้ว่า จะสามารถลดความเข้มข้นของสีให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจได้ ในทำนองเดียวกัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและเอสเอสที่สูงก็ไม่อาจบอกได้ว่าค่าซีโอดีและเอสเอสจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน การประเมินราคาสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้ประมาณ 30-75, 30-546, 36-202 และ 7-93 บาทต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับน้ำเสียทั้ง 4 ประเภทดังกล่าวตามลำดับ

จารุทัศน์ (2537) ศึกษาการบำบัดสีน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี งานวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนสีของเฟอร์ริคคลอไรด์ เฟอร์รัสซัลเฟต สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเบนโทไนท์ รวมทั้งวิเคราะห์ค่า COD ของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งได้แก่ สีรีแอคทีฟ สีเอซิด สีเบสิก สีไคเร็กท์ สีแวต และสีดิสเพอรัส ส่วนที่สองศึกษาองค์ประกอบของสารเคมีที่แตกต่างกันของน้ำเสียและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ผลที่ได้สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์คือสารเฟอร์รัสซัลเฟตตกตะกอนสีรี

แอกทีฟ สีแอสสิก สีเบสิก และสีแอสติกได้ดีที่สุด 77-99 % ลดค่า COD ได้ 60-93 % สำหรับสีไครเรทที่ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ตกตะกอนสีได้ดีที่สุด 98 % ลดค่า COD ได้ 83 % ส่วนสีดิสเพอร์สใช้สารส้มตกตะกอนได้ดี 99 % ลดค่า COD ได้ 70-84 % ผลการทดลองตกตะกอนสีจากน้ำเสียโรงงานพบว่าเฟอร์ริคซัลเฟตสามารถลดค่า COD ได้มากที่สุด 65.71% จากการทดลองการตกตะกอนสีจากน้ำเสียโรงงานแอสทิวเท็กซ์ไทล์พบว่าเฟอร์ริคซัลเฟตและเบนโทไนท์ตกตะกอนสีกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มีองค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้แตกต่างกันได้ทุกกรณี โดยที่น้ำเสียภายหลังการตกตะกอนกับเฟอร์ริคซัลเฟตจะมีลักษณะใสกว่าและปริมาณตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนจะน้อยกว่าการตกตะกอนด้วยเบนโทไนท์

วาริต (2541) ศึกษาการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริคคลอไรด์และเบนโทไนท์ ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีและวิเคราะห์ค่าซีไอดี ความขุ่นร่วมด้วย โดยศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในรูปของการลดการดูดกลืนแสงและศึกษาเพิ่มเติมการใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวก คือ Zetag-63 เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารสร้างตะกอน พบว่า สารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการกำจัดสีจากโรงงานสิ่งทอ คือ เฟอร์ริคคลอไรด์ กำจัดสีได้เฉลี่ย 70.88 % กำจัดความขุ่นได้เฉลี่ย 89.62 % กำจัดซีไอดีได้เฉลี่ย 36.74 % ช่วงปริมาณของเฟอร์ริคคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 750-1000 มก./ล. ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 8.5-9 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีอยู่ในช่วง 8.25-14.71 บาท/ลบ.ม. สำหรับการใส่สารโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอนพบว่าไม่มีความจำเป็น เพราะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Chalor (1997) ศึกษาการบำบัดสีน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยใช้โอโซนและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ใช้การเติมโอโซนและกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดสีและลดค่า COD ของน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งใช้สี 3 ชนิดคือ สีรีแอกทีฟ สีแอสติกและสีดิสเพิส พบว่าการใช้โอโซนกำจัดสีรีแอกทีฟได้สูงที่สุดมากกว่า 90 % ในเวลาที่น้อยกว่า 10 นาที แต่สีแอสติกและสีดิสเพิสนั้นการกำจัดสีของโอโซนด้อยกว่าในการกำจัดสีรีแอกทีฟ ส่วนการใช้สารตกตะกอนคือโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ตกตะกอนพบว่าสามารถลดค่า COD, SS และกำจัดสีของสีแอสติกและสีดิสเพิสได้ดี โดยสามารถกำจัดสีได้คิดเป็น 99 % แต่ด้อยประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสีรีแอกทีฟ และยังพบอีกว่าประสิทธิภาพการบำบัดของแต่ละวิธีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นได้หากนำมาใช้ร่วมกันโดยทำการเติมโอโซนและตกตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เพื่อบำบัดน้ำเสียสิ่งทอซึ่งอาจใช้การเติมโอโซนก่อนหรือหลังการทำการตกตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ก็จะสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 90 % และลดค่า COD ได้มากกว่า 50 % ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้ก็จะให้ประสิทธิผลเช่นเดียวกันกับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอื่น

2.7.3. เฟอร์ริคซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

Hotton และ Simpson (1986) ศึกษาการกำจัดสีในน้ำโสโครก โดยใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ สารส้ม , เฟอร์ริกซัลเฟตและโพลูอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยพิจารณาความสามารถในการกำจัดสีที่คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ย “Weighted” สำหรับการกำจัดสีที่พิจารณาค่าความสามารถในการดูดซึมความยาวคลื่นแสง 6 ค่า คือที่ 340, 420, 500, 580, 660 และ 740 นาโนเมตร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสารส้มมีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดีที่สุด โดยลดสีในน้ำโสโครก ตัวอย่าง A, B, C และ D ได้ร้อยละ 85, 94, 36 และ 47 ตามลำดับ รองลงมาคือ โพลูอลูมิเนียมคลอไรด์ สามารถลดสีในน้ำตัวอย่าง A, B, C และ D ได้ร้อยละ 68, 37, 28 และ 39 ตามลำดับ และเฟอร์ริกซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการลดสีได้ต่ำที่สุด โดยลดสีในน้ำตัวอย่าง A, B, C และ D ได้ร้อยละ 56, 41, 26 และ 25 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตกำจัดอนุภาคสีจะส่งผลให้ลดค่าซีโอดี ในน้ำตัวอย่างได้ร้อยละ 19.4 ถึง 40

Livke, Ostrovka และ Gendrusseva (1989) ศึกษาการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าประเภทสีอินลินที่มีความเข้มข้นของสีสูงในการบำบัดขั้นตติยภูมิ โดยใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) เป็นสารเคมีตกตะกอน พบว่าหากใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ปริมาณ 700-800 มก./ล. จะสามารถกำจัดสีได้ 55-60 % ลดปริมาณซีโอดีได้ 40-48 % โดยที่สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนมีค่าประมาณ 10

Nhuphan (1992) ทดลองการกำจัดสีจากโรงงานฟอกยีนส์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต, เฟอร์ริกซัลเฟต ร่วมกับโพลีเมอร์ ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 50-350 มก./ล. ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปูนขาว ผลการกำจัดสีทั้งสองใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสม 200 มก./ล. ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ กำจัดสีได้ 96.5 % ใช้ปูนขาว กำจัดสี 95.5% เมื่อนำโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนิกชื่อทางการค้า T3300 รวมตกตะกอน 1-10 มก./ล. กำจัดสีได้ 99% ลดค่าซีโอดีได้ 81.5% ลดแมงกานีส 99.5% ในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อใช้กับน้ำเสียจริง เฟอร์รัสซัลเฟตกำจัดสีได้ 95.5% ลดซีโอดีได้ 37.5 – 42.5% โพลีเมอร์ 10 มก./ล. รวมกำจัดสีได้ 98% ลดซีโอดีได้ 51% และแมงกานีส 99% เมื่อใช้เฟอร์ริกซัลเฟตตกตะกอน และปรับพีเอชด้วยกรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ปรากฏว่าสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอชไม่มีความแตกต่างในการกำจัดสี ปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟต 200 มก./ล. กำจัดสีได้ 93-94% ลดค่าซีโอดีได้ 66% ลดแมงกานีสได้ 2.5% เมื่อใช้โพลีเมอร์ร่วม ปริมาณ 1-8 มก./ล. กำจัดสีได้ 99% ลดค่าซีโอดีได้ 81% และแมงกานีส 99.5% เมื่อนำปริมาณสารเคมีนี้มาใช้กับน้ำเสียจริง เฟอร์ริกซัลเฟตกำจัดสีได้ 94% ลดค่าซีโอดีได้ 44-46% และกำจัดแมงกานีสได้ 17% เมื่อใช้โพลีเมอร์ร่วมตกตะกอน 8 มก./ล. กำจัดสีได้ 95% ลดค่าซีโอดีได้ 63% และแมงกานีส 23%

สรุปได้ว่า สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชไม่มีความแตกต่างในการกำจัดสี ปริมาณสารเคมีที่ใช้ทดลองกำจัดสีจากน้ำเสียจากการสังเคราะห์และน้ำเสียจริง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีใกล้เคียงกัน โพลีเมอร์มีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี

2.7.4. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

สุภัทร (2535) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนที่สองศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สีและของแข็งแขวนลอย โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากส่วนแรก เวลาที่เหมาะสมในถังกวนเร็วมีค่าเท่ากับ 5 นาที เวลาที่เหมาะสมในถังกวนช้ามีค่าเท่ากับ 10 นาที และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกผลึกมีค่าเท่ากับ 12.5 ในส่วนที่สองที่ได้กำหนดตัวแปรเพิ่มขึ้น ดังนี้ คือ อัตราการสูบน้ำเสียจากกองขยะเท่ากับ 150 มล./นาที , อัตราการสูบน้ำยาละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 25 มล./นาที, ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 2.5, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 และ 80 กรัม-แคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรน้ำเสีย, ค่าพีเอชเท่ากับ 12.5, อัตราการสูบน้ำตกบนเวียนกลับเท่ากับ 0 และ 30 มล./นาที, ค่าซีโอดีเข้าระบบ 2101 มก./ล., สีเข้าระบบ 3750 พลาตินัม-โคบอลต์, ของแข็งแขวนลอย 250 มก./ล. ผลแสดงให้เห็นว่ากระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 29 ถึง 75, กำจัดสีได้ร้อยละ 73 ถึง 98 และกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 38 ถึง 66 โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_1 = 66.11 \log [\text{Ca}(\text{OH})_2 / \text{COD}_{\text{in}}] + 24.5 ; 2.5 \text{ g/L} \leq \text{Ca}(\text{OH})_2 \leq 10 \text{ g/L} \quad (2.7.1)$$

$$E_2 = 36.87 \log [\text{Ca}(\text{OH})_2 / \text{COLOR}_{\text{in}}] + 81 ; 2.5 \text{ g/L} \leq \text{Ca}(\text{OH})_2 \leq 10 \text{ g/L} \quad (2.7.2)$$

$$E_3 = 24.96 \log [\text{Ca}(\text{OH})_2 / \text{SS}_{\text{in}}] + 20 ; 2.5 \text{ g/L} \leq \text{Ca}(\text{OH})_2 \leq 10 \text{ g/L} \quad (2.7.3)$$

โดยที่ E_1 หมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, E_2 หมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสี, E_3 หมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย สมการนี้จะใช้ได้ต่อเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่จ่ายเข้าระบบอยู่ในช่วง 2.5-10 กรัมต่อลิตรของน้ำเสีย นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของตะกอนที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 205-270 กรัมต่อลิตร

Altinbas, Dokmeci และ Baristiran (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ ชนิดสีรีแอคทีฟและสีไดเรกต์ ใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีและระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ตามลำดับ สารตกตะกอนที่ใช้คือ สารส้ม เฟอรัริคคลอไรด์ ปูนขาวและแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าที่พีเอช 6.0 การใช้สารส้มร่วมกับปูนขาวจะให้ผลดีที่สุดในการลดค่า COD โดยใช้สารส้ม 184 มิลลิกรัม/

ลิตรและปูนขาว 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ลดค่า COD ได้ 42 % ส่วนการใช้สารส้มร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต, เฟอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับปูนขาว เฟอร์ริกคลอไรด์ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตลดค่า COD ลงได้ 40 %, 32-45 % และ 35 % ตามลำดับ เมื่อนำมาบำบัดด้วยระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ลดค่า COD ได้ 60-90 % ซึ่งให้เห็นว่าการใช้สารส้มแล้วตามด้วยระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์กำจัดค่า COD ได้ถึง 94 %

Judkin และ Hornsby (1978) ทดลองกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ปูนขาว มักเนเซียมคาร์บอเนต และมักเนเซียมมาร์บอเนตร่วมกับปูนขาว ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อม 3 ชนิด คือ สีย้อมแวมต์, สีย้อมดิสเพิส และสีย้อมซัลเฟอร์ พบว่า การใช้มักเนเซียมคาร์บอเนตร่วมกับปูนขาวจะได้ผลดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดเดียวในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท ยกเว้นสีประเภทซัลเฟอร์ การใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวก็สามารถกำจัดสีได้

2.7.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริอุมา (2541) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน พบว่าลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอนให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี, ซีไอดี, ความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเป็น 66.42% 64.09% 94.78% 52.07% ตามลำดับ ขณะที่กระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอนมีประสิทธิภาพกำจัดสี, ซีไอดี, ความขุ่น และของแข็งแขวนลอยเป็น 60.03-83.31 % 68.15-84.91 % 44.4-70.3 % 58.34-83.32 % ตามลำดับ เมื่อใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการดูดซับคาร์บอนพบว่า กำจัดสี, ซีไอดี, ความขุ่น และของแข็งแขวนลอยเป็น 98.73-99.94 % 79.99-89.44% 99.16-99.54% 73.81-82.74% ตามลำดับ ดังนั้นจึงควรเลือกกระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอนในการบำบัดจึงจะเหมาะสมที่สุด แต่การใช้กระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอนควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ทางด้านการลงทุน เนื่องจากค่าใช้จ่ายการบำบัดอยู่ในช่วง 198.76-257.21 บาท/ลบ.ม.

ศักดิ์ชัย (2539) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากกระบวนการผลิตสีประเภทสีน้ำ โดยใช้สารส้มและเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่าเมื่อใช้สารส้ม 500 มก./ลบ.ดม. ค่าพีเอชประมาณ 7 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีไอดีและปรอท เท่ากับร้อยละ 99.8, 99.6, 99.7, 84.8 และ 85.1 ตามลำดับ ส่วนการใช้เฟอร์รัสซัลเฟต พบว่าสถานะที่เหมาะสม คือ ค่าพีเอช 9 และใช้สาร 250 มก./ลบ.ดม. ให้ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 99.9, 99.8, 99.8, 93.7 และ 88.6 ตามลำดับ และเมื่อ

ทดลองบำบัดน้ำเสียจริง โดยใช้สารส้มให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 99.8, 99.7, 99.8, 76.8 และ 72.4 ตามลำดับ ส่วนเฟอร์รัสซัลเฟตให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 99.9, 99.8, 99.8, 77.6 และ 75.8 ตามลำดับ

Beszedits, Lugowaki และ Miyamoto (1979) ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า ใช้อลูมิเนียมซัลเฟต เกลือของเหล็ก โพลีเมอร์ต่างๆ เช่น ชนิดประจุบวก ชนิดประจุลบ และที่ไม่มีประจุในกลุ่มสี่แวนต์ สีดิสเพิส และซีซัลเฟอร์ พบว่าโพลีอิเล็กโตรไลต์ชนิดประจุลบเป็นตัวที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นตัวทำให้เกิดฟล็อกกูเลชัน แต่ถ้าเป็นประจุบวกจะเหมาะสมมากกว่า

Beszedits, Lugowaki และ Miyamoto (1980) ศึกษาประสิทธิภาพของแอกติเวตคาร์บอนกำจัดสีย้อมในน้ำเสียย้อมผ้า ศึกษาเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดต่างๆ คือ สีดิสเพิส สีไดเรกท์ สีรีแอคทีฟสีแวนต์ พบว่าแอกติเวตคาร์บอนเหมาะสมกับสีที่อยู่ในรูปสารละลาย แต่ไม่เหมาะที่จะใช้กับสีย้อมที่ไม่ละลายหรือละลายได้น้อย เช่น สีแวนต์ สีดิสเพิส เพราะหลังจากใช้ไปประมาณ 20-50 ชั่วโมง จะเกิดการอิ่มตัวเสียพื้นที่ผิวใช้งานไป ซึ่งจำเป็นต้องเปลี่ยนหรือรีเจนเนอเรต เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

Chang (1988) ศึกษาการใช้สารส้มในการลดสีและมลสารอื่นๆ พบว่าสารส้ม 1,000 มก./ล. ที่พีเอช 5.5 สามารถลดสีได้ 92 % ลดค่าซีโอดีได้ 72 % ลดแคดเมียมได้ 80 % และลดโครเมียมได้ 87 %

Ghash และคณะ (1978) ศึกษาการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี แต่ไม่สามารถบำบัดสีได้เป็นที่น่าพอใจ แต่กระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน (carbon adsorption) ซึ่งตามด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation) จะสามารถบำบัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานทอผ้าได้

Cheasavathi (1992) ศึกษาการกำจัดสี ซีโอดีและแมงกานีสจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมยีนส์ โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต โซเดียมอลูมิเนตและสารช่วยตกตะกอนชนิด nonionic พบว่าใช้สารอลูมิเนียมซัลเฟต 25 มก./ล. ที่ pH = 7 กำจัดสี 89.5 % ความขุ่น 84.1% ซีโอดี 35.4 % แมงกานีส 25.8 % แต่ถ้าหากเพิ่มโซเดียมอลูมิเนต 30 มก./ล. จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็น 93.5 % ความขุ่น 89.9 % ซีโอดี 38.2 % และแมงกานีส 36.6 % ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นโดยสามารถกำจัดสีได้ 98.0 % ความขุ่น 96.6 % ซีโอดี 37.2 % และแมงกานีส 29.7 % เมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด nonionic ปริมาณ 3 มก./ล. รวมด้วย เวลาที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้ : 3 นาทีในการกวนเร็ว (100 รอบ/นาที) 30 นาทีในการกวนช้า (40 รอบ/นาที) และ 30 นาทีในการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่และระยะเวลาการทำการวิจัย

การดำเนินการทดลองส่วนใหญ่กระทำที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสียของบริษัทไทยโเท เท็กซ์ ไทล์ มิลล์ จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่ 33/3 หมู่ 3 ถ.สุขาภิบาล อ. นครชัยศรี จ. นครปฐม สำหรับพารามิเตอร์บางตัว เช่น ความเข้มข้น ดำเนินการตรวจวัดที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1.1 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการทำการศึกษา

การปฏิบัติงาน	2542									2543					
	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.
การตรวจเอกสาร	←→														
เขียนโครงร่าง วิทยานิพนธ์		←→													
เตรียมอุปกรณ์ และสารเคมี			←→												
ทำการทดลองใน ห้องปฏิบัติการ					←→										
รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผล											←→				
จัดทำรายงาน วิทยานิพนธ์														←→	

หมายเหตุ

- ←→ แผนการปฏิบัติงาน
- ←·····→ การปฏิบัติงานจริง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

- 1.1 เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) รุ่น Flocculator SW 5 ของ Stuart Scientific
- 1.2 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น HM – 53 ของ TOA
- 1.3 เครื่องวัดและบันทึกการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV- 1601
- 1.4 เครื่องชั่งละเอียด รุ่น 2842 ของ Sartorius
- 1.5 เครื่องกวน โดยอาศัยแม่เหล็ก
- 1.6 เครื่องวัดความขุ่น
- 1.7 ชุดเครื่องมือรีฟลักซ์ สำหรับวิเคราะห์ค่าซีไอดี
- 1.8 นาฬิกาจับเวลา
- 1.9 เครื่องแก้วที่จำเป็น
- 1.10 เดสิเคเตอร์ (Dessicator) พร้อมสารดูดความชื้น

2. วัสดุที่ใช้ทดสอบ

2.1 สารสร้างตะกอน (Coagulant) ที่ใช้ในการทดลอง คือ

- 2.1.1 โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PACl) ชื่อทางการค้า PAC - AC/100S ; Commercial Grade ของบริษัท MC Industrial Chemical Co.,Ltd.
- 2.1.2 เฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric Sulphate, $Fe_2(SO_4)_3$) ชื่อทางการค้า Ferrix-3 ; Commercial Grade ของบริษัท MC Industrial Chemical Co.,Ltd.
- 2.1.3 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, $Ca(OH)_2$) ชื่อทางการค้า Hydrated Lime ; Commercial Grade ของบริษัท MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

(รายละเอียดลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบอยู่ในภาคผนวก ก)

2.2 สารช่วยตกตะกอน (Coagulant Aids หรือ Polymer) ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ

- 2.2.1 โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน ชื่อทางการค้า Magnafloc 2025 ; Commercial Grade ของบริษัท MC Industrial Chemical Co.,Ltd.
- 2.2.2 โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน ชื่อทางการค้า Zetag-63 ; Commercial Grade ของบริษัท MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

- 2.3 น้ำทิ้งจากป้อพักน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ
- 2.4 น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการย้อมจากหม้อต้มย้อม เลื่อนน้ำเสียที่มีโทนสีต่างกัน 4 ชนิด ดังนี้
- 2.4.1 สีดีสเพิส โทนสีเขียว ประกอบด้วยสีย้อม 3 ชนิด ได้แก่ Blue E-CD, Red E-CD และ Yellow E-CD
- 2.4.2 สีไคเรกท์ โทนสีน้ำเงิน ประกอบด้วยสีย้อม 4 ชนิด ได้แก่ Di Blue RNF, Di Blue GNF, Ka Su Red BWS และ Di Fast Yellow R
- 2.4.3 สีรีแอคทีฟ โทนสีแดง ประกอบด้วยสีย้อม 3 ชนิด ได้แก่ Intra navy hem, Pro Red H-E3B และ Pro yellow HE4R
- 2.4.4 สีเบสิคหรือสีแคทไอออนิก โทนสีเขียวมะกอก ประกอบด้วยสีย้อม 3 ชนิด ได้แก่ Kay Blue GSL-ED, Kay Red GRL-ED และ Kay Yel 3RL-ED
- 2.5 น้ำทิ้งภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อม 2 ประเภท คือ
- 2.5.1 น้ำแป้ง
- 2.5.2 โซเดียมซัลเฟต
- 2.6 สารเคมีปรับพีเอช
- 2.6.1 สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 2.6.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง
- 3.1 สารสร้างตะกอน
- ก) สารละลายโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร/ปริมาตร
- ข) สารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต ความเข้มข้น 10 % น้ำหนัก/ปริมาตร
- ค) สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10 % น้ำหนัก/ปริมาตร
- 3.2 สารละลายช่วยตกตะกอน
- ก) สารละลายโพลิเมอร์ชนิดแอนไอออน ความเข้มข้น 0.1 % น้ำหนัก/ปริมาตร
- ข) สารละลายโพลิเมอร์ชนิดแคทไอออน ความเข้มข้น 0.1 % น้ำหนัก/ปริมาตร
- 3.3 สารละลายกรดซัลฟูริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- ก) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 N
- ข) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N

3.3 แผนการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงการใช้สารเคมีในการสร้างตะกอนเพื่อกำจัดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอและศึกษาชนิดของสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดในการลดค่าซีโอดี โดยเลือกน้ำเสียที่มีโทนสีต่างกัน 4 ชนิด โดยมีขอบเขตการทดลองดังนี้

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH value)
2. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) โดยวิธี Opened Reflux Titrimetric Method ด้วย Dichromate
3. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS)
4. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) โดยวิธี Dilution Method
5. สี (Color) ด้วยเครื่องวัดและบันทึกการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสง 700 นาโนเมตร

3.3.1 กระบวนการลดค่าซีโอดีด้วยการตกตะกอนทางเคมี

1. การดำเนินงานวิจัยใช้ตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอของบริษัทไทยโพรเท็กซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด โดยมีตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา คือชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียจริงจากโรงงาน
 - ค่าซีโอดี ของน้ำเสียจริงประมาณ 500 มก./ล.
 - ค่าพีเอช ของน้ำเสียเท่ากับ 6 ± 1
 - อุณหภูมิ ของน้ำเสียประมาณ 35 ± 3 °C

1.1 พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุม มีดังนี้

พีเอช, ปริมาณการเติมสารตกตะกอนและสารช่วยตกตะกอน

1.2 กำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้

เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียในแต่ละโรงงานจึงเป็นการยากในการคาดคะเนปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม การทดลองนี้จึงต้องหาข้อ

ผลจากการทดลองที่ผ่านมาในลักษณะน้ำเสียเดียวกัน คือ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม จากงานวิจัยของ กาญจนินา (2535) ปริมาณโพธิ์ลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 100-1,500 มก./ล. ร่วมกับโพธิ์เมอร์ 0.2-5 มก./ล. ลดซีโอดีได้ 54.2-95.0% , สุภัทร (2535) ศึกษาการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตจากการจ่ายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าระบบอยู่ในช่วง 2.5-10 ก./ล. ลดซีโอดีได้ 29-75 % และ Nhuphan (1992) ใช้เฟอร์ริกซัลเฟต 200 มก./ล.ตกตะกอนร่วมกับโพธิ์เมอร์ 1-8 มก./ล. ลดซีโอดีได้ 81%

1.3 เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์

ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บเป็นตัวอย่างจาก โรงงานฟอกย้อมที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Chemical Treatment และ Biological Treatment เป็นน้ำใช้จากโรงงานและการฟอกย้อมซึ่งเป็นน้ำเสียประเภทสารอนินทรีย์ หลังจากผ่านการพักน้ำให้อุณหภูมิน้ำลดลงจาก 60°C เป็น 35°C บันทึกลักษณะทางกายภาพและเคมีได้แก่ ค่าซีโอดี พีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น สี ก่อนบำบัดด้วยสารเคมี ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำใช้วิธีทดสอบตาม Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 17 th Edition 1989. ซึ่งในการวัดค่าของสีในรูปของการดูดกลืนแสงนั้นด้วยเครื่องวัดและบันทึกการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) โดยจะต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม (optimum wavelength) โดยค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม คือ ค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์ ต่ำสุด ทำการทดลองหาซ้ำ 3 ครั้ง

2 ศึกษาการตกตะกอนโดยการทำจาร์เทสต์ โดยใช้สารตกตะกอน ได้แก่ PACl, $Fe_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$

2.1 การทดสอบขั้นต้น เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมเบื้องต้น

- 1) เติมน้ำตัวอย่าง 500 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม. ปรับพีเอช ให้เป็น 6 เติมน้ำ PACl ลงไปจำนวนหนึ่ง กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 20 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 3 นาที
- 2) สังเกตดูตะกอน ถ้าไม่เกิดให้เพิ่มปริมาณ PACl ขึ้นอีกทีละน้อย ทำซ้ำจนตะกอนเกิดชัดเจน ทำเช่นเดียวกันกับ $Fe_2(SO_4)_3$ และ $Ca(OH)_2$ นำค่าปริมาณสารเคมีที่ก่อให้เกิดตะกอนนี้ไปใช้ในการเลือกปริมาณสารเคมีในการทดลองขั้นต่อไป

2.2 การศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

- 1) น้ำตัวอย่าง 500 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ปรับค่าพีเอชในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบให้มีค่าอยู่ในช่วง 4-9 ตามลำดับ (หรือ 5-11 แล้วแต่สภาพของน้ำตัวอย่าง) ด้วย H_2SO_4 0.1 N หรือ NaOH 0.1 N

- 2) เติม PACI ในปริมาณเป็น 2 เท่าของที่ทดสอบปริมาณได้จากข้อ 2.1 เพื่อจะได้สังเกตตะกอนได้ชัดเจนขึ้น กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์เดินเครื่องกวนน้ำในบีกเกอร์ที่อัตราเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 2 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นกวนช้าอัตราเร็ว 20 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง
- 3) รินส่วนใสจากข้อ 2) นำไปหาพีเอช ซีไอดี และหาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและค่าซีไอดีที่เหมาะสมของปฏิกิริยาต่อไป ทำการทดลองซ้ำกับ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2.3 การศึกษาชนิดสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ศึกษาค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม

- 1) เติมน้ำตัวอย่าง 500 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ปรับค่าพีเอชในบีกเกอร์ให้อยู่ในช่วงที่จะทำให้พีเอชหลังปฏิกิริยาให้ได้ตามข้อ 2.2
- 2) เติม PACI ในปริมาณความเข้มข้นต่างๆ กัน เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ ที่สามารถลดค่าซีไอดีได้สูงสุด ทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นกวนช้าด้วยอัตราเร็ว 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที
- 3) รินน้ำส่วนใสมาค่าซีไอดี พีเอช แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีและปริมาณ PACI เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมต่อไป ทำการทดลองซ้ำกับ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2.4 การศึกษาประสิทธิภาพสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ร่วมกับสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม เลือกชนิดสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมโดยการทำซ้ำข้อ 2.3 ใช้ปริมาณ PACI ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจากข้อ 2.3

- 1) ปรับค่าพีเอช กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ทำการกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที
- 2) เติมสารช่วยตกตะกอนหรือ Polymer ชนิดแอนไอออน ให้มีค่าในปริมาณความเข้มข้นต่างๆ กันภายหลังจากการกวนเร็ว ทำการกวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที
- 3) รินน้ำส่วนใสมาค่าซีไอดี พีเอช ปริมาณตะกอน แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและปริมาณโพลีเมอร์ เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสม ทำการทดลองซ้ำกับ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$

ทำซ้ำข้อ 2.3 โดยใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน ปริมาณ PACI ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจากข้อ 2.3 และเติมโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน ในปริมาณต่างๆ กันภายหลังจากการกวนเร็ว

หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนรินน้ำส่วนใสที่ได้มาตรวจหาค่าซีโอดี พีเอช ปริมาณตะกอน แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและปริมาณโพลีเมอร์ เพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสม ทำการทดลองซ้ำกับ $Fe_2(SO_4)_3$ และ $Ca(OH)_2$

การพิจารณาเลือกพีเอช ปริมาณสารเคมีและปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่ใช้จากเงื่อนไขที่ให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงสุด รวมทั้งผลกระทบข้างเคียงที่เกิดขึ้นหลังการตกตะกอน

3.3.2 ศึกษาชนิดสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

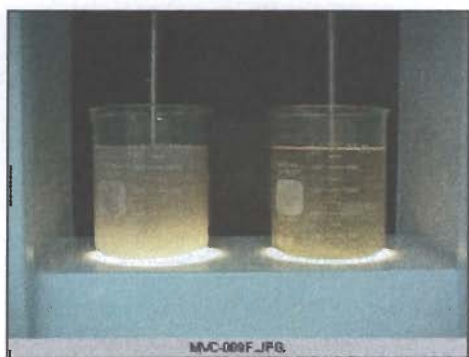
โดยวิเคราะห์น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อมตามโทนสี (สีเขียว สีนํ้าเงิน สีแดง สีเขียวมะกอก) เนื่องจากการย้อมให้เกิดโทนสีหนึ่งๆ จะใช้กลุ่มสีหลายชนิดเพื่อให้ได้โทนสีตามต้องการ คำนวณหาปริมาณการใช้สีเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าซีโอดีและการตกตะกอน ดังนี้

- 1) นำตัวอย่างน้ำย้อมตามโทนสีต่างๆ มาตัวอย่างละ 500 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม.
- 2) ปรับพีเอช ปริมาณสารเคมีและปริมาณสารช่วยตกตะกอน ตามค่าที่ได้จากข้างต้น กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที
- 3) รินน้ำส่วนใสที่ได้มาตรวจหาค่าซีโอดี เปรียบเทียบความสามารถในการตกตะกอน และประสิทธิภาพในการบำบัดโดยการวัดค่าการกำจัดสีเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์และศึกษาผลกระทบข้างเคียงร่วมด้วย

3.3.3 ศึกษาชนิดสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อม (Additives) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

โดยวิเคราะห์น้ำทิ้งที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมเพื่อให้สีติดเนื้อผ้าดีขึ้นและปรับสภาพเนื้อผ้าตามต้องการ ในขั้นตอนนี้สารที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าซีโอดีของน้ำทิ้งคือ น้ำแป้งและโซเดียมซัลเฟต คำนวณปริมาณสารเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าซีโอดีและการตกตะกอน ดังนี้

- 1) นำตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อม มาตัวอย่างละ 500 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม.
- 2) ปรับพีเอช ปริมาณสารเคมีและปริมาณสารช่วยตกตะกอน ตามค่าที่ได้จากข้างต้น กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที
- 3) รินน้ำส่วนใสที่ได้มาตรวจหาค่าซีโอดี พีเอช เปรียบเทียบความสามารถในการตกตะกอนและประสิทธิภาพในการบำบัด โดยวัดค่าการกำจัดสีเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์และศึกษาผลกระทบข้างเคียงร่วมด้วย



(ก) เครื่องกวนซารีเทสต์ (Jar test)



(ข) ชุดเครื่องมือ Reflux



(ค) ชุดวิเคราะห์หาบีโอดี



(ง) เครื่องมือหาค่าพีเอช



(จ) ชุดเครื่องมือหาค่าดีไอ (DO)

รูปที่ 3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.4 ประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลอง ทำให้ทราบถึงชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย นำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณค่าสารเคมีที่ต้องใช้ในการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ทำการศึกษา โดยคำนวณปริมาณ PACl, $Fe_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$, โพลีเมอร์ และปริมาณ $H_2SO_4/NaOH$ ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนกับขนาดระบบบำบัดน้ำเสียจริงของโรงงานในสถานะที่ถือว่าเป็นสถานะที่เหมาะสมในการทดลองและเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยครั้งนี้แบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 2 ขั้นตอนหลัก โดยขั้นตอนแรกเป็นการเลือกประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการตกตะกอนเพื่อลดค่าซีโอดีจากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อกักน้ำเสียจริงในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยทดลองดังนี้

1. การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียทางเคมีและทางกายภาพของน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด
2. การหาค่าพีเอชและปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการตกตะกอน

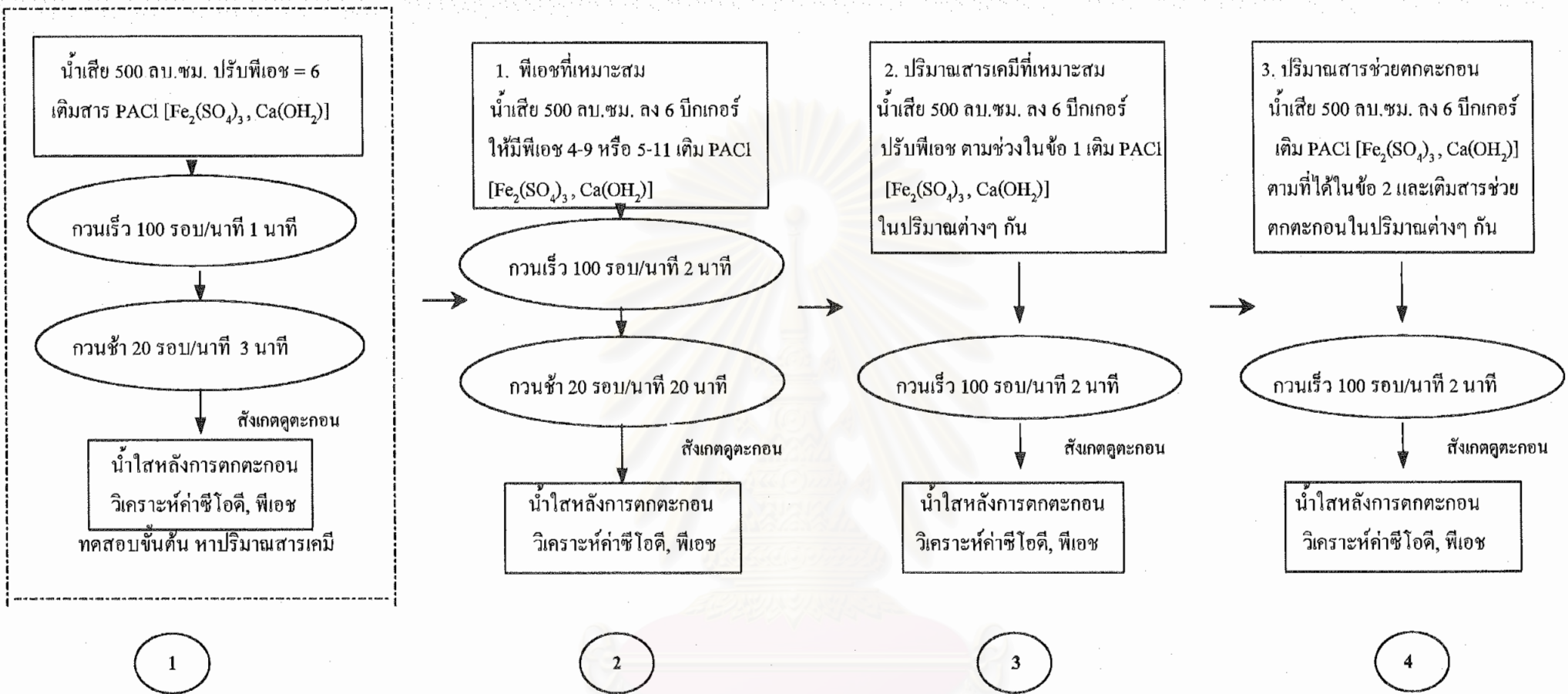
ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาการลดค่าซีโอดีจากน้ำเสียที่ปล่อยออกมาหลังจากผ่านกระบวนการย้อมจากหม้อต้มย้อมผ้าแล้วเพื่อศึกษาชนิดของสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ดังแผนภูมิที่ 3.4.1 และ 3.4.2 ส่วนแผนภูมิที่ 3.4.3 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การหาค่าเปอร์เซ็นต์การลดค่าซีโอดีใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดค่าซีโอดี} = (C_0 - C) / C_0 \times 100 \quad (3.4.1)$$

โดยที่ C_0 = ค่าซีโอดีเริ่มต้นก่อนการบำบัด

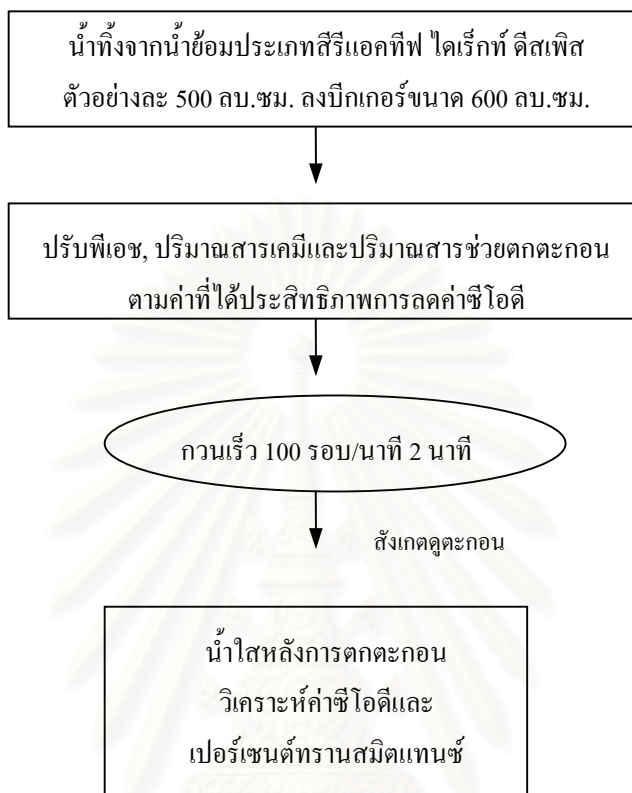
C = ค่าซีโอดีเมื่อผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้ว



นำผลของขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นการทดสอบขั้นต้นเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ค่าพีเอชแล้ว นำผลที่ได้มาหาปริมาณสารเคมีดังในขั้นตอนที่ 3 และหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนได้ในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอนต้องนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

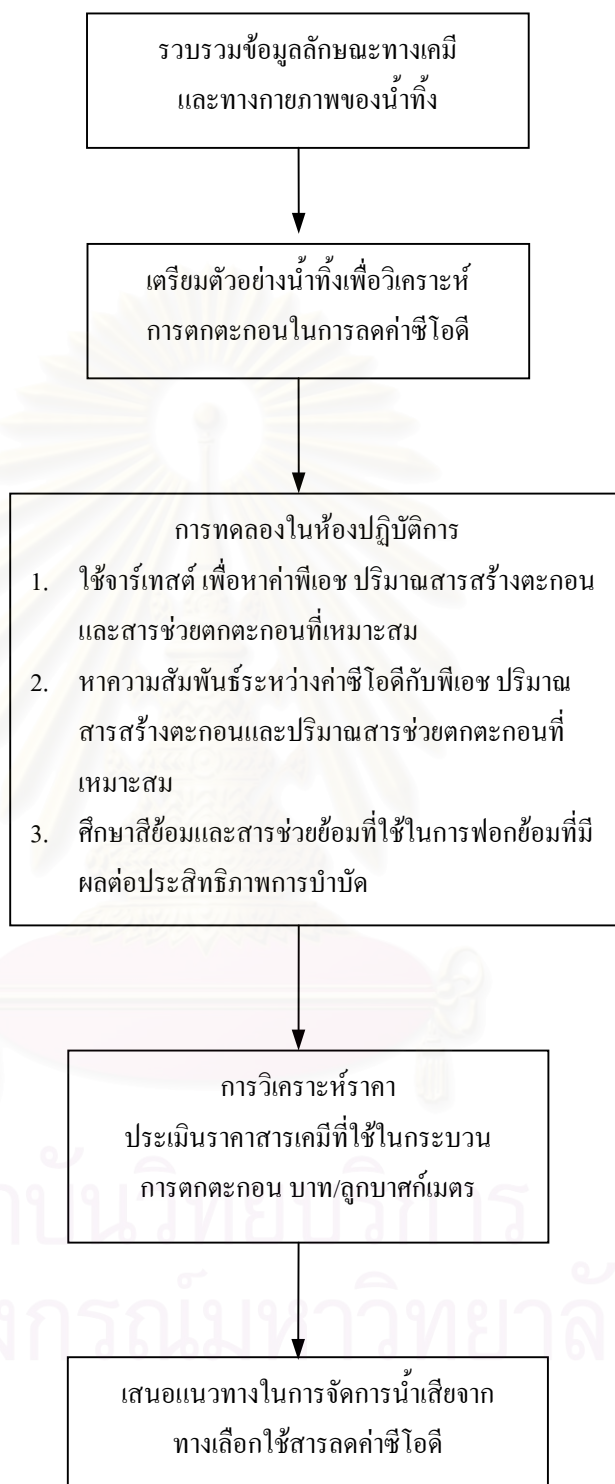
หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำกับ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เปรียบเทียบผลกันทั้ง 3 สารเคมี

แผนภูมิที่ 3.4.1 การเลือกประสิทธิภาพของสารเคมีในการลดค่าซีโอดี

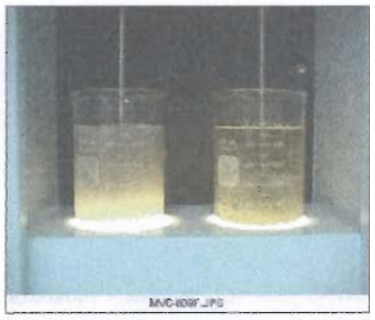
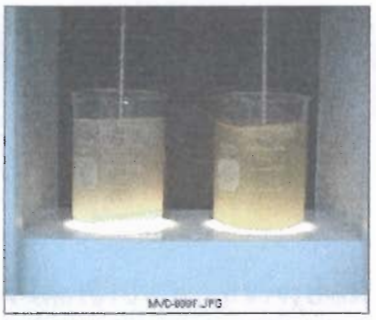


แผนภูมิที่ 3.4.2 ศึกษาสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบชนิดของสีย้อมที่มีประสิทธิภาพการบำบัด โดยใช้ผลการทดลองที่ได้จากการพิจารณาเงื่อนไขการตกตะกอนที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการตกตะกอนและประสิทธิภาพการบำบัดโดยชนิดของสีย้อมจะเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีอีกตัวและทำการวัดค่าการกำจัดสีเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์ร่วมด้วย



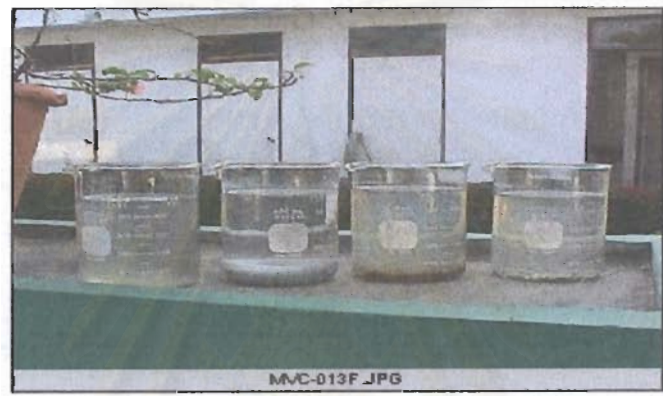
แผนผังที่ 3.4.3 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย



(A) เปรียบเทียบน้ำกลั่น-น้ำทิ้ง

(B) จาร์เทสต์ - กวนเร็ว

(C) จาร์เทสต์ - กวนช้า



(D) น้ำทิ้ง - ตกตะกอนกับ PACl, Fe₂SO₄, CaOH₂

- (1)
- (2)
- (3)
- (4)



(E) การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี



(F) ทักสารไตเตรทหาจุด end point

รูปที่ 3.5.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.6 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science Version 9 and 10)

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าร้อยละ (Percentage) พิสัย (Range) และฐานนิยม (Mode)

2. สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน มีหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้ดังนี้

- ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติหรือไม่ โดยใช้กราฟตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลแบบ Boxplot

- เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างกลุ่มสารสร้างตะกอน และกลุ่มควบคุมโดยใช้ T-test

- ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ กับผลการลดค่าซีโอดี ในแต่ละกลุ่มของสารสร้างตะกอนและกลุ่มควบคุมโดยใช้ Multiple Regression Analysis เพื่อศึกษาว่าตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดเป็นตัวแปรอิสระมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามมากน้อยเพียงใด

ตัวแปรตาม คือ ค่าซีโอดีที่ลดลงหลังการตกตะกอน

ตัวแปรอิสระ คือ ค่าพีเอช ปริมาณสารสร้างตะกอนและปริมาณสารช่วยตกตะกอน

สมการความถดถอยในรูปเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X ดังนี้

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + e$$

โดยที่ a = ค่าคงที่

b, c, d = สัมประสิทธิ์ความถดถอย

Y = ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี (%)

X₁ = ค่าพีเอช

X₂ = ปริมาณสารสร้างตะกอน (มก./ล.)

X₃ = ปริมาณสารช่วยตกตะกอน (มก./ล.)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

ในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539) กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 120 มก./ล. จึงจะยอมให้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

จากการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ถูกรวบรวมอยู่ในบ่อพักน้ำเสีย (Equalizing Wastewater) ของโรงงานไทยเท็กซ์ไทล์มีลต์ จำกัด สรุปได้ดังตาราง 4.1.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำเสียในแต่ละเดือนจะมีลักษณะคุณสมบัติแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสี สารเคมี และสารช่วยย้อมซึ่งเป็นไปตามความต้องการของลูกค้าที่ต้องการผ้าและปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน กำลังการผลิตประมาณ 2,300,000 หลาต่อเดือน น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมดประมาณ 120,900 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในสภาวะการผลิตปกติจะเข้าระบบบำบัดประมาณ 105,500 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน หรือ 3,700 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนที่เหลือ 15,400 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน นำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตอีก ปริมาณน้ำใช้ต่อวันเป็นดังนี้ ในโรงงานฟอกย้อมใช้ 2,900 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หอพักและที่อื่นๆ ใช้ 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำจากการฟอกย้อมเป็นน้ำเสียประเภทสารอนินทรีย์ ส่วนมากประกอบด้วยอนุภาค คอลลอยด์ที่ตกตะกอน ไม่ตกตะกอน และอนุภาคที่แขวนลอย

สีที่ใช้เดือนละ 7,000 กิโลกรัมต่อเดือน เหลือเป็นของเสียที่ต้องกำจัดโดยการเผาของเสีย ประมาณ 10 % = 700 กิโลกรัมต่อเดือน ทั้งนี้ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โรงอาหาร หอพัก รวมทั้ง น้ำใช้ในอาคารสำนักงาน จะถูกส่งมายังบ่อพักเพื่อรองรับด้วย

ดังนั้นจึงทำการวิจัยเพื่อลดค่าซีโอดีโดยวิธีโคแอกกูเลชัน โดยการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสม (Optimum pH), ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum dose), และปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม (Optimum polymer) ที่จะให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งสูงสุดและผลของสีย้อมที่ผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ 4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากบ่อกักที่เข้าสู่ระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

เดือน	Influent					Effluent			
	ค่า pH	COD ₁ (mg/L)	COD ₂ (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	ค่า pH	COD ₃ (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)
ค่ามาตรฐาน	-	-	-	-	-	5.5-9.0	120.00	20.00	50.00
ม.ค. 2542	7.56	359.26	253.54	92.49	38.29	7.50	135.22	24.15	16.71
มี.ย. 2542	7.14	421.37	309.82	90.64	42.57	7.40	122.24	18.90	11.43
ต.ค. 2542	7.07	408.10	278.51	91.16	27.87	7.12	99.43	20.60	9.75
พ.ย. 2542	7.21	467.71	292.04	96.52	34.28	7.16	115.24	22.52	16.57
ธ.ค. 2542	7.21	439.74	291.50	90.08	46.80	7.42	139.57	23.49	21.00
ม.ค. 2543	7.12	451.70	304.57	108.99	36.75	7.24	146.68	24.49	12.00
ก.พ. 2543	7.27	450.74	301.95	103.64	35.12	7.29	152.60	32.32	11.60
Average	7.23	428.37	290.28	96.22	37.38	7.30	130.14	23.77	14.15

% COD removal 100 % → 32.24 % → 55.17 % (1)
 100% → 69.62 % (2)

ที่มา : โรงงานไทยโทรเท็กซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด (มหาชน)

หมายเหตุ : COD₁ หมายถึง ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบบำบัด

COD₂ หมายถึง ค่าซีโอดีที่ได้หลังการตกตะกอนทางเคมี

COD₃ หมายถึง ค่าซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดทางชีววิทยาแล้วพร้อมปล่อยลงสู่แม่น้ำ

(1) หมายถึง จาก Influent 100 % ผ่านกระบวนการทางเคมีลดได้ 32.24 % และจากนี้ผ่านกระบวนการทางชีววิทยาแล้วจะลดลงคิดเป็น 55.17 % จากกระบวนการทางเคมี

(2) หมายถึง จาก Influent 100 % คิดจาก (1) ปล่อยลงสู่แม่น้ำสามารถบำบัดได้ 69.92

4.2 ผลการทดลองกระบวนการลดค่าซีโอดีด้วยการตกตะกอนทางเคมี

น้ำทิ้งจากบ่อกักมีลักษณะขุ่นสีดำคล้ำ มีอนุภาคคอลลอยด์ปริมาณมากขนาดใหญ่ มองเห็นได้ชัดเจน กลิ่นฉุนเล็กน้อย ค่าพีเอช 7.21 อุณหภูมิ 38 °C ค่า Conductivity 338.8 ค่าดีไอ 1.0 มก./ล. ค่าซีโอดี 551 มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอย 44.12 มก./ล. ค่าบีโอดี 98.15 มก./ล. สีเป็นค่าทรานสมิตแดนที่ 65.21 %

4.2.1 ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) เป็นสารสร้างตะกอน

ขั้นตอนที่ 1 (Pre-Treatment)

ในขั้นตอนนี้จะเติม PACI ลงในน้ำตัวอย่างในระดับความเข้มข้นช่วง 100 – 6,000 มก./ล. เพื่อหาปริมาณ PACI ที่เหมาะสมเบื้องต้น โดยน้ำตัวอย่างในขั้นตอนนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช คือใช้พีเอชเดิมของน้ำทิ้งซึ่งเท่ากับ 7.21 ผลที่ได้ดังนี้

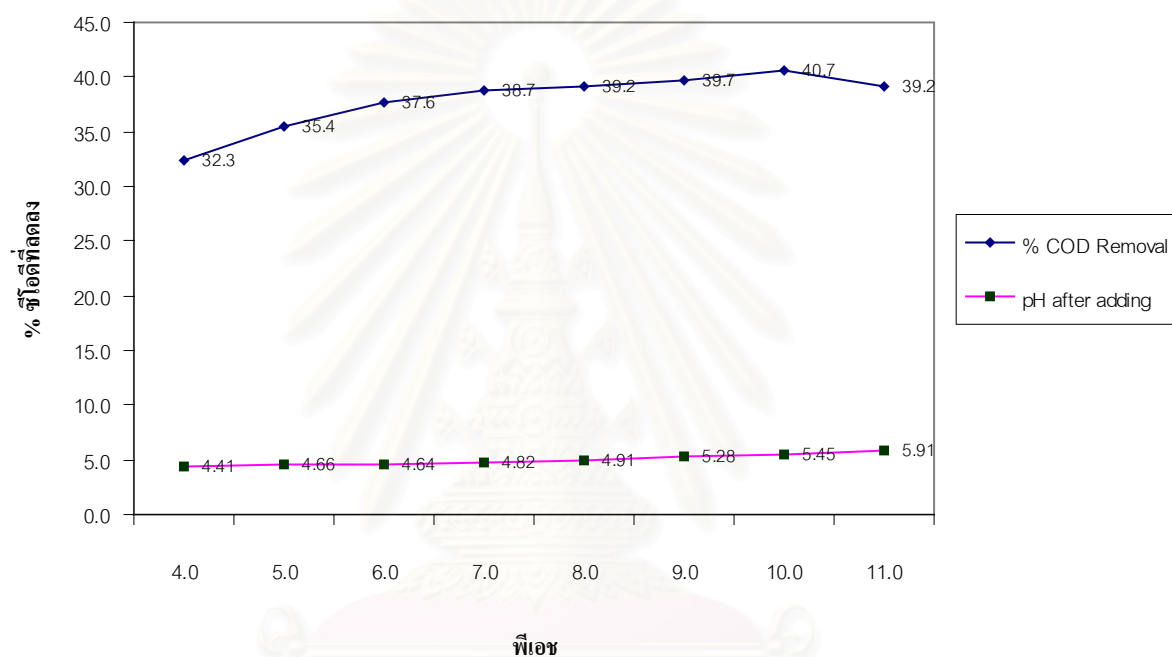
ตารางที่ 4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) ที่เหมาะสมเบื้องต้น (Pre-Treatment) จากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่าพีเอช 7.21

ปริมาณสาร PACI (มก./ล.)	ลักษณะน้ำที่ได้	พีเอชหลังตกตะกอน	เวลาดกตะกอน (นาที)
100	น้ำขุ่น ไม่ใส	6.54	มากกว่า 10
150	น้ำขุ่น ไม่ใส	6.38	~ 10
200	น้ำใสเล็กน้อย	6.22	~ 8-10
250	น้ำใสปานกลาง	6.03	8-10
300	น้ำค่อนข้างใส	5.91	~ 5-8
350	น้ำใส	5.79	~ 5
400	น้ำใส	5.57	น้อยกว่า 5
450	น้ำใส	5.25	~ 5-8
500	น้ำใส	5.01	น้อยกว่า 5
600	น้ำใส	4.62	~ 5
800	น้ำใส ตั้งทิ้งไว้ขุ่น	4.26	~ 5-8
1,000	น้ำใส ตั้งทิ้งไว้ขุ่น	4.14	~ 5
2,000	น้ำใส	4.17	~ 5
3,000	น้ำใส	4.08	น้อยกว่า 5
6,000	น้ำใส	4.00	น้อยกว่า 5

หมายเหตุ ปริมาณสาร PACI ที่เหมาะสม และนำไปใช้ต่อไปคือ 400 มก./ล.

ขั้นตอนที่ 2 (Optimum pH)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 4.00-11.00 เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยน้ำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติม PACI ลงในระดับความเข้มข้น 400 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าปริมาณสารสร้างตะกอนที่ทำการทดลองเบื้องต้นแล้วให้การตกตะกอนที่ดี ผลที่ได้ดังนี้

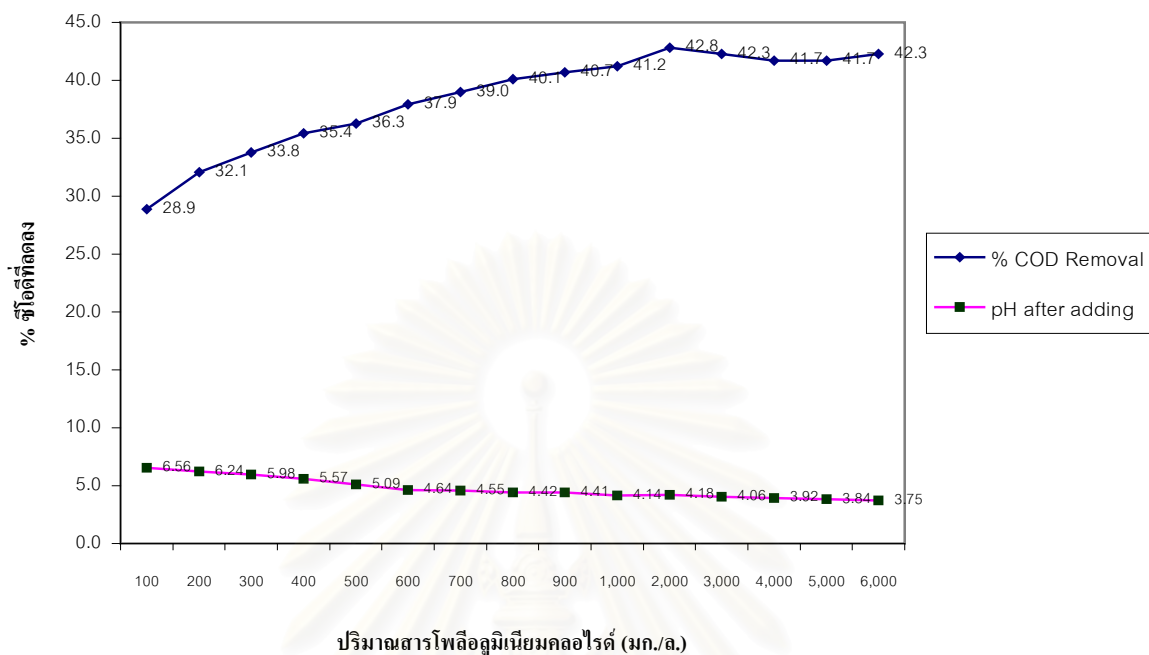


รูปที่ 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน

จากผลการทดลองการลดค่าซีโอดีด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 เมื่อแปรผันพีเอชของตัวอย่างน้ำทั้งตั้งแต่ 4.00-11.00 พบว่าที่พีเอช 10.00 ให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงสุดคือ ร้อยละ 40.7 ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ คือ พีเอชเริ่มต้น 10.00

ขั้นตอนที่ 3 (Optimum Dose)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 10.00 โดยน้ำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติม PACI ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้



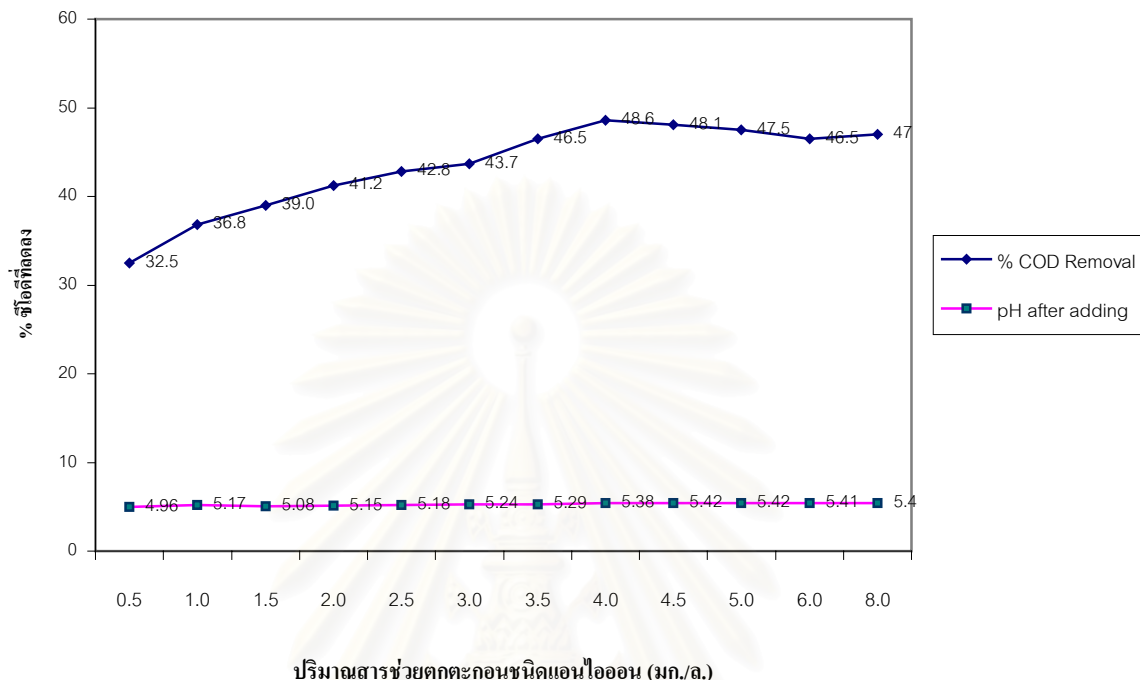
รูปที่ 4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์กับร้อยละซีไอทีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 ทำให้สามารถปรับพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมดังกล่าวก่อนจากรูปที่ 4.1.2 เมื่อแปรผันปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ตั้งแต่ 100-6,000 มก./ล. พบว่าปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีไอทีสูงสุดร้อยละ 42.8 ดังนั้นปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 2,000 มก./ล.

ขั้นตอนที่ 4 (Optimum Polymer)

4.1.1 โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 10.00 และเติมสารตกตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดซีไอทีได้สูงสุดคือ 2,000 มก./ล. โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติมสารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้

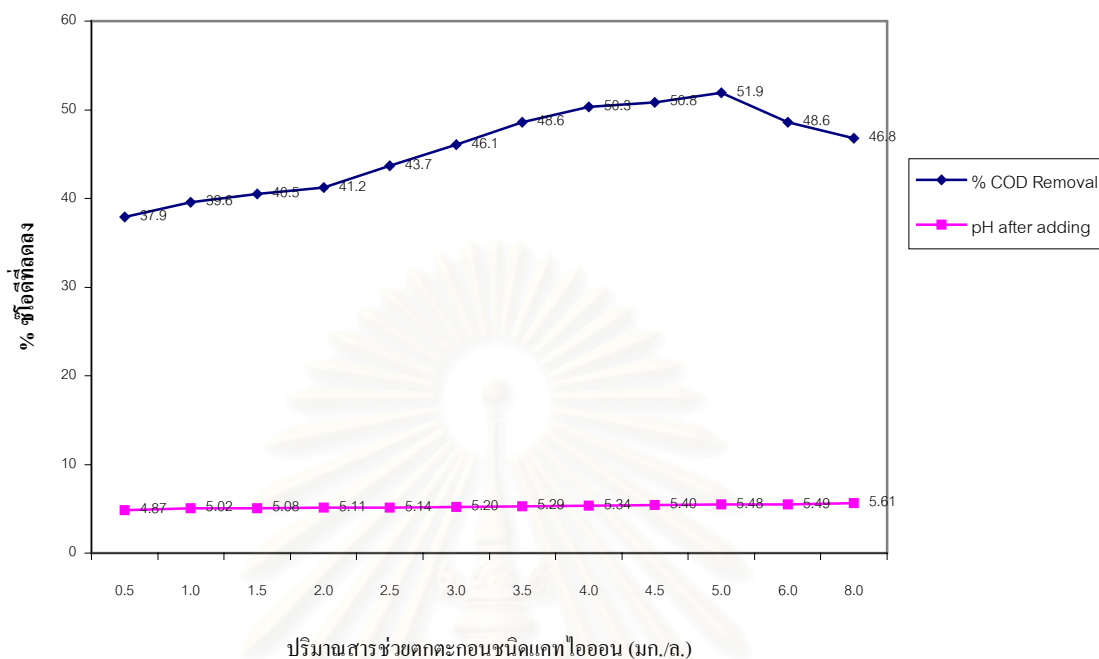


รูปที่ 4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน (Anionic Polymer) กับ ร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ทำให้สามารถปรับพีเอช ปริมาณสารตกตะกอนดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.1.3 เมื่อแปรผันปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนตั้งแต่ 0.5-8.0 มก./ล. พบว่าปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน 4.0 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุดร้อยละ 48.6 ดังนั้นปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 4.0 มก./ล.

4.1.2 โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 10.00 และเติมสารตกตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดซีโอดีได้สูงสุดคือ 2,000 มก./ล. โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติมสารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน (Cationic Polymer) กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ทำให้สามารถปรับพีเอช ปริมาณสารตกตะกอนดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.1.4 เมื่อแปรผันปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนตั้งแต่ 0.5-8.0 มก./ล. พบว่าปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 5.0 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุด คือ ร้อยละ 51.9 ดังนั้นปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 5.0 มก./ล.

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนและแคทไอออน พบว่าชนิดแคทไอออนให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนสำหรับการตกตะกอนร่วมกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

ขั้นตอนที่ 5 (Optimum Condition)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 10.00 และเติมสารสร้างตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดซีโอดีได้สูงสุดคือ 2,000 มก./ล. ทำการเติมสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนในปริมาณ 5.0 มก./ล. ในจุดที่เหมาะสมมาหาค่าบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยและวัดสีเป็นค่าแอมซอร์บแนนซ์และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ ผลที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2.1.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการตกตะกอนด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

พารามิเตอร์	ก่อนตกตะกอน	หลังตกตะกอน	(%)
ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	44.12	11.26	+ 74.48
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	98.15	20.23	+ 79.39
ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน	0.1857	0.0182	+ 90.20
ค่าทรานสมิตเทนซ์ (%)	65.21	95.89	- 47.05

หมายเหตุ : + หมายถึง % ที่ค่าพารามิเตอร์ลดลง
 - หมายถึง % ที่ค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น

4.2.2 ใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) เป็นสารสร้างตะกอน

ขั้นตอนที่ 1 (Pre-Treatment)

ในขั้นตอนนี้จะเติม $Fe_2(SO_4)_3$ ลงในน้ำตัวอย่างในระดับความเข้มข้นช่วง 100 – 1,000 มก./ล. เพื่อหาปริมาณ $Fe_2(SO_4)_3$ ที่เหมาะสมเบื้องต้น โดยน้ำตัวอย่างในขั้นตอนนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชคือใช้พีเอชเดิมของน้ำทิ้งซึ่งเท่ากับ 7.21 ผลที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตที่เหมาะสมเบื้องต้น (Pre-Treatment) จากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่าพีเอช 7.21

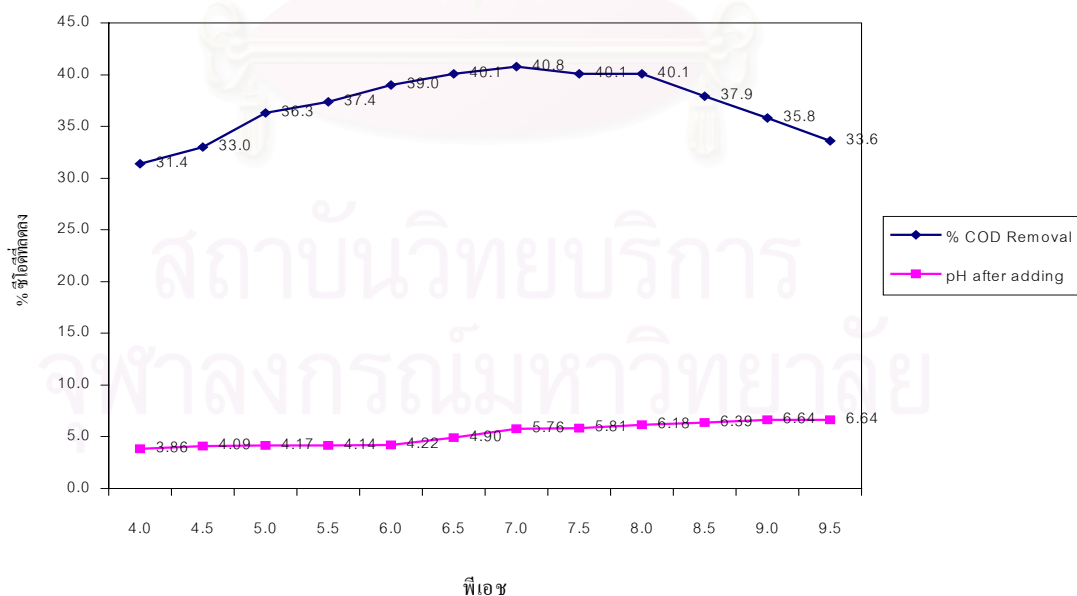
ปริมาณสาร $Fe_2(SO_4)_3$ (มก./ล.)	ลักษณะน้ำที่ได้	พีเอชหลังตกตะกอน	เวลาดตกตะกอน (นาที)
100	น้ำขุ่น สีเหลือง	6.62	มากกว่า 20
150	น้ำขุ่น สีเหลือง	6.48	~ 20
200	น้ำใสเล็กน้อย	6.24	~ 18-20
250	น้ำใสปานกลาง	6.09	~ 15-18
300	น้ำค่อนข้างใส	5.74	~ 15

ปริมาณสาร $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (มก./ล.)	ลักษณะน้ำที่ได้	พีเอชหลังตกตะกอน	เวลาดตกตะกอน (นาที)
350	น้ำใส	5.36	~ 10
400	น้ำใส	4.91	น้อยกว่า 10
450	น้ำใส	5.20	~ 8
500	น้ำไม่ใส	5.07	~ 10
600	น้ำใสเล็กน้อย	4.64	~ 10
800	ตั้งทิ้งไว้ขุ่นแดง	4.29	~ 10-15
1000	ตั้งทิ้งไว้ขุ่นแดง	4.22	~ 10-15

หมายเหตุ ปริมาณสาร $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ที่เหมาะสม และนำไปใช้ต่อไปคือ 350 มก./ล.

ขั้นตอนที่ 2 (Optimum pH)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 4-9.5 เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติม $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ลงในระดับความเข้มข้น 350 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าปริมาณสารสร้างตะกอนที่ทำการทดลองเบื้องต้นแล้วให้การตกตะกอนที่ดี ผลที่ได้ดังนี้

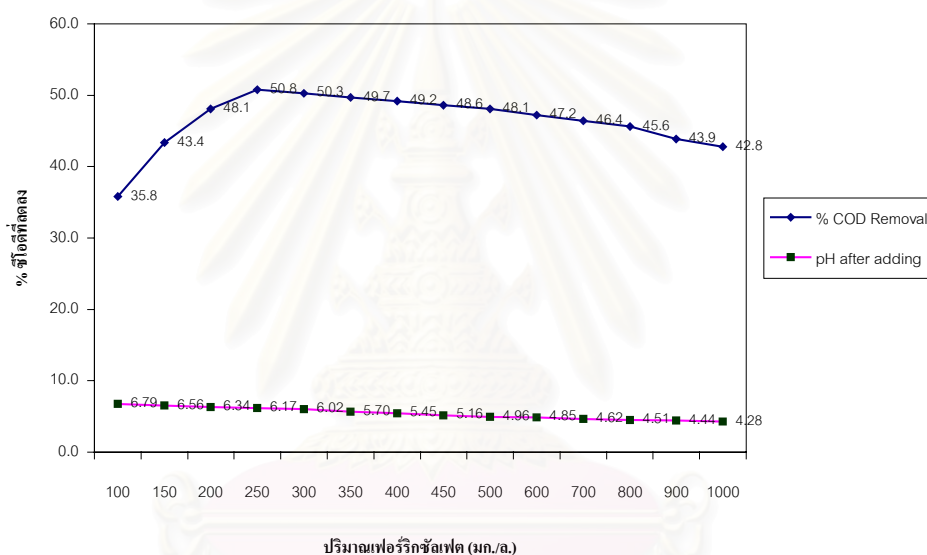


รูปที่ 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน

จากผลการทดลองการลดค่าซีโอดีด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต ดังแสดงในรูปที่ 4.2.1 เมื่อแปรผันพีเอชของตัวอย่างน้ำทิ้งตั้งแต่ 4.00-9.50 พบว่าที่พีเอช 7.00 ให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงสุดคือร้อยละ 40.8 ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนเฟอร์ริกซัลเฟต คือ พีเอชเริ่มต้น 7.00

ขั้นตอนที่ 3 (Optimum Dose)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 7.00 โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติม $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้



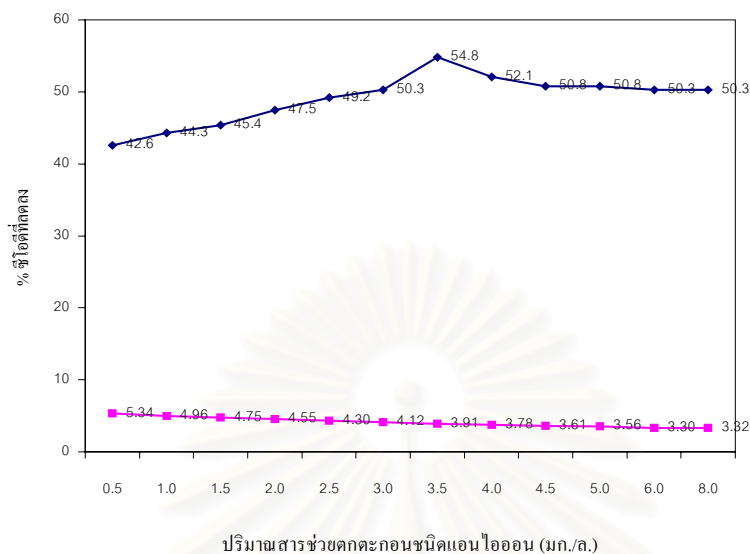
รูปที่ 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและพีเอชที่ได้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.2.1 ทำให้สามารถปรับพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.1.2 เมื่อแปรผันปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตตั้งแต่ 100-1,000 มก./ล. พบว่าเฟอร์ริกซัลเฟต 250 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุด 50.8 % ดังนั้นปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 250 มก./ล.

ขั้นตอนที่ 4 (Optimum Polymer)

4.2.1 โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน

ขั้นตอนนี้ปรับพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ pH = 7.00 เติมสารสร้างตะกอนปริมาณที่ลดซีโอดีได้สูงสุดคือ 250 มก./ล. โดยเติมสารช่วยตกตะกอนในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้

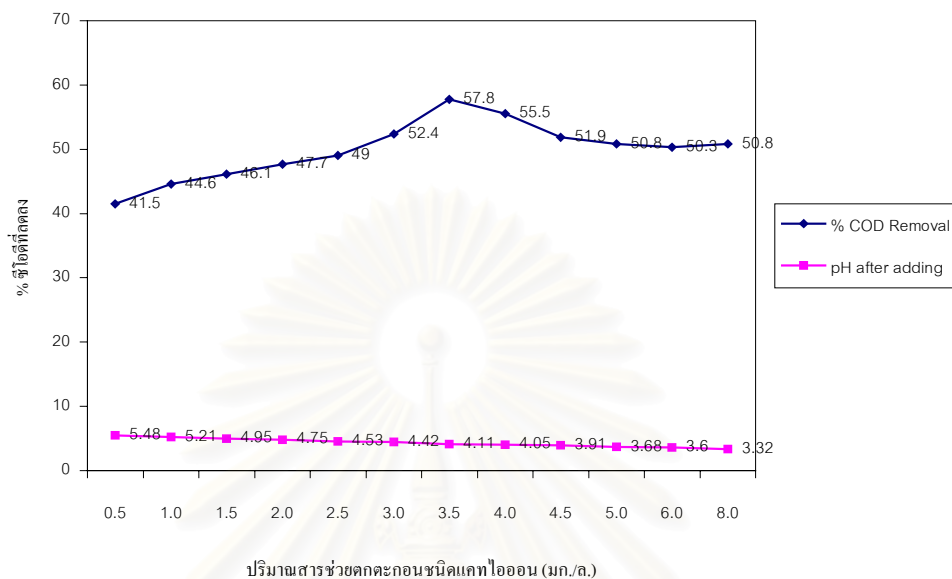


รูปที่ 4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน (Anionic Polymer) กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ทำให้สามารถปรับพีเอช ปริมาณสารตกตะกอนดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.2.3 เมื่อแปรผันปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนตั้งแต่ 0.5-8.0 มก./ล. พบว่าปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน 3.5 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุด คือ ร้อยละ 54.8 ดังนั้นปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 3.5 มก./ล.

4.2.2 โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 7.00 และเติมสารสร้างตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดซีโอดีได้สูงสุดคือ 250 มก./ล. โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติมสารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้



รูปที่ 4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน (Cationic Polymer) กับ ร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองดังในรูปที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ทำให้สามารถปรับพีเอช ปริมาณสารตกตะกอนดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.2.4 เมื่อแปรผันปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนตั้งแต่ 0.5-8.0 มก./ล. พบว่าปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.5 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุด คือร้อยละ 57.8 ดังนั้นปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมคือ 3.5 มก./ล.

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนและแคทไอออน พบว่าชนิดแคทไอออนให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนสำหรับการตกตะกอนร่วมกับเฟอร์ริกซัลเฟต

ขั้นตอนที่ 5 (Optimum Condition)

ขั้นตอนนี้ปรับพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ $\text{pH} = 7.00$ และเติมสารสร้างตะกอนปริมาณที่ลดซีโอดีได้สูงสุดคือ 250 มก./ล. เติมสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนในปริมาณ 3.5 มก./ล. ในจุดที่เหมาะสมมาหาค่าบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยและวัดสีเป็นค่าแอมซอร์บแนนซ์และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ ผลที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2.2.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

พารามิเตอร์	ก่อนตกตะกอน	หลังตกตะกอน	(%)
ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	44.12	16.74	+ 62.06
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	98.15	22.56	+ 77.01
ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน	0.1857	0.1716	+ 7.59
ค่าทรานสมิตเทนซ์ (%)	65.21	67.36	- 3.30

หมายเหตุ : + หมายถึง % ที่ค่าพารามิเตอร์ลดลง
 - หมายถึง % ที่ค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น

4.2.3 ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เป็นสารสร้างตะกอน

ขั้นตอนที่ 1 (Pre-Treatment)

ในขั้นตอนนี้จะเติม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ลงในน้ำตัวอย่างในระดับความเข้มข้นช่วง 100 – 1,000 มก./ล. เพื่อหาปริมาณ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่เหมาะสมเบื้องต้น โดยน้ำตัวอย่างในขั้นตอนนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชคือใช้พีเอชเดิมของน้ำทิ้งซึ่งเท่ากับ 7.21 ผลที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2.3.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเบื้องต้น (Pre-Treatment) จากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่าพีเอช 7.21

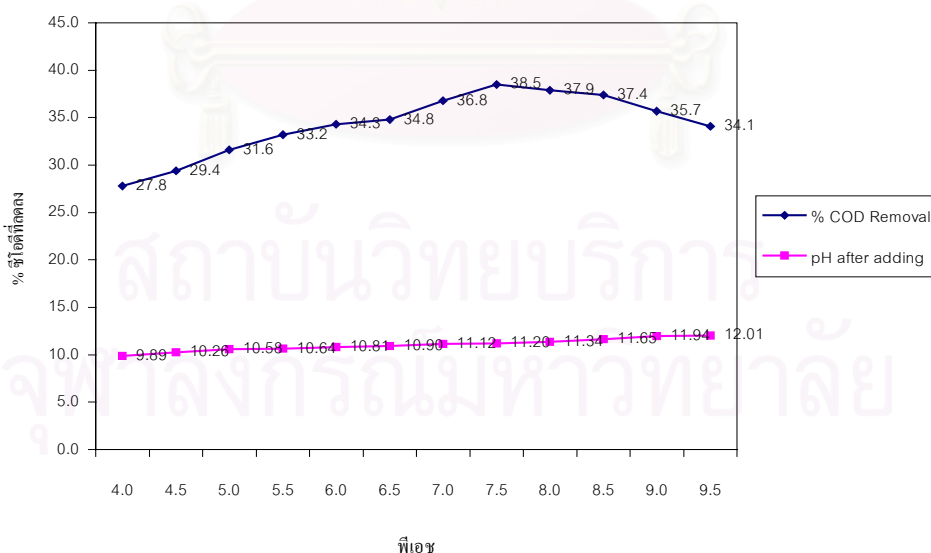
ปริมาณสาร $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (มก./ล.)	ลักษณะน้ำที่ได้	พีเอชหลังตกตะกอน	เวลาดตกตะกอน (นาที)
100	น้ำขุ่นเป็นฝ้าที่ผิว	9.6	มากกว่า 10
150	น้ำขุ่นเป็นฝ้าที่ผิว	10.2	~ 10
200	น้ำใสเล็กน้อย	10.5	~ 8-10
250	น้ำใสปานกลาง	10.6	~ 5
300	น้ำค่อนข้างใส	11.0	~ 5

ปริมาณสาร Ca(OH)_2 (มก./ล.)	ลักษณะน้ำที่ได้	พีเอชหลังตกตะกอน	เวลาดตกตะกอน (นาที)
350	น้ำค่อนข้างใส	11.3	~ 5
400	น้ำใส	11.5	น้อยกว่า 5
450	น้ำใส	11.6	~ 5
500	น้ำใส	11.7	~ 8-10
600	น้ำใสเล็กน้อย	12.0	มากกว่า 10
800	น้ำใส ตั้งทิ้งไว้ขุ่น	12.2	~ 10-15
1000	น้ำไม่ใส	12.5	~ 15

หมายเหตุ ปริมาณสาร Ca(OH)_2 ที่เหมาะสม และนำไปใช้ต่อไปคือ 400 มก./ล.

ขั้นตอนที่ 2 (Optimum pH)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 4.00-11.00 เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติม Ca(OH)_2 ลงในระดับความเข้มข้น 400 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าปริมาณสารสร้างตะกอนที่ทำการทดลองเบื้องต้นแล้วให้การตกตะกอนที่ดี ผลที่ได้ดังนี้

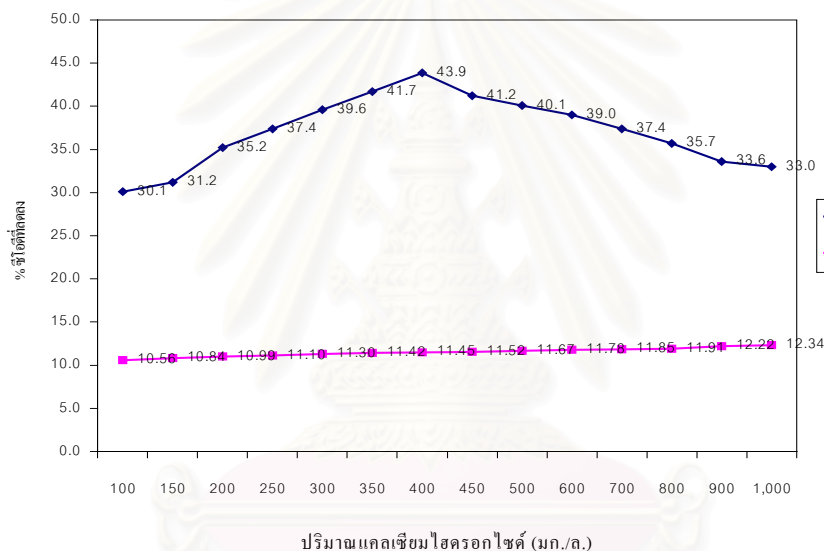


รูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน

จากผลการทดลองการลดค่าซีโอดีด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1 เมื่อแปรผันพีเอชของตัวอย่างน้ำที่ตั้งแต่ 4.00-9.50 พบว่าที่พีเอช 7.50 ให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีสูงสุดคือร้อยละ 38.5 ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ คือ พีเอชเริ่มต้น 7.50

ขั้นตอนที่ 3 (Optimum Dose)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 7.50 โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติม Ca(OH)_2 ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้



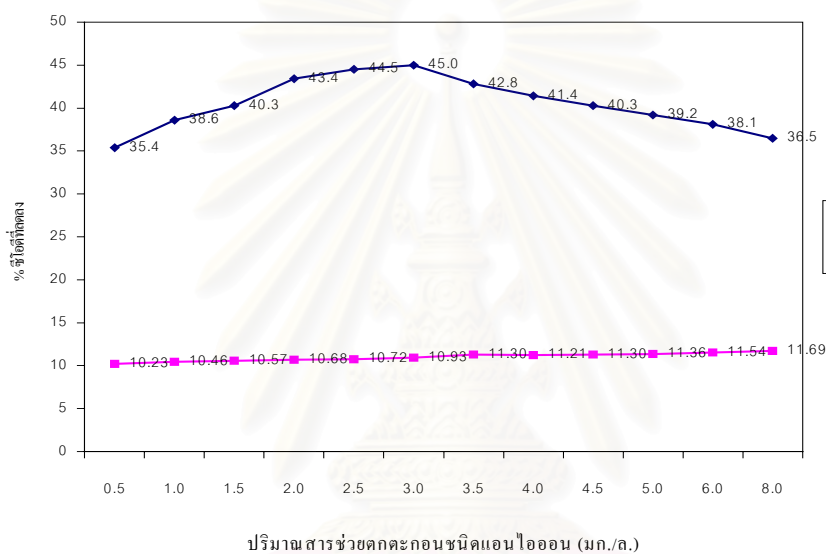
รูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3.1 ทำให้สามารถปรับพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมดังกล่าวก่อนจากรูปที่ 4.3.2 เมื่อแปรผันปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 100-1,000 มก./ล. พบว่าปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุดคือร้อยละ 43.9 ดังนั้นปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 400 มก./ล.

ขั้นตอนที่ 4 (Optimum Polymer)

4.1 โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 7.50 และเติมสารตกตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดยอดซีไอดีได้สูงสุดคือ 400 มก./ล. โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติมสารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้

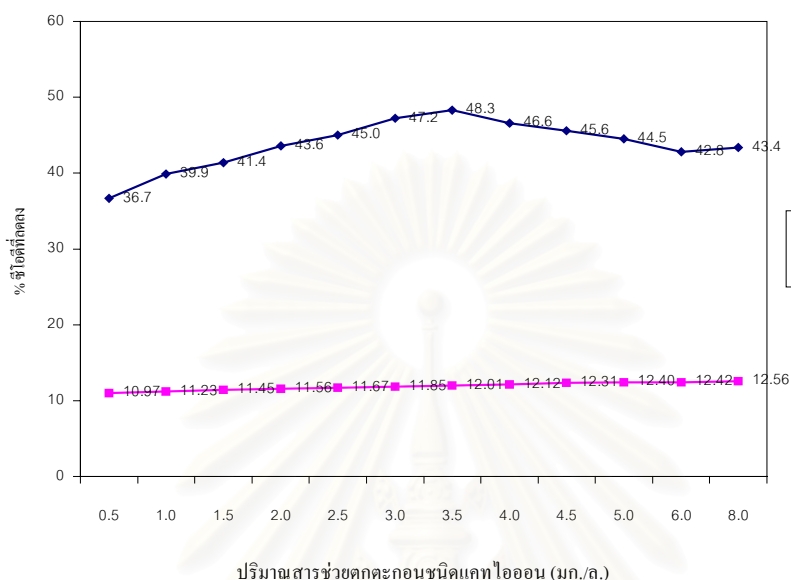


รูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน (Anionic Polymer) กับ ร้อยละซีไอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ทำให้สามารถปรับพีเอช ปริมาณสารตกตะกอนดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.3.3 เมื่อแปรผันปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนตั้งแต่ 0.5-8.0 มก./ล. พบว่าปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออน 3.0 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดยอดซีไอดีสูงสุด คือ ร้อยละ 45.0 ดังนั้นปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 3.0 มก./ล.

4.2 โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 7.50 และเติมสารตกตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดยอดซีไอดีได้สูงสุดคือ 400 มก./ล. โดยนำตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะเติมสารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ลงในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลที่ได้ดังนี้



รูปที่ 4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน (Cationic Polymer) กับร้อยละซีโอดีที่ลดลงและค่าพีเอชที่ได้หลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ทำให้สามารถปรับพีเอช ปริมาณสารตกตะกอนดังกล่าวก่อน จากรูปที่ 4.3.4 เมื่อแปรผันปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนตั้งแต่ 0.5-8.0 มก./ล. พบว่าปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.5 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงสุด คือ ร้อยละ 48.3 ดังนั้นปริมาณสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมสำหรับตกตะกอนคือ 3.5 มก./ล.

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยตกตะกอนชนิดแอนไอออนและแคทไอออน พบว่าชนิดแคทไอออนให้ประสิทธิภาพลดซีโอดีสูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนสำหรับการตกตะกอนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ขั้นตอนที่ 5 (Optimum Condition)

ในขั้นตอนนี้ทำการปรับค่าพีเอชที่ได้จากค่า Optimum pH คือ ค่า pH = 7.50 และเติมสารสร้างตะกอนปริมาณความเข้มข้นที่ลดซีโอดีได้สูงสุดคือ 400 มก./ล. เติมสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออนใน

ปริมาณ 3.50 มก./ล. ในจุดที่เหมาะสมมาหาค่าบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยและวัดสีเป็นค่าแอมซอร์บ แบนซ์และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์ ผลที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2.3.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์

พารามิเตอร์	ก่อนตกตะกอน	หลังตกตะกอน	(%)
ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	44.12	16.11	+ 63.49
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	98.15	25.41	+ 74.11
ค่าแอมซอร์บแบนซ์	0.1857	0.0403	+ 78.30
ค่าทรานสมิตแทนซ์ (%)	65.21	91.14	- 39.76

หมายเหตุ : + หมายถึง % ที่ค่าพารามิเตอร์ลดลง

- หมายถึง % ที่ค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น

4.3 ผลของชนิดสีข้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากการวิเคราะห์น้ำทิ้งที่เกิดจากการข้อมตามโทนสี (สีเขียว สีน้ำเงิน สีแดง สีเขียว มะกอก) อันประกอบด้วยชนิดสีข้อม 4 ชนิด ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำเสียแต่ละประเภทมีลักษณะทางกายภาพ และเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อค่าของซีโอดีในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด โดยที่

1. น้ำเสียจากน้ำข้อมประเภทสีดิสเพิส โทนสีเขียว ประกอบด้วยสีข้อม 3 ชนิด

ได้แก่ Blue E-CD, Red E-CD และ Yellow E-CD มีสภาพเป็นกรดอ่อน พีเอชอยู่ในช่วง 4-6 ค่าซีโอดี โดยเฉลี่ย 485 มก./ล. เอสเอสโดยเฉลี่ย 38.56 มก./ล. ซึ่งคุณภาพถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

2. น้ำเสียจากน้ำข้อมประเภทสีไดเรกท์ โทนสีน้ำเงิน ประกอบด้วยสีข้อม 4 ชนิด ได้แก่ Di Blue RNF, Di Blue GNF, Ka Su Red BWS และ Di Fast Yellow R มีสภาพเป็นกลาง มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-8 ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ย 141 มก./ล. เอสเอสโดยเฉลี่ย 24.16 มก./ล. ซึ่งคุณภาพถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี

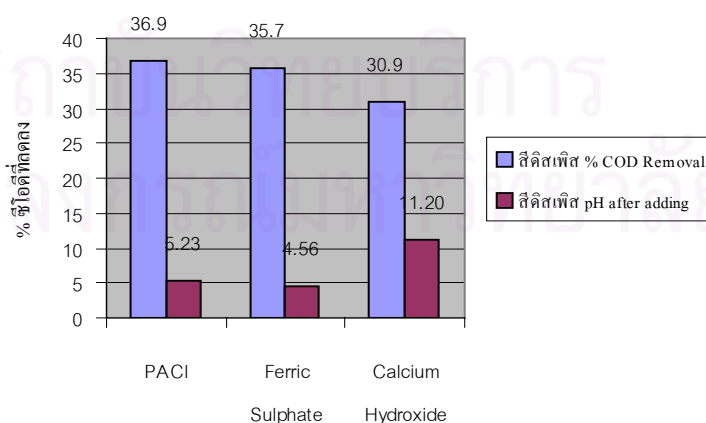
3. น้ำเสียจากน้ำข้อมประเภทสีรีแอกทีฟ โทนสีแดง ประกอบด้วยสีข้อม 3 ชนิด ได้แก่ Intra navy hern, Pro Red H-E3B และ Pro yellow HE4R มีสภาพเป็นกลาง มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-8 ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ย 313 มก./ล. เอสเอสโดยเฉลี่ย 45.23 มก./ล. ซึ่งคุณภาพถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4. น้ำเสียจากน้ำข้อมประเภตีสเบติกหรือสีแคทไอออนิก โทนสีเขียวมะกอก ประกอบด้วย 3 ชนิด ได้แก่ Kay Blue GSL-ED, Kay Red GRL-ED และ Kay Yel 3RL-ED ที่เอชอยู่ในช่วง 8-10 ซีไอดีโดยเฉลี่ย 512 มก./ล. เอสเอสโดยเฉลี่ย 38.52 มก./ล. คุณภาพถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
- หลังจากผ่านการตกตะกอนด้วยจาร์เทสต์โดยมีการหาปัจจัยที่สำคัญในการทดลองแล้วคือ
- สารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 10.00 ด้วยปริมาณ 2,000 มก./ล. และใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 5.0 มก./ล.
 - สารสร้างตะกอนเฟอร์ริกซัลเฟต ตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 7.00 ด้วยปริมาณ 250 มก./ล. และใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.5 มก./ล.
 - สารสร้างตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 7.50 ด้วยปริมาณ 400 มก./ล. และใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.5 มก./ล.

4.3.1 การกำจัดค่าซีไอดีของน้ำข้อมสีดิสเพิส

ตารางที่ 4.3.1 การกำจัดค่าซีไอดีของน้ำเสียที่เกิดจากการน้ำข้อมประเภตีสดิสเพิสที่มีค่าซีไอดี 485 มก./ล.

สารสร้างตะกอน (มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
โพลีลูมิเนียมคลอไรด์	306	36.9	5.23
เฟอร์ริกซัลเฟต	312	35.7	4.56
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	335	30.9	11.20



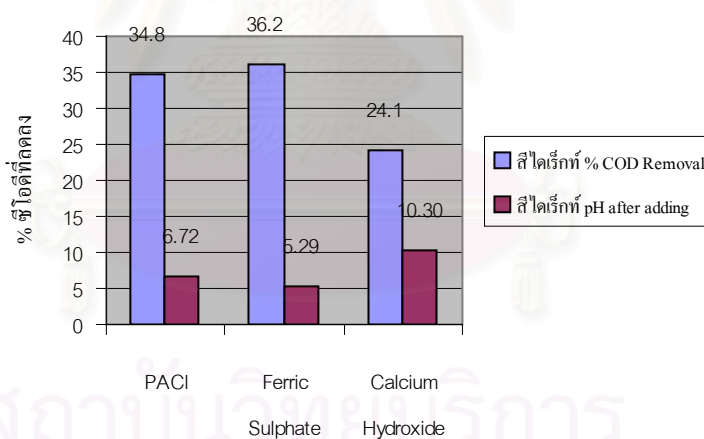
รูปที่ 4.3.1.1 การกำจัดค่าซีไอดีของน้ำเสียที่เกิดจากการน้ำข้อมประเภตีสดิสเพิส

จากผลการทดลองลดค่าซีไอได้น้ำขุ่นมัวประเภทสีดีสเฟิส ด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดในสถานะที่ลดซีไอได้ออกสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1.1 เมื่อแปรผันพีเอช สารตกตะกอน สารช่วยตกตะกอนแล้ว พบว่าโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์ลดซีไอได้น้ำขุ่นมัวประเภทสีดีสเฟิสได้สูงสุด 36.9 %

4.3.2 การกำจัดค่าซีไอได้น้ำขุ่นมัวสีไคเร็กซ์

ตารางที่ 4.3.2 การกำจัดค่าซีไอได้น้ำเสียที่เกิดจากการน้ำขุ่นมัวประเภทสีไคเร็กซ์ที่มีค่าซีไอ 141 มก./ล.

สารสร้างตะกอน (มก./ล.)	ค่าซีไอ หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอ	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
โพลีออลูมิเนียมคลอไรด์	92	34.8	6.72
เฟอร์ริกซัลเฟต	90	36.2	5.29
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	107	24.1	10.30



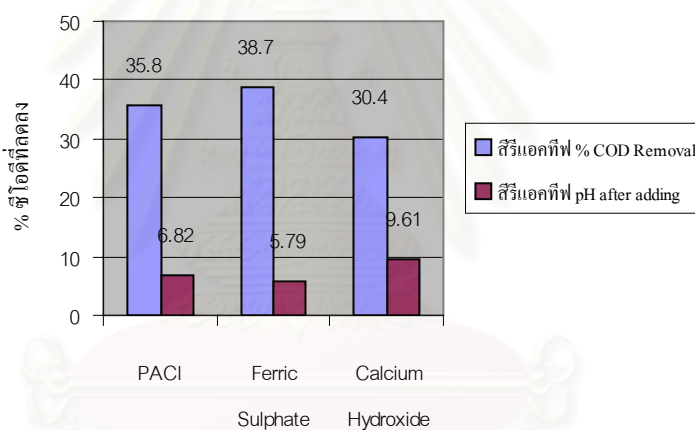
รูปที่ 4.3.1.2 การกำจัดค่าซีไอได้น้ำเสียที่เกิดจากน้ำขุ่นมัวประเภทสีไคเร็กซ์

จากผลการทดลองลดค่าซีไอได้น้ำขุ่นมัวประเภทสีไคเร็กซ์ ด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดในสถานะที่ลดซีไอได้ออกสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1.2 เมื่อแปรผันพีเอช สารตกตะกอน สารช่วยตกตะกอนแล้ว พบว่าเฟอร์ริกซัลเฟตลดค่าซีไอได้น้ำขุ่นมัวประเภทสีไคเร็กซ์ได้สูงสุด 36.2 %

4.3.3 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมสีรีแอกทีฟ

ตารางที่ 4.3.3 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากการนำย้อมประเภทสีรีแอกทีฟที่มีค่าซีโอดี 313 มก./ล.

สารตั้งต้น (มก./ล.)	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
โพกลูมินีเยมคลอไรด์	201	35.8	6.82
เฟอร์ริกซัลเฟต	192	38.7	5.79
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	218	30.4	9.61



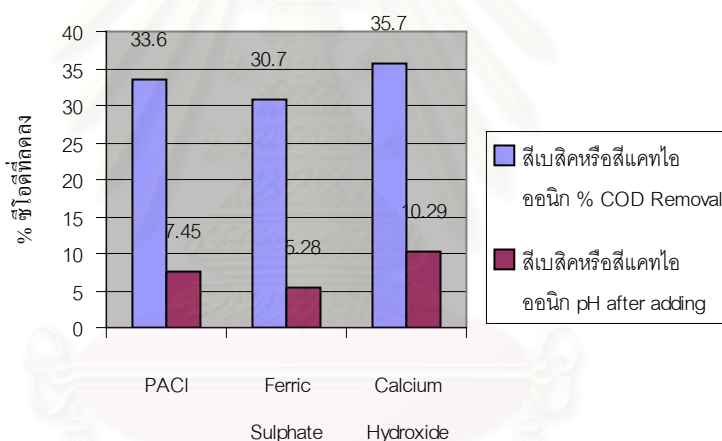
รูปที่ 4.3.1.3 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากการนำย้อมประเภทสีรีแอกทีฟ

จากผลการทดลองลดค่าซีโอดีน้ำย้อมประเภทสีรีแอกทีฟ ด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดในสภาวะที่ลดซีโอดีสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1.3 เมื่อแปรผันพีเอช สารตกตะกอน สารช่วยตกตะกอนแล้ว พบว่าเฟอร์ริกซัลเฟตลดค่าซีโอดีน้ำย้อมประเภทสีรีแอกทีฟได้สูงสุด 38.7 %

4.3.4 การกำจัดค่าซีไอของน้ำย้อมสีเบสิกหรือสีแคทไอออนิก

ตารางที่ 4.3.4 การกำจัดค่าซีไอของน้ำเสียจากน้ำย้อมประเภทสีเบสิกหรือสีแคทไอออนิกที่มีค่าซีไอ 512 มก./ล.

สารตั้งต้น (มก./ล.)	ค่าซีไอ หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอ	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	340	33.6	7.45
เฟอร์ริกซัลเฟต	355	30.7	5.28
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	329	35.7	10.29



รูปที่ 4.3.1.4 การกำจัดค่าซีไอของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำย้อมประเภทสีเบสิกหรือสีแคทไอออนิก

จากผลการทดลองลดค่าซีไอน้ำย้อมประเภทสีเบสิก ด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดในสถานะที่ลดซีไอสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1.4 เมื่อแปรผันพีเอช สารตกตะกอน สารช่วยตกตะกอนแล้ว พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดซีไอน้ำย้อมประเภทสีเบสิกได้สูงสุด 35.7 %

4.4 ศึกษาชนิดสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อม (Additives) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

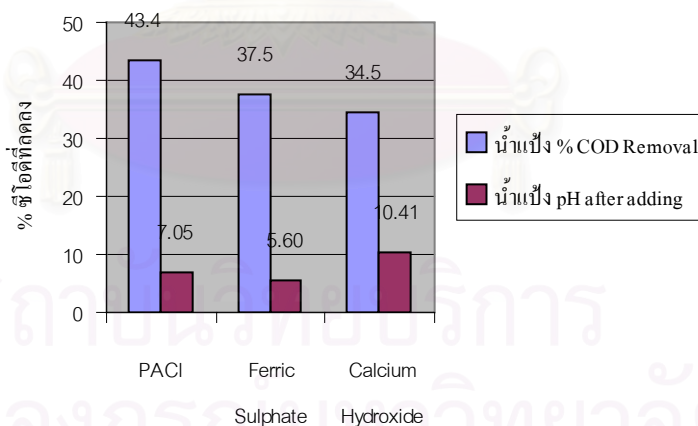
จากการวิเคราะห์น้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยฟอกย้อมเพื่อให้สีติดเนื้อผ้าดีขึ้น และปรับสภาพเนื้อผ้าตามต้องการ สารที่มีผลต่อค่าซีไอของน้ำทิ้งคือ น้ำแปงและโซเดียมซัลเฟต

1. น้ำเสียจากน้ำย้อมที่เติมสารเคมีช่วยฟอกย้อมประเภทน้ำแป้ง ฟิเอชอยู่ในช่วง 8-9 ซีโอดี โดยเฉลี่ย 325 มก./ล. เอสเอสโดยเฉลี่ย 36.52 มก./ล. ซึ่งคุณภาพถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
2. น้ำเสียจากน้ำย้อมที่เติมสารเคมีช่วยฟอกย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟต ฟิเอชอยู่ในช่วง 8-10 ซีโอดีโดยเฉลี่ย 550 มก./ล. เอสเอสโดยเฉลี่ย 40.73 มก./ล. คุณภาพถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ

4.4.1 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมจากการเติมน้ำแป้ง

ตารางที่ 4.4.1 การกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยย้อมประเภทน้ำแป้งที่มีค่าซีโอดี 325 มก./ล.

สารตกตะกอน (มก./ล.)	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
โพลีลูมิเนียมคลอไรด์	184	43.4	7.05
เฟอร์ริกซัลเฟต	203	37.5	5.60
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	213	34.5	10.41



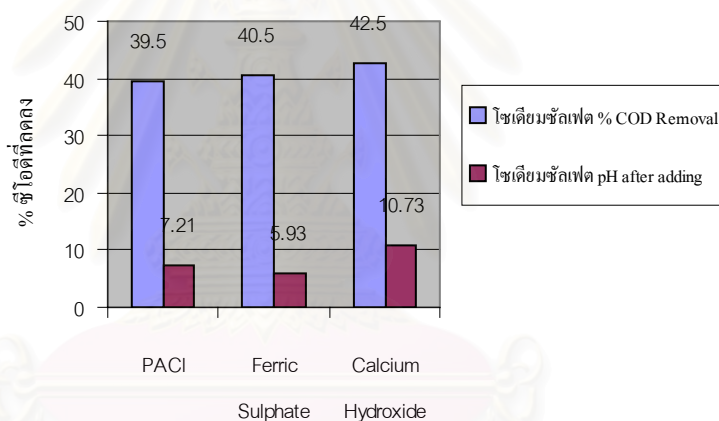
รูปที่ 4.4.1.1 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยย้อมประเภทน้ำแป้ง

จากผลการทดลองลดค่าซีโอดีน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยย้อมประเภทน้ำแป้ง ด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดในสถานะที่ลดซีโอดีสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.4.1.1 เมื่อแปรผันพีเอช สารตกตะกอน สารช่วยตกตะกอน พบว่าโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลดซีโอดีน้ำเสียประเภทน้ำแป้งได้สูงสุด 43.4 %

4.4.2 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำย้อมจากการเติมโซเดียมซัลเฟต

ตารางที่ 4.4.2 การกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟตที่มีค่าซีโอดี 550 มก./ล.

สารสร้างตะกอน (มก./ล.)	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	333	39.5	7.21
เฟอร์ริกซัลเฟต	327	40.5	5.93
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	316	42.5	10.72



รูปที่ 4.4.1.2 การกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟต

จากผลการทดลองลดค่าซีโอดีน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟตด้วยสารตกตะกอน 3 ชนิดในสถานะที่ลดซีโอดีสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.4.1.2 เมื่อแปรผันพีเอช สารตกตะกอน สารช่วยตกตะกอน พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดซีโอดีน้ำเสียที่เกิดจากการเติมสารเคมีที่ใช้ช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟตได้สูงสุด 42.5 %

4.5 ประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย

การลดค่าซีโอดีน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยวิธีโคแอกกูเลชันมีค่าใช้จ่ายรวมในการบำบัดซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนการโคแอกกูเลชัน ค่าใช้จ่ายสารสร้างตะกอน

และค่าใช้จ่ายสารช่วยตกตะกอน แต่เนื่องจากน้ำเสียหลังบำบัดยังมีค่าซีโอดีค่อนข้างสูง จึงควรบำบัดน้ำเสียในขั้นต่อไป โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการโคแอกกูเลชันให้มีค่าประมาณ 7.00 เพื่อให้เหมาะสมต่อการบำบัดขั้นต่อไปโดยชีววิธี การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.5.1 และตารางที่ 4.5.2 (รายละเอียด ภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.5.1 ราคาและค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ

สารสร้างตะกอน	ราคา (บาท/กก.)	ปริมาณสาร ที่ใช้ (มก./ล.)	ค่าสารสร้าง ตะกอน (บาท/ลบ.ม.)	ค่าสารช่วย ตกตะกอน (บาท/ลบ.ม.)	ค่าสารเคมี ปรับ pH ก่อน (บาท/ลบ.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ลบ.ม.)
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	11.50	2,000	23.00	1.50	14.16	38.66
เฟอร์ริกซัลเฟต	9.00	250	2.25	1.05	0.23	3.53
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	6.50	400	2.60	1.05	0.58	4.23

หมายเหตุ : ราคาของสารเคมีที่นำมาคำนวณในการปรับพีเอชให้เหมาะสมเป็นราคาที่คิดเฉพาะในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเท่านั้นไม่คิดรวมถึงการปรับพีเอชให้เหมาะสมต่อการบำบัดทางชีววิทยาในขั้นถัดไป

ตารางที่ 4.5.2 ค่าใช้จ่ายการปรับค่าพีเอชและค่าไฟฟ้าในการลดค่าซีโอดีน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอ

สารสร้างตะกอน	ค่าสารเคมี ปรับ pH หลัง (บาท/ลบ.ม.)	ค่าใช้จ่ายสารเคมี (บาท/ลบ.ม.)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ลบ.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ลบ.ม.)
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	3.12	38.66	0.38	42.16
เฟอร์ริกซัลเฟต	24.17	3.53	0.38	28.08
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	25.14	4.23	0.38	29.75

หมายเหตุ : ค่าปรับ pH ก่อน หมายถึง ค่าปรับ pH ก่อนตกตะกอน
ค่าปรับ pH หลัง หมายถึง ค่าปรับ pH หลังตกตะกอน

4.6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย

ในการวิเคราะห์ปัจจัยแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณลักษณะของน้ำเสีย โดยใช้ Multiple Linear Regression ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าซีโอดีที่ลดลงในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าซีโอดีที่ลดลงในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

ในการหาความสัมพันธ์ครั้งนี้ ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย ค่าพีเอช (pH) ปริมาณสารสร้างตะกอน (Coagulant) ปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ทั้งชนิดแอนไอออนและแคทไอออน (Anionic and Cationic Polymer) ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี (% COD Removal) เพื่อใช้ความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้มาประมาณค่าหรือพยากรณ์ค่า Y เมื่อกำหนดค่า X ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P < 0.05$) มีดังนี้

- โพลีอูมิเนียมกลอไรด์

$$Y_{\text{PACl}} = 29.996 + 1.799 \text{pH}_{(t=14.262)} \quad ; \quad F = 203.408, R^2 = 0.971$$

มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 คือ มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยมีค่าคงที่ (a) = 29.996 และค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปร pH (b_1) = 1.799 สถิติทดสอบ $t = 14.262$ และ $F = 203.408$ มีความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางเดียวกัน

- เฟอร์ริกซัลเฟต

$$Y_{\text{Fe}} = 11.550 \text{pH}_{(t=4.156)} - 0.122 \text{Coag}_{(t=-2.872)} \quad ; \quad F = 9.497, R^2 = 0.781$$

มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปร pH (b_1) = 11.550 ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปร Coag (b_2) = -0.122 แสดงว่า Coag และ Y_{Fe} มีความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ ถ้า X ลด Y จะเพิ่ม

- แคลเซียมไฮดรอกไซด์

$$Y_{\text{Ca}} = 9.345 \text{pH}_{(t=4.553)} - 0.101 \text{Coag}_{(t=-3.219)} \quad ; \quad F = 8.989, R^2 = 0.771$$

มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปร pH (b_1) = 9.345 ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปร Coag (b_2) = -0.101 แสดงว่า Coag และ Y_{Ca} มีความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ ถ้า X ลด Y จะเพิ่ม

เมื่อ	Y_{PACl}	= ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของโพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ (%)
	$Y_{\text{(Fe)}}$	= ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของเฟอร์ริกซัลเฟต (%)
	$Y_{\text{(Ca)}}$	= ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (%)
	pH	= ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียหลังการบำบัด
	Coag	= ปริมาณสารสร้างตะกอนในน้ำเสียหลังการบำบัด (มก./ล.)
	R^2	= สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ช่วยในการตัดสินใจ

จากความสัมพันธ์ทั้งสามข้างต้น ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของโพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณสารสร้างตะกอน ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. พีเอช

พีเอชที่เหมาะสม จะทำให้สารสร้างตะกอนทำปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากกลไกการตกตะกอนนี้เป็นกลไกแบบกวาด Sweep floc coagulation พีเอชจะมีบทบาทที่สำคัญต่อความสามารถในการตกผลึกตะกอนของสาร ซึ่งสารสร้างตะกอนแต่ละตัวจะมีพีเอชเหมาะสมต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของสารสร้างตะกอนเสมอ การอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรนั้น เช่น กรณีของเฟอร์ริกซัลเฟตให้ผลการตกตะกอนที่มีค่าพีเอชต่ำลง เมื่อทำปฏิกิริยากับค่าความเป็นด่างในน้ำ เกิดเป็นตะกอนของ Fe(OH)_3 ซึ่งจะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูง เกิดตะกอนแขวนลอยและอาจทำให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นได้

2. ปริมาณสารสร้างตะกอน

ในตัวอย่างน้ำทิ้งเมื่อใช้ปริมาณสารเคมีมากขึ้น ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีก็จะมากขึ้นด้วย แต่เมื่อถึงสภาวะที่ลดได้สูงสุดแล้วเมื่อเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนลงไปเพิ่มมากขึ้น นอกจากจะไม่ทำให้การลดค่าซีโอดีดีขึ้น บางครั้งอาจไปเพิ่มความขุ่นหรือเกิดกระบวนการ restabilization และทำให้ตกตะกอนไม่หมด เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับอนุภาคทำให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพ ดังนั้นในการทดลองเมื่อน้ำเสียผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยจาร์เทสต์แล้ว เกิดความขุ่นมากขึ้นเนื่องจากปริมาณสารเคมีไม่เหมาะสมนั่นเอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาการลดค่าซีไอดีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีโคแอกกูเลชัน

จากผลการทดลองน้ำเสียจากบ่อกักน้ำเสีย (Equalizing wastewater) ใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium Chloride), เฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric Sulphate) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) สารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด คือ ชนิดแอนไอออน (Magnafloc 2025) และ ชนิดแคทไอออน (Zetag-63)

ก. โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium Chloride)

การใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน มีความเหมาะสมมากกว่าเฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในด้านการลดค่าซีไอดีและของแข็งแขวนลอย แต่ลดค่าซีไอดีได้ต่ำกว่าเฟอร์ริกซัลเฟต โดยสภาพที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีไอดีของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ จะให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีประมาณร้อยละ 51.9 และลดค่าบีไอดีได้ร้อยละ 79.39 ลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 74.48 ให้สีไม่เป็นที่พึงรังเกียจ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 47.05 ค่าพีเอชที่ได้เป็นกรดประมาณ 5.48 ดังนั้นหากเลือกใช้โพลีอลูมิเนียมเป็นสารสร้างตะกอนจะลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการกำจัดสีลงได้ แต่โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์นับเป็นสารสร้างตะกอนที่มีราคาสูงทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดมาก คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมโดยประมาณ 42.16 บาท/ลบ.ม.

ข. เฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric Sulphate)

การใช้เฟอร์ริกซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน มีความเหมาะสมมากกว่าโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในด้านการลดค่าซีไอดี โดยสภาพที่เหมาะสมของเฟอร์ริกซัลเฟตจะให้ประสิทธิภาพลดค่าซีไอดีร้อยละ 57.8 ลดค่าบีไอดีได้ร้อยละ 77.01 ลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 62.06 แต่สีของน้ำเสียหลังตกตะกอนจะเป็นสีเหลืองอ่อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 3.30 รวมทั้งค่าพีเอชที่ได้ค่อนข้างเป็นกรดประมาณ 4.11 ดังนั้นหากเลือกใช้เฟอร์ริกซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอนจะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนของการปรับค่าพีเอช คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมโดยประมาณ 28.08 บาท/ลบ.ม.

ค. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide)

การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสร้างตะกอนนั้นให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีที่ต่ำ มีข้อดีตรงขนาดของตะกอนที่ค่อนข้างใหญ่สามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว แต่ค่าพีเอชที่ได้ค่อนข้างสูง มี

ความเหมาะสมมากกว่าโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และเฟอร์ริกซัลเฟต ในด้านราคาของสารที่ถูก โดยสภาวะที่เหมาะสมของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะให้ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีร้อยละ 48.3 ลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 74.11 ลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 63.49 ให้สีไม่เป็นที่พึงรังเกียจ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 39.76 ค่าพีเอชที่ได้ประมาณ 12.01 ดังนั้นหากเลือกใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสร้างตะกอนจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนของการปรับพีเอช แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารสร้างตะกอนที่มีราคาถูกทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดไม่สูงมาก คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมโดยประมาณ 29.75 บาท/ลบ.ม.

ตารางที่ 5.2.1 สรุปผลการลดค่าซีโอดี

หลังการตกตะกอน	ชนิดสารสร้างตะกอน		
	โพลีลูมิเนียมคลอไรด์	เฟอร์ริกซัลเฟต	แคลเซียมไฮดรอกไซด์
ซีโอดี (มก./ล.)	265	232	285
ซีโอดีที่ลดลง (%)	51.9	57.8	48.3
บีโอดีที่ลดลง (%)	79.39	77.01	74.11
ของแข็งแขวนลอย (%)	74.48	62.06	63.49
สี (% T)	-47.05	-3.30	-39.76
พีเอชที่ได้	5.48	4.11	12.01

หมายเหตุ ซีโอดีก่อนบำบัด 551 มก./ล.

5.1.2 การศึกษาชนิดสีย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากการทดลองใช้น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการข้มจากหม้อต้มย้อม โทนสีต่างกัน 4 ชนิด คือ สีดิสเพิส โทนสีเขียว, สีไคร้ท์ โทนสีน้ำเงิน, สีรีแอคทีฟ โทนสีแดงและสีเบสิด โทนสีเขียวมะกอก

ก. น้ำย้อมสีดิสเพิส โทนสีเขียว

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการข้มจากหม้อต้มย้อมชนิดสีดิสเพิส โทนสีเขียวมีค่าซีโอดีก่อนตกตะกอน 485 มก./ล. พีเอชอยู่ในช่วง 4-6 เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลดซีโอดีของน้ำย้อมสีดิสเพิส โทนสีเขียวได้สูงสุดร้อยละ 36.9 พีเอชหลังตกตะกอน 5.23

ข. น้ำย้อมสีไคเร็กซ์ โทนสีน้ำเงิน

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมจากหม้อต้มย้อมชนิดสีไคเร็กซ์ โทนสีน้ำเงินมีค่าซีไอดีก่อนตกตะกอน 141 มก./ล. ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าเพอร์ริกซัลเฟตลดซีไอดีของน้ำย้อมสีไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงินได้สูงสุดร้อยละ 36.2 พีเอชหลังตกตะกอน 5.29

ค. น้ำย้อมสีรีแอคทีฟ โทนสีแดง

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมจากหม้อต้มย้อมชนิดสีรีแอคทีฟ โทนสีแดงมีค่าซีไอดีก่อนตกตะกอน 313 มก./ล. ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าเพอร์ริกซัลเฟตลดซีไอดีของน้ำย้อมสีรีแอคทีฟโทนสีแดงได้สูงสุดร้อยละ 38.7 พีเอชหลังตกตะกอน 5.79

ง. น้ำย้อมสีเบสิก โทนสีเขียวมะกอก

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการย้อมจากหม้อต้มย้อมชนิดสีเบสิก โทนสีเขียวมะกอกมีค่าซีไอดีก่อนตกตะกอน 512 มก./ล. ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8-10 เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอน พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดซีไอดีของน้ำย้อมสีเบสิกโทนสีเขียวมะกอกได้ร้อยละ 35.7 พีเอชหลังตกตะกอน 10.29

5.1.3 การศึกษาชนิดสารเคมีที่ใช้ช่วยในการฟอกย้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากการทดลองใช้น้ำเสียภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อม 2 ประเภท คือ น้ำแป้งและโซเดียมซัลเฟต

ก. น้ำแป้ง

น้ำเสียที่ได้ภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อมประเภทน้ำแป้งนั้นมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8-9 ค่าซีไอดีโดยเฉลี่ย 325 มก./ล. เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าโพliosุมิเนียมคลอไรด์ลดค่าซีไอดีของสารช่วยย้อมประเภทน้ำแป้งได้สูงสุดร้อยละ 43.4 พีเอชหลังตกตะกอนเป็น 7.05

ข. โซเดียมซัลเฟต

น้ำเสียที่ได้ภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟตนั้นมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8-10 ค่าซีไอดีโดยเฉลี่ย 550 มก./ล. เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดค่าซีไอดีของสารช่วยย้อมประเภทโซเดียมซัลเฟตได้สูงสุดร้อยละ 42.5 พีเอชหลังตกตะกอนเป็น 10.72

จะเห็นว่าโพliosุมิเนียมคลอไรด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีน้ำเสียที่ได้ภายหลังกระบวนการเติมสารเคมีช่วยย้อมประเภทน้ำแป้งและโซเดียมซัลเฟตซึ่งเป็นสารเคมีที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยเฉพาะโซเดียมซัลเฟตซึ่งให้ค่าซีไอดีที่สูงถึง 550 มก./ล. ดังนั้นในการใช้สารโซเดียมซัลเฟตเพื่อการช่วยย้อมจะต้องเติมให้ปริมาณที่พอเหมาะไม่มากเกินไป เพราะส่วนที่เกินจะทำให้ให้น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการมีค่าซีไอดีที่สูงด้วย

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

น้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดในกระบวนการผลิตต่างกัน มักมีสารเคมีที่ใช้ย้อมต่างๆ กัน อันเป็นผลมาจากความต้องการของผู้บริโภคด้วย ดังนั้นการบ่งชี้ซึ่งอาศัยข้อมูลจากการหาปฏิกิริยาการตกตะกอนที่เกิดขึ้นเหมาะสมแล้วมาแจกแจงประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีจากผลของสารสร้างตะกอนและสีย้อม เป็นสิ่งที่ช่วยให้เข้าใจได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตกตะกอนทางเคมี อีกทั้งยังช่วยในเรื่องของการอธิบายผลกระทบข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงการใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น สารซักฟอก สารช่วยย้อมและสารตกแต่งที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อม ส่วนใหญ่มีผลทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้น

การเลือกใช้สารสร้างตะกอนแต่ละตัวขึ้นอยู่กับความต้องการผลของผู้ใช้คือ

- เฟอร์ริกซัลเฟตลดซีโอดีได้มาก ค่าใช้จ่ายต่ำแต่สีไม่เป็นที่น่าพอใจ ทั้งยังให้สภาพที่เป็นกรดมาก
- โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลดซีโอดีได้ต่ำและให้สีที่ยอมรับได้ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูง
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ราคาถูก ซีโอดีที่ลดได้อยู่ในเกณฑ์ปานกลางให้สภาพเป็นด่างค่อนข้างสูง

นอกจากนี้การบำบัดน้ำทิ้งรวมสามารถใช้วิธีบำบัดวิธีอื่นร่วมกับการตกตะกอนทางเคมี เช่น การบำบัดโดยการใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับระบบ Activated Sludge (Altinbas, 1995) ซึ่งพบว่า การใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีแล้วตามด้วยการบำบัดด้วยระบบ Activated Sludge ในการบำบัดน้ำเสียรวม จะสามารถลดค่าซีโอดีได้สูงขึ้นมากกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเพียงอย่างเดียว ดังนั้น ภายหลังจากการบำบัดน้ำเสียแบบตกตะกอนทางเคมีแล้วจะปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดแบบชีววิทยาซึ่งในส่วนนี้ทางโรงงานสามารถลดค่าซีโอดีลงได้อีก 55.17 % ด้วยบ่อเติมอากาศ เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ปล่อยออกสู่อุโมงค์น้ำได้มีผลดังนี้

ตารางที่ 5.2.2 ผลการเปรียบเทียบน้ำทิ้งสุดท้ายหลังผ่านการเติมอากาศ

ชนิดสารสร้างตะกอน	ค่าซีโอดีหลังตกตะกอนเคมี (มก./ล.)	ค่าซีโอดีที่ลดลง (%)	ค่าซีโอดีหลังผ่านการเติมอากาศ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีที่ทั้ง 2 ระบบบำบัดได้รวม (%)
โพลีลูมิเนียมคลอไรด์	265	51.9	119	78.4
เฟอร์ริกซัลเฟต	232	57.8	104	81.1
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	285	48.3	128	76.8
สารส้ม	290	32.2	130	69.6

ในการวิเคราะห์ห้ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของน้ำเสียให้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจใกล้เคียง 1 คือ ค่า R^2 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ มีความเชื่อถือได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ พบว่าการใช้สารสร้างตะกอนที่สภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสีย สามารถลดค่าซีโอดีของน้ำเสียได้ปานกลาง คือประมาณร้อยละ 50 โดยค่าซีโอดีหลังการบำบัดยังมีค่าสูงอยู่ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ควรศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารสร้างตะกอนหลายๆ ชนิดปนกันในการบำบัดน้ำเสีย
2. ควรศึกษาการใช้สารดูดซับร่วมกับการใช้สารสร้างตะกอนในการ โคแอกกูเลชันน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ
3. ควรมีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง หรือห้วข้อต่อๆ ไปต่อจากการ โคแอกกูเลชัน เพื่อเป็นการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งอีกชั้นหนึ่ง
4. ควรมีการศึกษาเรื่องค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดแบบตกตะกอนทางเคมี
5. ควรศึกษาแนวทางการลดค่าซีโอดีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยการเติมโอโซน พร้อมทั้งศึกษาแนวทางการเป็นไปได้

หลักการในการเลือกใช้กระบวนการต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างนั้น จะต้องพิจารณาความเหมาะสมต่างๆ ในหัวข้อ ต่อไปนี้

1. ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด
2. คุณภาพน้ำที่ต้องการ
3. พื้นที่ที่ต้องใช้ทั้งหมด
4. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและตรวจสอบคุณภาพ
5. ความยากง่ายในการเดินระบบและความปลอดภัย
6. ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือ กากที่ต้องกำจัด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. 2539. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแยกทิวเด็คสลัดจ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กาญจนา ครองธรรมชาติ. 2535. การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จารุทัศน์ มลิทนทะเล. 2537. การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยวิธีทางเคมี. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดวงนภา โพธิ์สุนทร. 2541. การลดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตยาปฏิชีวนะโดยวิธีโคแอกกูเลชัน. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วาริท เจาะจิตต์. 2541. การศึกษาการใช้โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เพอร์ริกคลอไรด์และเบนโทไนท์ ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศักดิ์ชัย ชี้อัตนนานุกร. 2539. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิริอุมา บำรุงวงษ์. 2541. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี และกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภัทร วาณิชกุล. 2535. การบำบัดน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539. การกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดซับผิวและโคแอกกูเลชัน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Altinbas, U., Dokmeci, S., and Baristiran, A. 1995. Treatability study of wastewater from textile industry. Environmental Technology. 16 : 389-394.
- Beszdits, S., Lugowaki, A., and Miyamoto, H.K. 1979. Color removal from textile mill effluent. Canada : Technic Inc.
- Beszdits, S., Lugowaki, A., and Miyamoto, H.K. 1980. Color removal from textile mill effluent. New Jersey : Textile book service.
- Chalor, J., 1995. Treatment of textile dyeing wastewater by ozone and polyaluminium chloride(PAC). Master' Thesis, AIT. Bangkok.
- Chang, T.N. 1988. Color removal from on-Nooch leachate by chemical treatment. Master' Thesis, AIT. Bangkok.
- Cheasavathi, T. 1992. Removal of colour, COD and manganese from wastewater of jean bleaching factory by chemical coagulation with aluminium sulphate. Master' Thesis, Kasetsart University. Bangkok.
- Ho, S., W.C.Boyle and R.K. Ham. 1974. Chemical treatment of leachate from sanitary landfill. J.WPCF. 46 : 1776-1791.
- Hotton, W. and Simpson, A.M., 1986. Enhanced Colour Removal from Sewage effluents Using Chemical Flocculants. London. Env. Tech. Lett. pp. 423-424.
- Judkins, J.F., Jr., and Hornsby, J.S. 1978. Color removal from textile dye waste using magnesium carbonate. Journal Water Pollution Control. 50(11) : 2446-2456.
- Livke, V.A., Ostrovka, V.I., and Gendruzeva, N.P. 1989. Tertiary coagulation treatment of aniline dye industry wastewater. Soviet Journal of Water Chemical and Technology. (English Translation of Khimiya I Tekhnologiya Vody) 11(2) : 115-117.
- Maruyama, T., Hannah, S.A. and Cohen, J.M. 1975. Metal removal and Chemical Treatment process. Water Pollution Control Federal. 47 (May 1975) : 962-977.
- Nhuphan, P., 1992. Treatment of Jeans bleaching factory wastewater for removal of color, COD and Manganese by Ferrous Sulphate, Ferric Sulphate in conjunction with polymer coagulant aids. Master' Thesis, Kasetsart University. Bangkok.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อทางการค้า	PAC-AC/100S
ลักษณะทางกายภาพ	ผงละเอียด สีเหลืองอ่อน
สมบัติการละลาย	Unsolubles สูงสุด 0.30 %
Bulk Density	0.85-0.95
PH (1 % solution w/v)	3.5 to 5
Basicity	40 to 65
Al ₂ O ₃	28-30 %
SO ₄	สูงสุด 10 %
Fe ^{tot}	สูงสุด 0.01 %
NH ₃	สูงสุด 0.03 %

ที่มา : MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดของเฟอร์ริกซัลเฟตที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อทางการค้า	Ferix-3
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นเม็ดสีเทา
Bulk Density	App. 1.3
pH (of 50 % solution)	< 1
Fe ³⁺	20.0 ± 1 %
Free H ₂ SO ₄	0.0 ± 1.5 %
Cu	< 5.0 mg/kg

ที่มา : MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อทางการค้า	Hydrated Lime
ลักษณะทางกายภาพ	ผงละเอียด สีขาว
Bulk Density	0.46 g/cc.
ชื่อทางการค้า	Hydrated Lime

pH (5 % in DW)	12.2 ± 0.2
Specific Gravity	2.4
Moisture Content	1.50 %
Loss on Ignition	24.60 %
Ca(OH) ₂	ต่ำสุด 92.00 %
MgO	สูงสุด 2.0 %
Fe ₂ O ₃	สูงสุด 0.10 %
SiO ₂	สูงสุด 2.00 %

ที่มา : MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อทางการค้า	Magnafloc® 2025
ลักษณะทางกายภาพ	ผงละเอียด สีขาว
สมบัติการละลาย	ละลายน้ำ
Particle Size	98 % < 850 µm
Bulk Density	0.85 g/cm ³
pH (of 1 % solution at 25°C)	6.5
อายุการใช้งานเมื่ออยู่ในสภาพสารละลาย	1 สัปดาห์

ที่มา : MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่ใช้ในการทดลอง

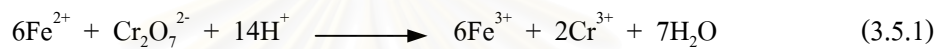
ชื่อทางการค้า	Zetag-63
ลักษณะทางกายภาพ	ผงละเอียด เป็นผลึกสีขาว
สมบัติการละลาย	ละลายน้ำ
Particle Size	< 1 mm
Molecular Weight	10 × 10 ⁶ - 12 × 10 ⁶
Bulk Density	0.78 g/cm ³
pH (of 1 % solution at 25°C)	4 - 9
อายุการใช้งานเมื่ออยู่ในสภาพสารละลาย	1 สัปดาห์

ที่มา : MC Industrial Chemical Co.,Ltd.

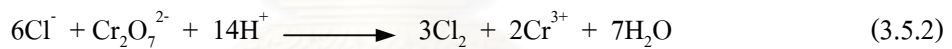
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยวิธี Dichromate Open Reflux Method

สารอินทรีย์เคมีสามารถถูกทำลายด้วยสารผสมของ Chromic และ Sulfuric acid ที่กำลังเดือด นำตัวอย่างมาต้ม Reflux กับสารละลายมาตรฐาน Potassium dichromate ที่ทราบจำนวนแน่นอนและกรดซัลฟูริกเข้มข้นประมาณ 2 ชั่วโมง แล้ว titrate หาปริมาณ Potassium dichromate ที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายมาตรฐาน Ferrous ammoniumsulfate โดยใช้ Ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการที่ 3.5.1



ซึ่งการออกซิไดส์สารอินทรีย์โดย Potassium dichromate ในกรณีนี้ จะเกิดได้ดีเมื่อใช้ Ag_2SO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะสามารถออกซิไดส์ Aliphatic Hydrocarbon ได้ทุกชนิด แต่ไม่สามารถออกซิไดส์ Aromatic Hydrocarbon และ Pyridine ได้ ส่วนในน้ำทิ้งมักมีคลอไรด์ปนอยู่ด้วยเสมอ ซึ่งสามารถจะถูกออกซิไดส์ได้ด้วย Potassium dichromate ดังสมการที่ 3.5.2



ทำให้ค่า COD ที่หาได้มีค่าสูงกว่าปริมาณสมมูลกับสารอินทรีย์ จึงจำเป็นต้องป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้โดยเติม HgSO_4 ไปทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ได้ HgCl_2 ซึ่งไม่ถูกออกซิไดส์ ดังสมการที่ 3.5.3



ปริมาณไนไตรต์ (Nitrite) ในน้ำจะถูกออกซิไดส์ได้เช่นกัน ซึ่งจะป้องกันได้โดยการเติม Sulfamic acid ลงไปใน Potassium dichromate

วิธีหาค่าซีโอดี

1. นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาค่า COD ใส่ลงใน flask ขนาด 250 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 20 มล.

บ่อพัก 5 มล. เติมน้ำกลั่น 15 มล.

หลังย้อม 7 มล. เติมน้ำกลั่น 13 มล.

Blank - มล. เติมน้ำกลั่น 20 มล.

2. ใส่ $K_2Cr_2O_7$ N/40 25 มล.

3. ใส่สารละลาย $HgSO_4$ 0.8 กรัม เพื่อกำจัดคลอไรด์ในน้ำ

4. ใส่สารละลาย $Ag_2SO_4-H_2SO_4$ 45 มล. ซึ่งค่อยๆ ใส่ทีละน้อย ขณะใส่ต้องใช้น้ำเย็นใส่บีกเกอร์ รองไว้ เพื่อให้กรดคลายความร้อน

5. ใส่ Boiling stone หรือ Glass bead ลงใน flask เพื่อลดความดันเวลานำไปต้มไม่ให้เกิดการระเบิด

6. นำไปตั้งไฟบน Hot Plate ที่ 800 W เป็นเวลา 2 ชม.

7. ใช้น้ำกลั่นล้างหลอด Condenser ในขณะที่ตั้งไว้ให้เย็นก่อนนำมาไตเตรท

8. นำ flask ที่ต้องการหา COD หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาไตเตรทด้วย N/40 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ เป็นสีเหลืองอ่อน หยด Ferroin 3 หยด แล้วนำมาไตเตรท จนเป็นสีน้ำตาลแดง ต้องทำ Blank ด้วยทุกครั้ง

$$\text{สูตร COD} = (a - b) \times f \times (1000 / v) \times 0.2 \quad (3.5.4)$$

โดยที่ a = มล. ของ Blank เมื่อไตเตรทด้วย N/40 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

b = มล. ของน้ำที่ต้องการทดลองเมื่อไตเตรท

f = factor ที่ได้มาจากการเตรียมน้ำจากน้ำกลั่น

$$f = 10/x$$

เมื่อ 10 = น้ำที่ใช้ในการหา Factor $K_2Cr_2O_7$

x = มล. ที่ไตเตรทได้

v = ตัวอย่างน้ำที่นำมาทดลองหา COD

$$1000 = 1 \text{ ลิตร} = 1000 \text{ มล.}$$

$$0.2 = \text{factor ของ } K_2Cr_2O_7$$

ภาคผนวก ก

ผลการตกตะกอนของสารสร้างตะกอน

ก.1 ผลการตกตะกอนกับ PACI

ตารางที่ ก.1.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. โดยใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ 400 มก./ล. (จากการทำ Pre-Treatment)

ค่าพีเอช ± 0.05	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
4.00	373	32.3	4.41
5.00	356	35.4	4.66
6.00	344	37.6	4.64
7.00	338	38.7	4.82
8.00	335	39.2	4.91
9.00	332	39.7	5.28
10.00	327	40.7	5.45
11.00	335	39.2	5.91

ตารางที่ ก.1.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่าง น้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. ปรับค่าพีเอชเป็น 10.00

ปริมาณสาร PACI(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
100	392	28.9	6.56
200	374	32.1	6.24
300	365	33.8	5.98
400	356	35.4	5.57
500	351	36.3	5.09
600	342	37.9	4.64

ปริมาณสาร PACI(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
700	336	39.0	4.55
800	330	40.1	4.42
900	327	40.7	4.41
1,000	324	41.2	4.14
2,000	315	42.8	4.18
3,000	318	42.3	4.06
4,000	321	41.7	3.92
5,000	321	41.7	3.84
6,000	318	42.3	3.75

ตารางที่ ก.1.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมอย่างละเอียด ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 10.00 และใช้สารตกตะกอน 2,000 มก./ล.

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
0.5	372	32.5	4.96
1.0	348	36.8	5.17
1.5	336	39.0	5.08
2.0	324	41.2	5.15
2.5	315	42.8	5.18
3.0	310	43.7	5.24
3.5	295	46.5	5.29
4.0	283	48.6	5.38
4.5	286	48.1	5.42
5.0	289	47.5	5.42
6.0	295	46.5	5.41
8.0	292	47.0	5.40

ตารางที่ ค.1.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมอย่างละเอียด ของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 10.00 และใช้สารตกตะกอน 2,000 มก./ล.

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
0.5	342	37.9	4.87
1.0	333	39.6	5.02
1.5	328	40.5	5.08
2.0	324	41.2	5.11
2.5	310	43.7	5.14
3.0	297	46.1	5.20
3.5	283	48.6	5.29
4.0	274	50.3	5.34
4.5	271	50.8	5.40
5.0	265	51.9	5.48
6.0	283	48.6	5.49
8.0	293	46.8	5.61

ค.2 ผลการตกตะกอนกับเฟอร์ริกซัลเฟต

ตารางที่ ค.2.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล โดยใช้เฟอร์ริกซัลเฟต 350 มก./ล. (จากการทำ Pre-Treatment)

ค่าพีเอช ± 0.05	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
4.00	378	31.4	3.86
4.50	369	33.0	4.09
5.00	351	36.3	4.17
5.50	345	37.4	4.14

ค่าพีเอช ± 0.05	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
6.00	336	39.0	4.22
6.50	330	40.1	4.90
7.00	327	40.8	5.76
7.50	330	40.1	5.81
8.00	333	40.1	6.18
8.50	342	37.9	6.39
9.00	354	35.8	6.64
9.50	366	33.6	6.69

ตารางที่ ค.2.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกซัลเฟตที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. ปรับค่าพีเอชเป็น 7.00

ปริมาณสาร Fe ₂ (SO ₄) ₂ (มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
100	355	35.8	6.79
150	312	43.4	6.56
200	286	48.1	6.34
250	271	50.8	6.17
300	274	50.3	6.02
350	277	49.7	5.70
400	280	49.2	5.45
450	283	48.6	5.16
500	286	48.1	4.96
600	291	47.2	4.85
700	297	46.1	4.62
800	300	45.6	4.51
900	309	43.9	4.44
1,000	315	42.8	4.28

ตารางที่ ค.2.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.00 และใช้สารสร้างตะกอน 250 มก./ล.

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
0.5	316	42.6	5.34
1.0	307	44.3	4.96
1.5	301	45.4	4.75
2.0	289	47.5	4.55
2.5	280	49.2	4.30
3.0	274	50.3	4.12
3.5	249	54.8	3.91
4.0	264	52.1	3.78
4.5	271	50.8	3.61
5.0	271	50.8	3.56
6.0	274	50.3	3.30
8.0	274	50.3	3.32

ตารางที่ ค.2.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.00 และใช้สารสร้างตะกอน 250 มก./ล.

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
0.5	322	41.5	5.48
1.0	305	44.6	5.21
1.5	297	46.1	4.95
2.0	288	47.7	4.75
2.5	281	49.0	4.53
3.0	262	52.4	4.42

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
3.5	232	57.8	4.11
4.0	245	55.5	4.05
4.5	265	51.9	3.91
5.0	271	50.8	3.68
6.0	274	50.3	3.60
8.0	271	50.8	3.32

ค.3 ผลการตกตะกอนกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ค.3.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มก./ล. (จากการทำ Pre-Treatment)

ค่าพีเอช ± 0.05	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
4.00	398	27.8	9.89
4.50	389	29.4	10.26
5.00	377	31.6	10.58
5.50	368	33.2	10.64
6.00	362	34.3	10.81
6.50	359	34.8	10.90
7.00	348	36.8	11.12
7.50	339	38.5	11.20
8.00	342	37.9	11.34
8.50	345	37.4	11.65
9.00	354	35.7	11.94
9.50	363	34.1	12.01

ตารางที่ ค.3.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่า COD เริ่มต้น 551 มก./ล. ปรับค่าพีเอชเป็น 7.50

ปริมาณสาร Ca(OH) ₂ (มก./ล.)	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
100	385	30.1	10.56
150	379	31.2	10.84
200	357	35.2	10.99
250	345	37.4	11.10
300	333	39.6	11.30
350	321	41.7	11.42
400	309	43.9	11.45
450	324	41.2	11.52
500	330	40.1	11.67
600	336	39.0	11.78
700	345	37.4	11.85
800	354	35.7	11.91
900	366	33.6	12.22
1,000	369	33.0	12.34

ตารางที่ ค.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแอนไอออนที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.50 และใช้สารสร้างตะกอน 400 มก./ล.

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีโอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีโอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
0.5	356	35.4	10.23
1.0	338	38.6	10.46
1.5	329	40.3	10.57
2.0	312	43.4	10.68

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
2.5	306	44.5	10.72
3.0	303	45.0	10.93
3.5	315	42.8	11.30
4.0	323	41.4	11.21
4.5	329	40.3	11.30
5.0	335	39.2	11.36
6.0	341	38.1	11.54
8.0	350	36.5	11.69

ตารางที่ ค.3.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่เหมาะสมอย่างละเอียดของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชเป็น 7.50 และใช้สารสร้างตะกอน 400 มก./ล.

ปริมาณสาร Polymer(มก./ล.)	ค่าซีไอดี หลัง (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ซีไอดี	ค่าพีเอช หลังตกตะกอน
0.5	349	36.7	10.97
1.0	331	39.9	11.23
1.5	323	41.4	11.45
2.0	311	43.6	11.56
2.5	303	45.0	11.67
3.0	291	47.2	11.85
3.5	285	48.3	12.01
4.0	294	46.6	12.12
4.5	300	45.6	12.31
5.0	306	44.5	12.40
6.0	315	42.8	12.42
8.0	312	43.4	12.56

ภาคผนวก ง
สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำเสียของบริษัทไทยโทเร เท็กซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่ 33/3 หมู่ 3 ถ.สุขาภิบาล อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม 73120 โทร. (034) 331788-90

บริษัทไทยโทเร เท็กซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด (มหาชน) หรือ Thai Toray Textile Mills (TTTM) เป็นโรงงานผลิตสิ่งทอขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม บนเนื้อที่ 136.9 ไร่ จำนวนพนักงาน 780 คน เริ่มก่อตั้งบริษัทเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2506 โดยได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากรัฐบาล เริ่มผลิตสินค้า เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2507 เป็นโรงงานสิ่งทอแบบครบวงจร คือ ปั่นด้าย ทอผ้า ผ่าตัดและย้อม ตกแต่งสำเร็จ ประมาณการผลิต 2,300,000 หลา/เดือนการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย 40 % ต่างประเทศ 60 % (กลุ่มตะวันออกกลาง ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น ฯลฯ) ปฏิบัติตนตามนโยบายสิ่งแวดล้อมที่ว่าการผสมผสานสภาพแวดล้อมเข้ากับธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วย การจัดสถานที่ทำงานให้สะอาด การสูญเสียให้น้อยที่สุดและการช่วยเหลือสังคมท้องถิ่น

ผลิตภัณฑ์ของบริษัท

- ผ้าทอโพลีเอสเตอร์, เรย่อน (ตราอินทรีทอง)
สำหรับตัดชุดนักเรียน, ชุดสูท, ชุดซาฟารี, ยูนิฟอร์ม
- ผ้ายัด โพลีเอสเตอร์, ไนลอน (ตราบอนนี่)
สำหรับตัดชุดวอร์ม, ชุดกีฬา

น้ำจากการฟอกย้อม

ในการย้อมเส้นใย TETORON ใช้สี DISPERSE ซึ่งมีคุณสมบัติย้อมที่อุณหภูมิ 130°C ไม่ละลายน้ำ ให้ประจุลบ

ในการย้อม RAYON & COTTON ใช้สี DIRECT & REACTIVE ย้อมที่อุณหภูมิ 80°C-90°C ละลายน้ำ ให้ประจุลบ

ในการย้อม ACRYLIC ใช้สี CATIONIC ละลายน้ำได้ ให้ประจุบวก

สารเคมีที่ใช้ในการฟอกย้อม

SODIUM SULPHATE (Na ₂ SO ₄)	=	75	TON/ MONTH
เกลือเป็นของเสีย 25 %	=	19	TON/ MONTH
กรด CH ₃ COOH (ACETIC ACID)	=	0.5	TON/ MONTH
NaOH (SODIUM HYDROXIDE)	=	10	TON/ MONTH

เกลือเป็นของเสีย 25 % = 2.5 TON/ MONTH

RESIN = 20 TON/ MONTH เกลือเป็นของเสีย 5 % = 1 TON/ MONTH

NaH₂S (HYDRO SULPHITE) = 2 TON/ MONTH

เกลือเป็นของเสีย 25 % = 0.5 TON/ MONTH

น้ำเสียส่วนมากประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์ (COLLOID PARTICLE) ที่ตกตะกอน, ไม่ตกตะกอน และอนุภาคที่แขวนลอย

การควบคุมคุณภาพก่อนระบายออกสู่น้ำน่านนครชัยศรี

1. ต้องผ่านการวิเคราะห์จากเจ้าหน้าที่ของบริษัทฯ ในความควบคุมของวิศวกรประจำบริษัทฯ
2. กองสิ่งแวดล้อมกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ตรวจสอบและควบคุม
3. นำน้ำตัวอย่างส่งให้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดล ตรวจวิเคราะห์

มาตรฐานการระบายน้ำออกแม่น้ำ

ข้อกำหนด	มาตรฐานตามกฎหมาย	การวิเคราะห์ของไทยโทเรฯน้ำออกจากระบบระบายออกแม่น้ำ	
		Max.	Min.
pH	5.5-9.0	9.5	7.7
Dissolve Solids (DS)	3,000-5,000 ppm	2,182	2,026
Suspended Solids (SS)	50-150 ppm	95	51
COD	ไม่ควรเกิน 120 ppm	499	154
BOD	ไม่ควรเกิน 20 ppm	120	13

ระบบบำบัดน้ำเสีย (WASTEWATER TREATMENT ของ THAI TORAY)

ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทไทยโทเรทีกซ์ ไลน์ จำกัด (มหาชน) เป็นระบบ CHEMICAL TREATMENT และ BIOLOGICAL TREATMENT

1. แบบตกตะกอน (SEDIMENTATION)
2. แบบบ่อฝิ่ง และคลองเวียน (OXIDATION LAGOON)

ค่าดำเนินการบำบัด 1.92 บาท/ตัน ปริมาณน้ำทิ้ง 2,400 – 3,000 ม³/วัน ระยะเวลาทำงาน ตลอด 24 ชั่วโมง

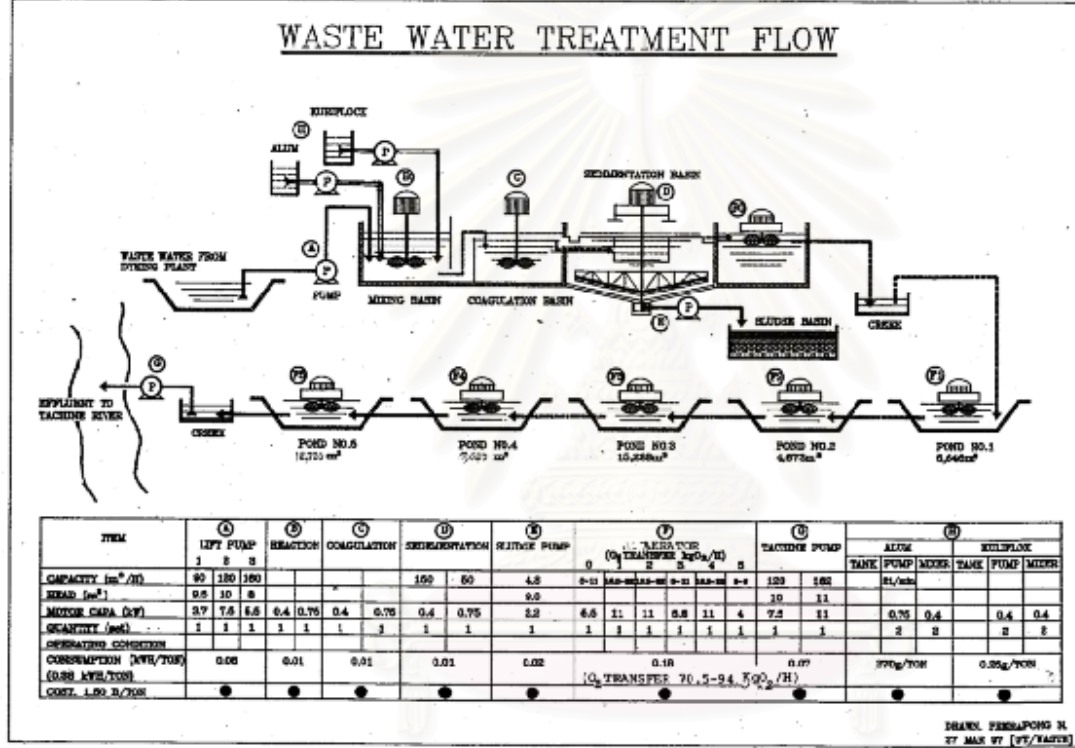
หลักการบำบัด

น้ำใช้จากโรงงานและน้ำจากการฟอกย้อมถูกนำไปรวมไว้ที่บ่อพักน้ำเสียเพื่อลดอุณหภูมิและกักเก็บให้ปริมาณเพียงพอ จึงสูบน้ำขึ้นเครื่องบำบัดน้ำเสีย และใช้สารเคมี (Chemical Treatment) โดยผ่านกระบวนการบำบัด 2 ขั้นตอน คือ ระบบการตกตะกอนด้วยสารเคมี (Sedimentation system) และระบบบ่อฝุ้ง (Oxidation pond & Oxidation lagoon) ในกระบวนการบำบัดด้วยระบบการตกตะกอนด้วยสารเคมีนั้น ส่วนที่เป็นตะกอนจะถูกถ่ายเข้าสู่ถาดตะกอน เมื่อตะกอนแห้งนำไปถมที่หลังโรงงาน สำหรับน้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดและผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะถูกสูบระบายออกเมื่อน้ำนครชัยศรี (ท่าจีน) สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

1. สารส้ม (Aluminium Sulphate (Al_2SO_4)₃·18H₂O) = 30 ตัน/เดือน
2. สารช่วยตกตะกอน (Coagulation aid) = 100 กก./เดือน

วิธีการบำบัด

1. น้ำใช้จากในโรงงานและจากการฟอกย้อม เป็นน้ำเสียประเภทอินทรีย์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 60 °C จะไหลไปกักเก็บไว้ที่บ่อน้ำเสียที่มีขนาดกักเก็บได้ 7,500 ม³ เพื่อลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 35 °C
2. สูบน้ำจากบ่อพักขึ้นสู่ระบบบ่อดตกตะกอน (Sedimentation system) มีขีดความสามารถบำบัดได้ 200 ม³/hr. (2 เครื่อง) สารเคมีในกระบวนการบำบัดคือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (สารส้ม) และ kuriflock (Coagulation aid) ชนิดประจุลบ
3. น้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัด Sedimentation system แล้วจะถูกปล่อยออกสู่ระบบ Oxidation pond และ Oxidation lagoon ระบบนี้น้ำเสียจะถูกพักตัวในระบบเป็นเวลา 15-20 วัน ปริมาณ 50,000 ม³ ด้วยระยะทางประมาณ 2.5 กม. เพื่อให้ธรรมชาติสังเคราะห์คุณภาพ



รูปที่ 1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของโรงงานไทยเทคเซ็ทผลิตภัณฑ์จำกัด (มหาชน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัด

1. ราคาสารเคมีที่ใช้ในการลดค่าซีโอดีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการทดลองลดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ (บริษัท ไทยโพเรเท็กซ์ไทมิลล์ จำกัด) โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ใช้สารเคมี 3 ส่วน คือ สารเคมีในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน

ก. ราคาสารเคมีในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อน-หลังบำบัด

(จากการสอบถามราคา เดือนตุลาคม 2542)

1. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) Commercial Grade 98 % v/v ราคา 15.00 บาท/ลบ.คม.
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) Commercial Grade 50 % w/v ราคา 18.50 บาท/ลบ.คม.

ข. ราคาสารสร้างตะกอน (Coagulant)

(จากการสอบถามราคา เดือนตุลาคม 2542)

1. โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) Commercial Grade ราคา 11.50 บาท/กิโลกรัม
2. เฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_2$) Commercial Grade ราคา 9.00 บาท/กิโลกรัม
3. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) Commercial Grade ราคา 6.50 บาท/กิโลกรัม

ค. ราคาสารช่วยตกตะกอน (Polymer)

(จากการสอบถามราคา เดือนตุลาคม 2542)

1. โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน (Magnafloc 2025) Commercial Grade ราคา 220.00 บาท/กิโลกรัม
2. โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) Commercial Grade ราคา 300.00 บาท/กิโลกรัม

2. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการลดค่าซีโอดีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่าย

2.1 ค่าใช้จ่ายสารเคมีในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อน/หลังการบำบัด

2.1.1 กรณีใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 98 % v/v ใช้ปริมาตรในการทดลอง 1.20 ลบ.ชม. ต่อน้ำเสีย 500.00 ลบ./ชม.

กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 98 % v/v ราคา 15.00 บาท/ลบ.คม.

การคำนวณ

สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 98 % v/v ประกอบด้วยกรดซัลฟูริก 98 % v/v 10.00 ลบ.ซม. ในน้ำ 100.00 ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลายกรดซัลฟูริก 9.8 % v/v จำนวน 1.00 ลบ.ซม.

$$= 1.00 \text{ ลบ.ซม.} \times (10.00 \text{ ลบ.ซม.} \div 100.00 \text{ ลบ.ซม.})$$

$$= 0.10 \text{ ลบ.ซม. ของกรดซัลฟูริก 98 \% v/v}$$

ดังนั้น น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500 ลบ.ซม. ใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 9.8 % v/v 1.20 ลบ.ซม. คิดเป็นกรดซัลฟูริก 98 % v/v

$$= 1.20 \text{ ลบ.ซม.} \times \{ 0.10 \text{ ลบ.ซม. ของ } H_2SO_4 \text{ 98 \% v/v} \div 1.00 \text{ ลบ.ซม. ของ } H_2SO_4 \text{ 9.8 \% v/v} \}$$

$$= 0.12 \text{ ลบ.ซม. ของกรดซัลฟูริก 98 \% v/v}$$

ถ้าใช้น้ำเสีย 1 ลบ.ม. จะใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 98 % v/v จำนวน

$$= (0.12 \text{ ลบ.ซม.} \div 500 \text{ ลบ.ซม.}) \times (1000 \text{ ลบ.ซม.} \div 1.00 \text{ ลบ.คม.}) \times (1000 \text{ ลบ.คม.} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.})$$

$$= 240.00 \text{ ลบ.ซม. ของกรดซัลฟูริก 98 \% v/v ต่อใช้น้ำเสีย 1 ลบ.ม.}$$

กรดซัลฟูริก 98 % v/v ราคา 15.00 บาท/ลบ.คม.

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับกรดซัลฟูริก

$$= (240 \text{ ลบ.ซม.} \div \text{ลบ.ม.}) \times (\text{ลบ.คม.} \div 1000 \text{ ลบ.ซม.}) \times (15.00 \text{ บาท} \div \text{ลบ.คม.})$$

$$= 3.60 \text{ บาท/ลบ.ม.}$$

2.1.2 กรณีใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 % w/v ใช้ปริมาณในการทดลอง 6.0 ลบ.ซม. ต่อใช้น้ำเสีย 500.00 ลบ./ซม.

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 50 % w/v ราคา 18.50 บาท/ลบ.คม.

การคำนวณ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 % w/v ประกอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 50 % w/v 10.00 ลบ.ซม. ในน้ำ 50.00 ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % w/v จำนวน 1.00 ลบ.ซม.

$$= 1.00 \text{ ลบ.ซม.} \times (10.00 \text{ ลบ.ซม.} \div 50.00 \text{ ลบ.ซม.})$$

$$= 0.20 \text{ ลบ.ซม. ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 \% w/v}$$

ดังนั้น น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500 ลบ.ซม. ใช้สารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % w/v 6.0 ลบ.ซม. คิดเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % w/v

$$= 6.0 \text{ ลบ.ซม.} \times \{ 0.20 \text{ ลบ.ซม. ของ NaOH 50 \% w/v} \div 1.00 \text{ ลบ.ซม. ของ NaOH 10 \% w/v} \}$$

$$= 1.20 \text{ ลบ.ซม. ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 \% w/v}$$

ดังนั้น น้ำเสีย 1 ลบ.ม. จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % w/v จำนวน

$$= (1.20 \text{ ลบ.ซม.} \div 500 \text{ ลบ.ซม.}) \times (1000 \text{ ลบ.ซม.} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.ม.} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.})$$

$$= 2,400.00 \text{ ลบ.ซม. ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 \% w/v ต่อ น้ำเสีย 1 ลบ.ม.}$$

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % w/v ราคา 18.50 บาท/ลบ.ม.

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$= (2,400 \text{ ลบ.ซม.} \div \text{ลบ.ม.}) \times (\text{ลบ.ม.} \div 1,000 \text{ ลบ.ซม.}) \times (18.50 \text{ บาท} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 44.4 \text{ บาท/ลบ.ม.}$$

2.2 ค่าใช้จ่ายสารสร้างตะกอน

2.2.1 กรณีใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ใช้ปริมาตรในการทดลอง 1.00 กรัม/ลบ.ม. ต่อ น้ำเสีย 500.00 ลบ./ซม.

การคำนวณ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500.00 ลบ.ซม. ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1.00 กรัม/ลบ.ม. ดังนั้น น้ำเสีย 1.00 ลบ.ม. จะใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ทั้งสิ้น

$$= (1,000 \text{ ลบ.ซม.} \div 500 \text{ ลบ.ซม.}) \times (1.0 \text{ กรัม} \div \text{ลบ.ม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.ม.} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 2,000 \text{ กรัม/ลบ.ม.}$$

โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ราคา 11.50 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

$$= (2,000 \text{ กรัม} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1.00 \text{ กิโลกรัม} \div 1,000 \text{ กรัม}) \times (11.50 \text{ บาท} \div 1.00 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 23.00 \text{ บาท/ ลบ.ม.}$$

2.2.2 กรณีใช้เฟอร์ริกซัลเฟต ใช้ปริมาตรในการทดลอง 0.125 กรัม/ลบ.คม. ต่อน้ำเสีย 500.00 ลบ./ชม.

การคำนวณ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500.00 ลบ.ชม. ใช้เฟอร์ริกซัลเฟต 0.125 กรัม/ลบ.คม. ดังนั้น น้ำเสีย 1.00 ลบ.ม. จะใช้เฟอร์ริกซัลเฟตทั้งสิ้น

$$= (1,000 \text{ ลบ.ชม.} \div 500 \text{ ลบ.ชม.}) \times (0.125 \text{ กรัม} \div \text{ลบ.คม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.คม.} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 250 \text{ กรัม/ลบ.ม.}$$

เฟอร์ริกซัลเฟต ราคา 9.00 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับเฟอร์ริกซัลเฟต

$$= (250 \text{ กรัม} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1.00 \text{ กิโลกรัม} \div 1,000 \text{ กรัม}) \times (9.00 \text{ บาท} \div 1.00 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 2.25 \text{ บาท/ ลบ.ม.}$$

2.2.3 กรณีใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้ปริมาตรในการทดลอง 0.20 กรัม/ลบ.คม. ต่อน้ำเสีย 500.00 ลบ./ชม.

การคำนวณ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500.00 ลบ.ชม. ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.20 กรัม/ลบ.คม. ดังนั้น น้ำเสีย 1.00 ลบ.ม. จะใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ทั้งสิ้น

$$= (1,000 \text{ ลบ.ชม.} \div 500 \text{ ลบ.ชม.}) \times (0.20 \text{ กรัม} \div \text{ลบ.คม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.คม.} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 400 \text{ กรัม/ลบ.ม.}$$

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ราคา 6.50 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับแคลเซียมไฮดรอกไซด์

$$= (400 \text{ กรัม} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1.00 \text{ กิโลกรัม} \div 1,000 \text{ กรัม}) \times (6.50 \text{ บาท} \div 1.00 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 2.60 \text{ บาท/ ลบ.ม.}$$

2.3 ค่าใช้จ่ายสารช่วยตกตะกอน

กรณีใช้โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน (Magnafloc 2025) ในการทดลองให้ค่าการลดซีโอดีได้ต่ำกว่าโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนในการตกตะกอนร่วมกับสารสร้างตะกอนทุกชนิด ดังนั้น ค่าใช้จ่ายของสารช่วยตกตะกอนนี้จะคำนวณเฉพาะโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนที่ตกตะกอนร่วมกับสารสร้างตะกอนเท่านั้น

2.3.1 กรณีใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) ตกตะกอนร่วมกับโพลูมิเนียมคลอไรด์ใช้ปริมาตรในการทดลอง 0.0025 กรัม/ลบ.ม. ต่อน้ำเสีย 500.00 ลบ./ชม.

การคำนวณ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500.00 ลบ.ชม. ใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน 0.0025 กรัม/ลบ.ม. ดังนั้น น้ำเสีย 1.00 ลบ.ม. จะใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนทั้งสิ้น

$$= (1,000 \text{ ลบ.ชม.} \div 500 \text{ ลบ.ชม.}) \times (0.0025 \text{ กรัม} \div \text{ลบ.ม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.ม.} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 5.0 \text{ กรัม/ลบ.ม.}$$

โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) ราคา 300.00 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน

$$= (5.0 \text{ กรัม} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1.00 \text{ กิโลกรัม} \div 1,000 \text{ กรัม}) \times (300 \text{ บาท} \div 1.00 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 1.50 \text{ บาท/ ลบ.ม.}$$

2.3.2 กรณีใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) ตกตะกอนร่วมกับเฟอร์ริกซัลเฟต ใช้ปริมาตรในการทดลอง 0.00175 กรัม/ลบ.ม. ต่อน้ำเสีย 500.00 ลบ./ชม.

การคำนวณ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500.00 ลบ.ชม. ใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน 0.00175 กรัม/ลบ.ม. ดังนั้น น้ำเสีย 1.00 ลบ.ม. จะใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนทั้งสิ้น

$$= (1,000 \text{ ลบ.ชม.} \div 500 \text{ ลบ.ชม.}) \times (0.00175 \text{ กรัม} \div \text{ลบ.ม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.ม.} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 3.50 \text{ กรัม/ลบ.ม.}$$

โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) ราคา 300.00 บาท/กิโลกรัม
 ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน

$$= (3.50 \text{ กรัม} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1.00 \text{ กิโลกรัม} \div 1,000 \text{ กรัม}) \times (300 \text{ บาท} \div 1.00 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 1.05 \text{ บาท/ลบ.ม.}$$

2.3.3 กรณีใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) ตกตะกอนร่วมกับ
 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้ปริมาณในการทดลอง 0.00175 กรัม/ลบ.ม. ต่อน้ำเสีย 500.00
 ลบ./ชม.

การคำนวณ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 500.00 ลบ.ชม. ใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน 0.00175
 กรัม/ลบ.ม. ดังนั้น น้ำเสีย 1.00 ลบ.ม. จะใช้โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออนทั้งสิ้น

$$= (1,000 \text{ ลบ.ชม.} \div 500 \text{ ลบ.ชม.}) \times (0.00175 \text{ กรัม} \div \text{ลบ.ม.}) \times (1,000 \text{ ลบ.ม.} \div \text{ลบ.ม.})$$

$$= 3.50 \text{ กรัม/ลบ.ม.}$$

โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน (Zetag-63) ราคา 300.00 บาท/กิโลกรัม
 ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน

$$= (3.50 \text{ กรัม} \div 1.00 \text{ ลบ.ม.}) \times (1.00 \text{ กิโลกรัม} \div 1,000 \text{ กรัม}) \times (300 \text{ บาท} \div 1.00 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 1.05 \text{ บาท/ลบ.ม.}$$

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

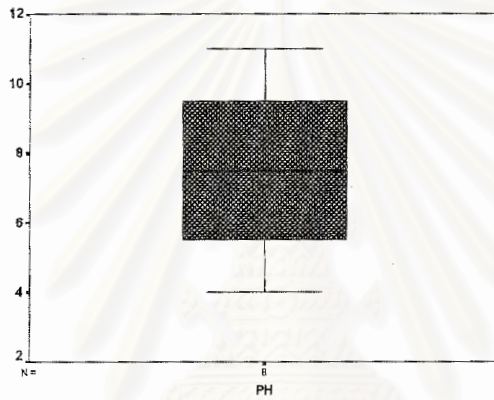
ภาคผนวก ฉ
การวิเคราะห์ทางสถิติ

Explore : ตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลด้วย Boxplot ของโพธิ์ธูมิเนียมคลอไรด์

pH

pH Stem-and-Leaf Plot

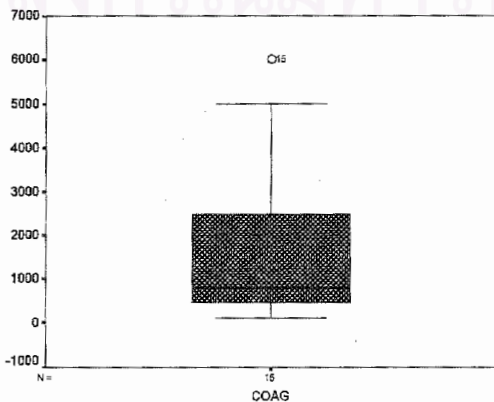
Frequency	Stem & Leaf
1.00	0 . 4
5.00	0 . 56789
2.00	1 . 01
Stem width:	10.0
Each leaf:	1 case(s)



COAG

COAG Stem-and-Leaf Plot

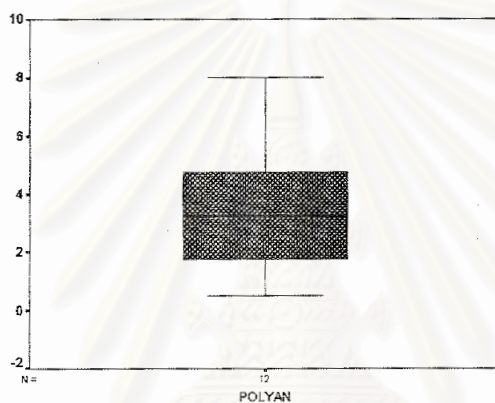
Frequency	Stem & Leaf
9.00	0 . 123456789
1.00	1 . 0
1.00	2 . 0
1.00	3 . 0
1.00	4 . 0
1.00	5 . 0
1.00	Extremes (>=6000)
Stem width:	1000.00
Each leaf:	1 case(s)



POLYAN

POLYAN Stem-and-Leaf Plot

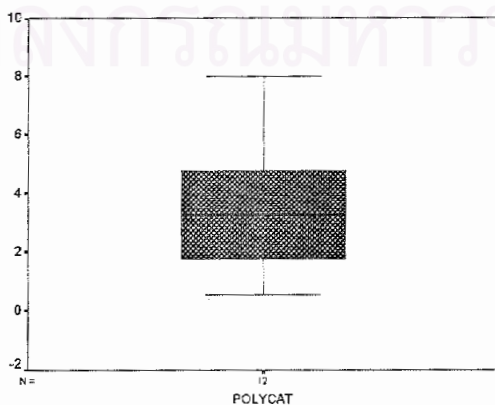
Frequency	Stem & Leaf
3.00	0 . 011
4.00	0 . 2233
3.00	0 . 445
1.00	0 . 6
1.00	0 . 8
Stem width:	10.00
Each leaf:	1 case(s)



POLYCAT

POLYCAT Stem-and-Leaf Plot

Frequency	Stem & Leaf
3.00	0 . 011
4.00	0 . 2233
3.00	0 . 445
1.00	0 . 6
1.00	0 . 8
Stem width:	10.00
Each leaf:	1 case(s)

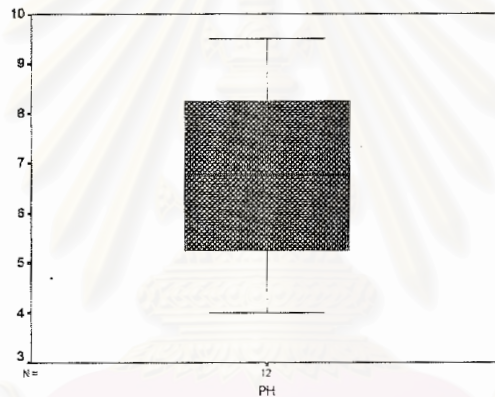


Explore : ตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลด้วย Boxplot ของเฟอร์ริกซัลเฟต

pH

pH Stem-and-Leaf Plot

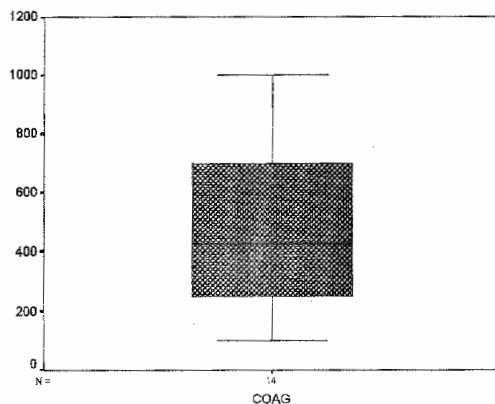
Frequency	Stem & Leaf
2.00	4 . 05
2.00	5 . 05
2.00	6 . 05
2.00	7 . 05
2.00	8 . 05
2.00	9 . 05
Stem width:	1.0
Each leaf:	1 case(s)



COAG

COAG Stem-and-Leaf Plot

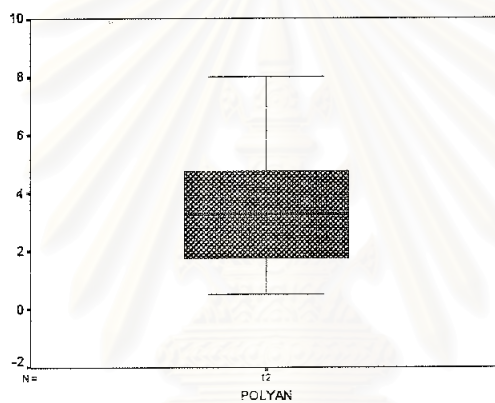
Frequency	Stem & Leaf
8.00	0 . 11223344
5.00	0 . 56789
1.00	1 . 0
Stem width:	1000.00
Each leaf:	1 case(s)



POLYAN

POLYAN Stem-and-Leaf Plot

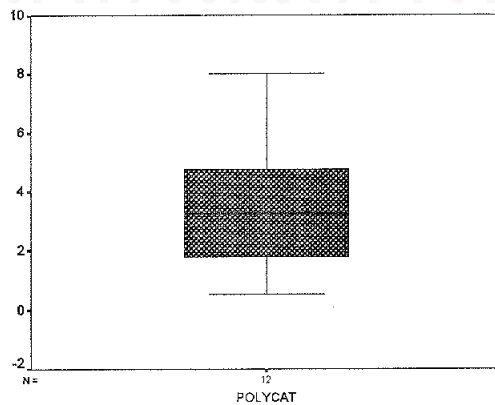
Frequency	Stem & Leaf
3.00	0 . 011
4.00	0 . 2233
3.00	0 . 445
1.00	0 . 6
1.00	0 . 8
Stem width:	10.00
Each leaf:	1 case(s)



POLYCAT

POLYCAT Stem-and-Leaf Plot

Frequency	Stem & Leaf
3.00	0 . 011
4.00	0 . 2233
3.00	0 . 445
1.00	0 . 6
1.00	0 . 8
Stem width:	10.00
Each leaf:	1 case(s)

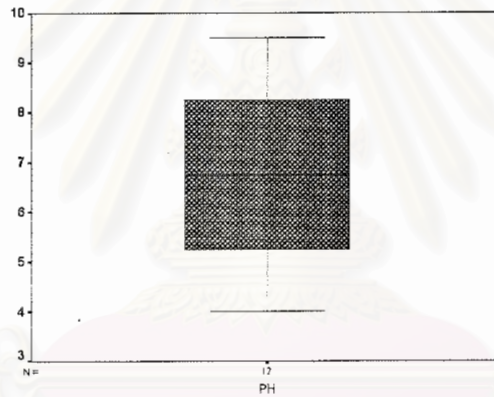


Explore : ตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลด้วย Boxplot ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

pH

pH Stem-and-Leaf Plot

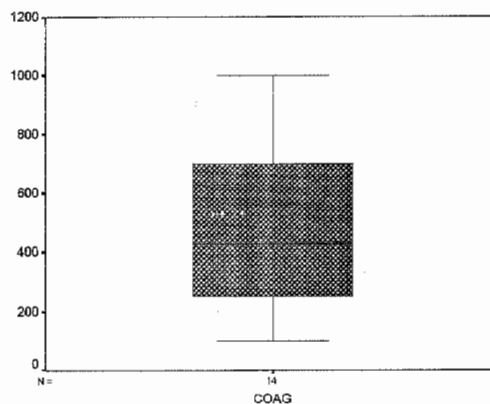
Frequency	Stem & Leaf
2.00	4 . 05
2.00	5 . 05
2.00	6 . 05
2.00	7 . 05
2.00	8 . 05
2.00	9 . 05
Stem width:	1.0
Each leaf:	1 case(s)



COAG

COAG Stem-and-Leaf Plot

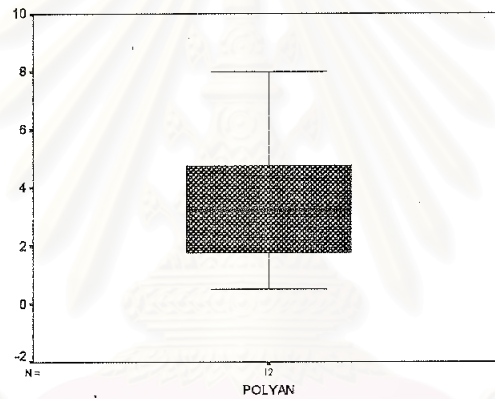
Frequency	Stem & Leaf
8.00	0 . 11223344
5.00	0 . 56789
1.00	1 . 0
Stem width:	1000.00
Each leaf:	1 case(s)



POLYAN

POLYAN Stem-and-Leaf Plot

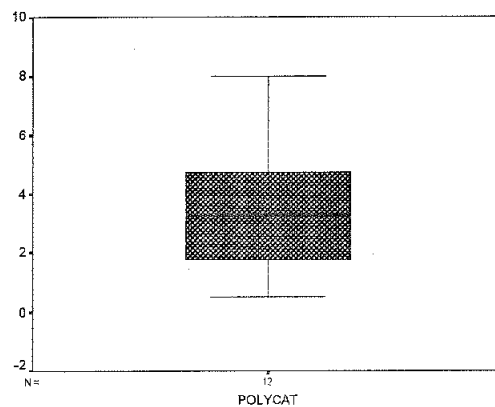
Frequency	Stem & Leaf
3.00	0 . 011
4.00	0 . 2233
3.00	0 . 445
1.00	0 . 6
1.00	0 . 8
Stem width:	10.00
Each leaf:	1 case(s)



POLYCAT

POLYCAT Stem-and-Leaf Plot

Frequency	Stem & Leaf
3.00	0 . 011
4.00	0 . 2233
3.00	0 . 445
1.00	0 . 6
1.00	0 . 8
Stem width:	10.00
Each leaf:	1 case(s)



Regression :

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำเข้าสู่สมการความถดถอยเชิงเส้นของโพลีอูมิเนียมคลอไรด์

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	pH ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: RMV_4

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.986 ^a	.971	.967	.8174	.971	203.408	1	6	.000	.843

a. Predictors: (Constant), pH

b. Dependent Variable: RMV_4

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	135.900	1	135.900	203.408	.000 ^a
	Residual	4.009	6	.668		
	Total	139.909	7			

a. Predictors: (Constant), pH

b. Dependent Variable: RMV_4

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	29.996	.989		30.327	.000	27.576	32.417		
	pH	1.799	.126	.986	14.262	.000	1.490	2.107	1.000	1.000

a. Dependent Variable: RMV_4

Excluded Variables^b

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation
1	COAG	.a	.	.	.
	POLYAN	.a	.	.	.
	POLYCAT	.a	.	.	.

Excluded Variables^b

Model		Collinearity Statistics		
		Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	COAG	.000	.	.000
	POLYAN	.000	.	.000
	POLYCAT	.000	.	.000

a. Predictors in the Model: (Constant), pH

b. Dependent Variable: RMV_4

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions	
				(Constant)	pH
1	1	1.956	1.000	.02	.02
	2	4.363E-02	6.696	.98	.98

a. Dependent Variable: RMV_4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Regression :

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำเข้ามากรความถดถอยเชิงเส้นของเฟอร์ริกซัลเฟต

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	pH ^a		Enter
2	COAG ^a		Enter
3	POLYAN ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: RMV_4

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.648 ^a	.421	.363	3.6070	.421	7.257	1	10	.023	
2	.856 ^b	.733	.674	2.5785	.313	10.568	1	9	.010	
3	.884 ^c	.781	.699	2.4805	.047	1.725	1	8	.225	1.594

a. Predictors: (Constant), pH

b. Predictors: (Constant), pH, COAG

c. Predictors: (Constant), pH, COAG, POLYAN

d. Dependent Variable: RMV_4

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	94.423	1	94.423	7.257	.023 ^a
	Residual	130.104	10	13.010		
	Total	224.527	11			
2	Regression	164.687	2	82.343	12.384	.003 ^b
	Residual	59.840	9	6.649		
	Total	224.527	11			
3	Regression	175.303	3	58.434	9.497	.005 ^c
	Residual	49.224	8	6.153		
	Total	224.527	11			

a. Predictors: (Constant), pH

b. Predictors: (Constant), pH, COAG

c. Predictors: (Constant), pH, COAG, POLYAN

d. Dependent Variable: RMV_4

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
		1	(Constant)	38.897	4.203		9.254	.000	29.532	48.262
	pH	1.625	.603	.648	2.694	.023	.281	2.969	1.000	1.000
2	(Constant)	8.377	9.858		.850	.417	-13.923	30.676		
	pH	10.538	2.775	4.205	3.797	.004	4.259	16.816	.024	41.415
	COAG	-7.410E-02	.023	-3.600	-3.251	.010	-.126	-.023	.024	41.415
3	(Constant)	6.836	9.555		.715	.495	-15.198	28.870		
	pH	11.550	2.779	4.609	4.156	.003	5.142	17.958	.022	44.867
	COAG	-.122	.042	-5.917	-2.872	.021	-.220	-.024	.006	154.922
	POLYAN	3.984	3.033	1.931	1.314	.225	-3.010	10.979	.013	78.851

a. Dependent Variable: RMV_4

Excluded Variables^d

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	COAG	-3.600 ^a	-3.251	.010	-.735	2.415E-02	41.415	2.415E-02
	POLYAN	-1.682 ^a	-1.647	.134	-.481	4.744E-02	21.079	4.744E-02
	POLYCAT	-1.682 ^a	-1.647	.134	-.481	4.744E-02	21.079	4.744E-02
2	POLYAN	1.931 ^b	1.314	.225	.421	1.268E-02	78.851	6.455E-03
	POLYCAT	1.931 ^b	1.314	.225	.421	1.268E-02	78.851	6.455E-03
3	POLYCAT					.000		.000

a. Predictors in the Model: (Constant), PH

b. Predictors in the Model: (Constant), PH, COAG

c. Predictors in the Model: (Constant), PH, COAG, POLYAN

d. Dependent Variable: RMV_4

Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	pH	COAG	POLYAN
1	1	1.969	1.000	.02	.02		
	2	3.117E-02	7.947	.98	.98		
2	1	2.884	1.000	.00	.00	.00	
	2	.115	5.013	.03	.00	.02	
	3	9.685E-04	54.573	.97	1.00	.98	
3	1	3.817	1.000	.00	.00	.00	.00
	2	.180	4.603	.02	.00	.00	.01
	3	2.368E-03	40.151	.31	.18	.10	.57
	4	6.709E-04	75.426	.67	.82	.90	.43

a. Dependent Variable: RMV_4

Regression :

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำเข้ามาสมการความถดถอยเชิงเส้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	pH ^a		Enter
2	COAG ^a		Enter
3	POLYAN ^a		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: RMV_4

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	
1	.530 ^a	.281	.209	2.9046	.281	3.912	1	10	.076
2	.845 ^b	.714	.651	1.9300	.433	13.649	1	9	.005
3	.878 ^c	.771	.685	1.8321	.057	1.988	1	8	.196

a. Predictors: (Constant), pH

b. Predictors: (Constant), pH, COAG

c. Predictors: (Constant), pH, COAG, POLYAN

d. Dependent Variable: RMV_4

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	33.005	1	33.005	3.912	.076 ^a
	Residual	84.365	10	8.437		
	Total	117.370	11			
2	Regression	83.845	2	41.923	11.255	.004 ^b
	Residual	33.525	9	3.725		
	Total	117.370	11			
3	Regression	90.518	3	30.173	8.989	.006 ^c
	Residual	26.852	8	3.357		
	Total	117.370	11			

a. Predictors: (Constant), pH

b. Predictors: (Constant), pH, COAG

c. Predictors: (Constant), pH, COAG, POLYAN

d. Dependent Variable: RMV_4

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	37.264	3.385		11.010	.000	28.723	44.806		
	pH	.961	.486	.530	1.978	.076	-.122	2.043	1.000	1.000
2	(Constant)	11.303	7.378		1.532	.160	-5.388	27.994		
	pH	8.542	2.077	4.714	4.112	.003	3.843	13.241	.024	41.415
	COAG	-6.303E-02	.017	-4.236	-3.694	.005	-.102	-.024	.024	41.415
3	(Constant)	10.082	7.057		1.429	.191	-6.192	26.356		
	pH	9.345	2.052	5.157	4.553	.002	4.612	14.078	.022	44.867
	COAG	-.101	.031	-6.776	-3.219	.012	-.173	-.029	.006	154.922
	POLYAN	3.159	2.240	2.117	1.410	.196	-2.008	8.325	.013	78.851

a. Dependent Variable: RMV_4

Excluded Variables^d

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	COAG	-4.236 ^a	-3.694	.005	-.776	2.415E-02	41.415	2.415E-02
	POLYAN	-2.020 ^a	-1.822	.102	-.519	4.744E-02	21.079	4.744E-02
	POLYCAT	-2.020 ^a	-1.822	.102	-.519	4.744E-02	21.079	4.744E-02
2	POLYAN	2.117 ^b	1.410	.196	.446	1.268E-02	78.851	6.455E-03
	POLYCAT	2.117 ^b	1.410	.196	.446	1.268E-02	78.851	6.455E-03
3	POLYCAT	^c				.000		.000

a. Predictors in the Model: (Constant), pH

b. Predictors in the Model: (Constant), pH, COAG

c. Predictors in the Model: (Constant), pH, COAG, POLYAN

d. Dependent Variable: RMV_4

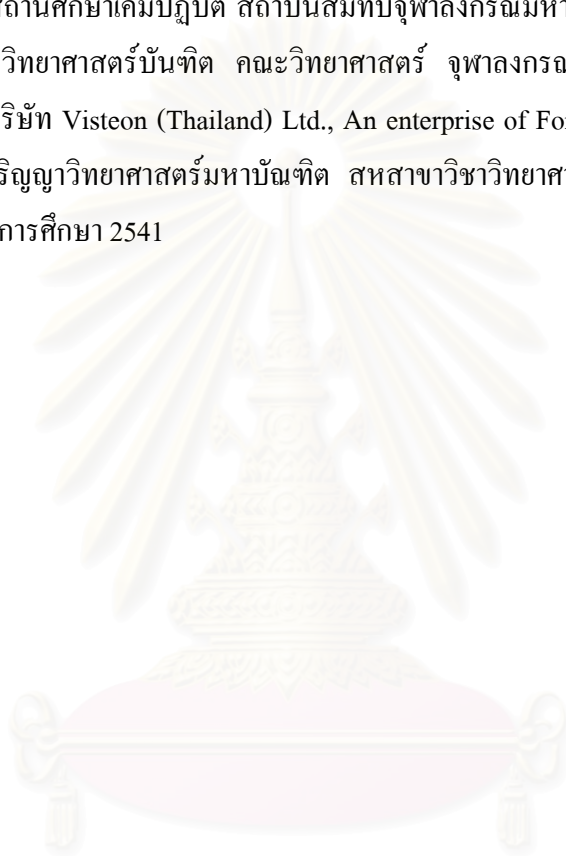
Collinearity Diagnostics^a

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions			
				(Constant)	PH	COAG	POLYAN
1	1	1.969	1.000	.02	.02		
	2	3.117E-02	7.947	.98	.98		
2	1	2.884	1.000	.00	.00	.00	
	2	.115	5.013	.03	.00	.02	
	3	9.685E-04	54.573	.97	1.00	.98	
3	1	3.817	1.000	.00	.00	.00	.00
	2	.180	4.603	.02	.00	.00	.01
	3	2.368E-03	40.151	.31	.18	.10	.57
	4	6.709E-04	75.426	.67	.82	.90	.43

a. Dependent Variable: RMV_4

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสวีณา เกตุสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดระยอง รัับ
อนุปริญญาเคมีปฏิบัติ สถานศึกษาเคมีปฏิบัติ สถาบันสมทบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2537
รับพระราชทานปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา
2539 เคยทำงานในบริษัท Visteon (Thailand) Ltd., An enterprise of Ford Company ในปี 2540-2541
เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย