

การบำบัดค่าซีโอทีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ  
โดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

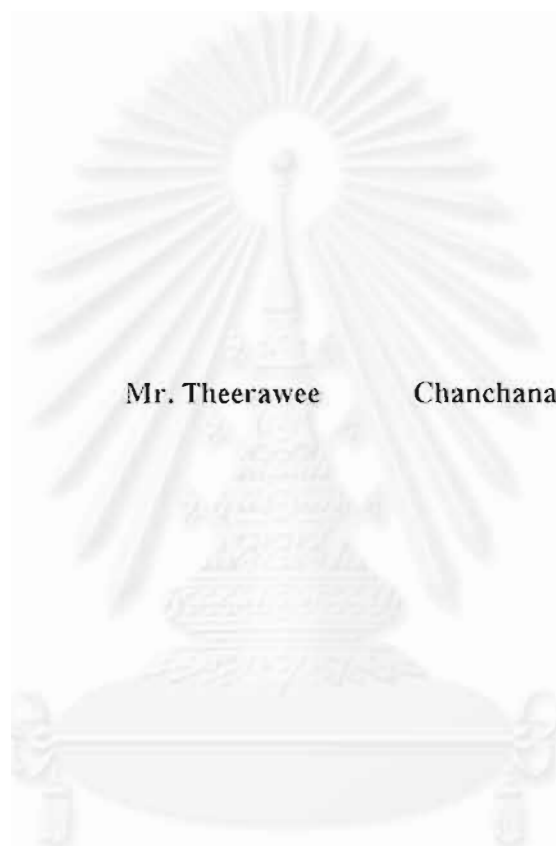
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974 - 334 - 899 - 9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**TREATMENT OF COD IN WASTEWATER FROM TEXTILE INDUSTRY  
BY OXIDATION AND COAGULATION**



สถาบันวิทยบริการ

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

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974 - 334 - 899 - 9

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ  
โดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน  
โดย                                นายธีรวิทย์ จันทร์ชนะ  
สาขาวิชา                        วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา                ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรัชญา)

..... กรรมการ  
(นายพิธี กระสินธุ์ศรี)

ธีรวีร์ จันทร์ชนะ : การบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ  
โดยวิธีออกซิเดชันและการตกตะกอน ( TREATMENT OF COD IN  
WASTEWATER FROM TEXTILE INDUSTRY BY OXIDATION AND  
COAGULATION ) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา , 98  
หน้า. ISBN 974 - 334 - 899 - 9

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสีย  
จากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยวิธีออกซิเดชันและการตกตะกอน การศึกษาแบ่งเป็น 2 ชั้น  
ตอน คือ ชั้นการตกตะกอน และออกซิเดชัน การตกตะกอนทำการศึกษาประสิทธิภาพในการ  
บำบัดค่าซีโอดีของตัวช่วยตกตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ PAC , Alum ,  $FeSO_4$  และ Lime ชั้นออกซิเด  
ชัน ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยการเติมอากาศ และตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด  
ได้แก่  $H_2O_2$  , NaOCl และ  $KMnO_4$  ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระดับพีเอช , ระยะเวลา และ  
ปริมาณของตัวช่วยตกตะกอน และตัวออกซิไดซ์

ในชั้นการตกตะกอน ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ PAC , Alum ,  
 $FeSO_4$  และ Lime มีค่าอยู่ในช่วง 57.13 – 94.62 % , 66.91 – 86.47 % , 6.19 – 44.50 % และ  
14.75 – 35.94 % ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี  
สูงสุด คือ การตกตะกอนด้วย PAC ปริมาณ 1,000 มก. / ล. ที่ระดับพีเอช 6 ซึ่งสามารถบำบัดค่า  
ซีโอดีได้ 94.62 % ในชั้นออกซิเดชัน พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการเติมอากาศที่แตกต่าง ๆ กันนั้น  
ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ  $H_2O_2$  , NaOCl  
และ  $KMnO_4$  มีค่าอยู่ในช่วง 46.4 – 84.07 % , 65.81 – 89.51 % และ 65.42 – 80.19 % ตามลำดับ  
สภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์ คือ การใช้ NaOCl 1,000 มก. / ล. ซึ่งสามารถบำบัดค่าซีโอดี  
ได้ 89.51 % สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือ  
การใช้ PAC ปริมาณ 1,000 มก. / ล. และ NaOCl 1,000 มก. / ล. ที่ระดับพีเอช 6

ภาควิชา..... สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 3970713023 : MAJOR INTER- DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: COD / TEXTILE / OXIDATION / COAGULATION

THEERAWEE CHANCHANA : TREATMENT OF COD IN WASTEWATER  
FROM TEXTILE INDUSTRY BY OXIDATION AND COAGULATION.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D.

98 pp. ISBN 974 - 334 - 899 - 9

The objective of this study was to evaluate the efficiency of treatment of COD in wastewater from the textile industry by oxidation and coagulation. The experiment was carried out in 2 individual steps, the coagulation and the oxidation. The coagulation was carried out by using 4 coagulants : PAC , Alum ,  $\text{FeSO}_4$  and Lime. The oxidation step was carried out by using Aeration and 3 oxidizing agents :  $\text{H}_2\text{O}_2$  , NaOCl and  $\text{KMnO}_4$ . The studied variables were pH , time and amount of coagulants and oxidizing agents.

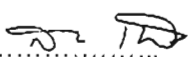
In the coagulation step , the COD removal efficiency of PAC , Alum ,  $\text{FeSO}_4$  and Lime were in the range of 57.13 – 94.62 % , 66.91 – 86.47 % , 6.19 – 44.50 % and 14.75 – 35.94 % respectively. The optimum conditions for coagulation used PAC 1,000 mg/L at pH 6 for which the COD removal efficiency was 94.62 % . In the oxidation step, the range of time for aeration after coagulation was not effected by the COD removal efficiency. The COD removal efficiency of  $\text{H}_2\text{O}_2$  , NaOCl and  $\text{KMnO}_4$  were in the range of 46.4 – 84.07 % , 65.81 – 89.51 % and 65.42 – 80.19 % respectively. The optimum conditions for oxidation used NaOCl 1,000 mg/L for which the COD removal efficiency was 89.51 % . The optimum conditions for treatment of COD in wastewater from the textile industry used PAC 1,000 mg / L and NaOCl 1,000 mg/L at pH 6 .

ภาควิชา.....สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอย่างยิ่ง อันเนื่องมาจากการชี้แนะ ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น แนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนการหาแหล่งเงินทุนวิจัยในครั้งนี้ด้วย จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรีชญา และคุณพิธิ กระสินธุ์ศรี ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายังเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ความคิดเห็นเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่ให้โอกาสและต้อนรับอย่างอบอุ่นในการเข้ามาศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัยในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม (แสมดำ) ของบริษัท GENCO และเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมรุ่น C9 ทุกคน น้อง ๆ ที่ทำวิทยานิพนธ์ที่ห้องปฏิบัติการเคตจิง – เทพ และเพื่อนสนิททุก ๆ คน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา พี่สาว พี่ชาย และคุณย่าผู้ซึ่งล่วงลับไปแล้ว ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีกับผู้เขียนตลอดมา จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง.....	20
4. ผลการทดลอง.....	30
5. สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	65
ประวัติผู้เขียน.....	98

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	แสดงปริมาณของตัวอย่างและรีเอเจนต์สำหรับหลอดทดลอง ขนาดต่าง ๆ ..... 26
4.1	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย PAC ..... 31
4.2	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC..... 32
4.3	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Alum ..... 33
4.4	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Alum ..... 34
4.5	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย $FeSO_4$ ..... 36
4.6	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย $FeSO_4$ .... 36
4.7	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Lime ..... 39
4.8	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Lime..... 40
4.9	แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วง ระยะเวลาต่าง ๆ ..... 42
4.10	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ..... 42
4.11	แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Hydrogen Peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 44
4.12	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Hydrogen Peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 45
4.13	แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 47
4.14	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 47



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.15	แสดงค่าซีไอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ .....	48
4.16	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....	48
4.17	แสดงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี โดยการบำบัดด้วยการตกตะกอนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน กับการบำบัดค่าซีไอดีด้วย ออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน.....	52



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.1	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย PAC ..... 31
4.2	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC ..... 32
4.3	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Alum ..... 34
4.4	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Alum ..... 35
4.5	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย $FeSO_4$ ..... 37
4.6	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย $FeSO_4$ ..... 37
4.7	แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Lime ..... 38
4.8	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Lime ..... 39
4.9	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด
4.10	ของตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 4 ชนิด..... 41
4.10	แสดงค่าซีโอดีที่ได้จากการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ..... 43
4.11	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการเติมอากาศ ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ..... 43
4.12	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยออกซิเดชันด้วย Hydrogen Peroxide ..... 45
4.13	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite ..... 46
4.14	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate..... 49
4.15	เปรียบเทียบค่าซีโอดีที่ได้หลังจากออกซิเดชัน ด้วยตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด ..... 49
4.16	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยออกซิเดชัน ด้วยตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด..... 50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.17	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยวิธีออกซิเดชันหลังการตกตะกอนของตัวออกซิไดซ์ทั้ง 4 ชนิดที่สภาวะที่เหมาะสม.....	50
4.18	แสดงค่าซีไอดีที่เนื่องจากการบำบัดด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน และการบำบัดค่าซีไอดีด้วยวิธีออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน.....	53
4.19	แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการบำบัดด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน และการบำบัดค่าซีไอดีด้วยวิธีออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน.....	54



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอนับว่ามีบทบาทสำคัญในการส่งออก นำรายได้เข้าประเทศสูงเป็นอันดับหนึ่ง (TDRI, 1986) ประกอบด้วยอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ประกอบด้วย อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใย ปั่นด้าย ทอผ้า ฟอกย้อมและพิมพ์ตกแต่งสำเร็จจนถึงอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปโดยการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ มีบทบาทสนับสนุนซึ่งกันและกัน และอาจกล่าวได้ว่าในกลุ่มอุตสาหกรรมต่อเนื่องเหล่านี้ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีมักจะถูกเพ่งเล็งว่าเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยที่โรงงานฟอกย้อมทั้งหมดในประเทศไทยได้เพิ่มจำนวนขึ้น 143 โรง ในปี 2533 มาเป็น 400 โรงในต้นปี 2535 (นรัช ลือกุลวัฒน์ชัย , 2535) โรงงานฟอกย้อมผ้ามีความต้องการใช้น้ำในปริมาณสูง โดยมีอัตราการใช้น้ำตั้งแต่ 200 - 2000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่โรงงานธรรมดาจะใช้น้ำเพียง 5 - 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้น น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมจึงก่อปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณค่อนข้างมาก มีความเข้มข้นของสีสูง ค่า COD สูง และมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ปัญหาที่สำคัญของโรงงานฟอกย้อมในขณะนี้ คือ ไม่สามารถกำจัดค่า COD ที่มีค่าค่อนข้างสูง และสีที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้

ค่า COD ( Chemical Oxygen Demand ) เป็นการวัดความสกปรกของน้ำและน้ำเสียเปรียบเทียบกับรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง (strong chemical oxidant) เช่น โพรแตสเซียมไดโครเมตในสารละลายที่เป็นกรด

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นทุกขณะ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขาดการบำบัดหรือบำบัดไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้นเหตุที่สำคัญของมล

ภาวะทางน้ำ โดยเฉพาะโรงงานฟอกย้อมซึ่งน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานมีค่า BOD และ COD สูงมาก คือ ประมาณ BOD = 600 – 950 mg/l , COD = 1,400 – 1,750 mg/l (Altinbas , 1995 ) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานมาก คือ 60 mg/l (กองจัดการคุณภาพน้ำ , 2538)

การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้ตกตะกอนโดยการเติมสารช่วยตกตะกอน ได้แก่ Alum (  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$  ) และ Ferrous Sulphate (  $Fe_2(SO_4)_3$  ) เป็นต้น หรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ตัวออกซิไดซ์ ได้แก่ Hydrogen peroxide (  $H_2O_2$  ) และ Potassium permanganate (  $KMnO_4$  ) เป็นต้น ซึ่งในการบำบัดนั้นส่วนใหญ่จะต้องมีการปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะเป็นกลาง โดยการเติมอากาศหรือสารละลายเบสลงไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการปรับระดับพีเอชจะทำให้เกิดการตกตะกอน (Nakashima , 1977) จะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนนั้นเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดแบบอื่นๆ วิธีการตกตะกอนเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ และผลที่ได้จากการบำบัดนั้น สามารถลดปริมาณมลภาวะทางน้ำได้ แม้ว่าการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดด้วยวิธีอื่น ๆ แต่ถ้าหากมีการเลือกใช้ตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นการบำบัดโดยวิธีออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอนน่าจะเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอ โดยกระบวนการออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน
2. ศึกษาความสามารถของตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์ที่ระดับพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD

## 1.3 สมมติฐานการศึกษา

1. ปริมาณของตัวออกซิไดซ์และตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ในการศึกษามีผลต่อการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียได้แตกต่างกัน

2. ระดับฟิโอสมีผลต่อประสิทธิภาพของตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ในการศึกษาในการบำบัดค่า COD

#### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ศึกษา คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทิ้งทอ
2. ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ 4 ชนิด คือ Alum (  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$  ) , Ferrous Sulphate (  $Fe_2(SO_4)_3$  ) , polyaluminium chloride (PAC) และ Lime (  $Ca(OH)_2$  )
3. ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ 4 ชนิด ได้แก่ Sodium hypochlorite (NaOCl) , Oxygen (  $O_2$  ) , Hydrogen peroxide (  $H_2O_2$  ) และ Potassium permanganate (  $KMnO_4$  )
4. วิธีการวัดค่า COD ที่ใช้ คือ วิเคราะห์หาค่า COD แบบปิด ( Closed Reflux , Titrimetric Method )

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียของตัวออกซิไดซ์และตัวช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดกัน
2. สามารถเลือกใช้ตัวออกซิไดซ์และตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ
3. สามารถลดมลภาวะทางน้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกข้อมได้
4. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ

## บทที่ 2

### การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เริ่มต้นตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ คือ เส้นใยซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้น ต่อจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการปั่นด้าย การทอหรือการถักผ้า และการฟอกย้อมผ้าพิมพ์ ซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลาง และสุดท้ายเป็นอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูปซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขั้นปลาย ที่อาศัยวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมขั้นกลางอีกทีหนึ่ง จึงกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 5 กระบวนการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตเส้นใย (Fibre Production) เส้นใยหลักที่ใช้มักเป็นเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยฝ้าย นอกจากนี้ยังมีเส้นใยประดิษฐ์หลักๆ คือ เส้นใยวิสโคสเรยอน เส้นใยไนลอน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การปั่นด้าย (Spinning)

ขั้นที่ 3 การทอ - ถักผ้า (Weaving - Knitting)

ขั้นตอนที่ 4 การฟอกย้อม-พิมพ์ (Textile Finishing)

ขั้นตอนที่ 5 การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป (Garment Manufacturing)

#### 2.1 การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การใช้น้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต จะมีความแตกต่างกันไป กล่าวคือ

##### 2.1.1. การผลิตเส้นใย

ในขั้นตอนนี้อุตสาหกรรมการหีบฝ้ายซึ่งไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต และอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ที่มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยวิสโคสเรยอน เส้นใยโพลีเอสเตอร์ และเส้นใยไนลอน ในอุตสาหกรรมประเภทหลังนี้จะต้องมีการใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อสังเคราะห์สารที่นำมาอัดฉีดเป็นเส้นใย ปริมาณน้ำที่ใช้และความ

สกรปรกของน้ำที่แตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่ผลิต เช่น การผลิตเส้นใยวิสโคสเรยอน จะมีปริมาณน้ำใช้มากกว่าการผลิตเส้นใยอีกสองชนิด เนื่องจากการอัดฉีดเส้นใยเป็นกระบวนการเปียก (wet - spinning) และภายหลังจากการที่ได้เส้นใยออกมาแล้ว ยังต้องใช้น้ำในการชำระล้าง และฟอกเส้นใยอีก ในขณะที่การอัดฉีดเส้นใยโพลีเอสเตอร์และเส้นใยไนลอนไม่มีการใช้น้ำเลย (melt - spinning) เส้นใยที่ได้จะมีความสะอาดสูง ไม่จำเป็นต้องทำการชำระล้างอีก การใช้น้ำ 2 กรณีหลังนี้ จึงมีเฉพาะช่วงการทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อสังเคราะห์สารพอลิเมอร์ที่ใช้เท่านั้น

### 2.1.2. การปั่นด้าย

ขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้น้ำในการผลิต

### 2.1.3. การทอ - ถักผ้า

สำหรับในการทอ - ถักผ้า จำเป็นต้องมีการใช้น้ำในขั้นตอนการลงแป้งเส้นด้าย ยืนก่อนการทอ แต่ปริมาณน้ำที่ใช้มีไม่มากนัก

### 2.1.4. การฟอกย้อม - พิมพ์

ขั้นตอนนี้ นับว่าเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำมากที่สุดในบรรดากระบวนการผลิตทั้งหมด เนื่องจากต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการผลิตแทบทุกขั้นตอน และน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยกลับออกมาเป็นน้ำเสีย ดังนั้น น้ำเสียจึงเป็นปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมในกลุ่มนี้

### 2.1.5. การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป

ไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

จากที่กล่าวข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าปัญหาน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นปัญหาเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมฟอกย้อม - พิมพ์สิ่งทอเป็นหลัก

## 2.2 ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

อุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการทางเคมี ที่อาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใส่สารเคมี สีย้อมที่เหมาะสม และอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง อุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรม



กรรมที่มีความต้องการใช้น้ำมาก ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วย  
กระบวนการหลักที่สำคัญ 3 กระบวนการคือ

### 2.2.1. การเตรียม (Preparation)

เป็นการขจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ในเส้นใย เพื่อเป็นการเตรียมวัสดุสิ่งทอให้พร้อม  
สำหรับการย้อม หรือตกแต่งสำเร็จที่จะกระทำลำดับต่อไป กระบวนการที่สำคัญในการเตรียมได้  
แก่ การเผาขน การลอกแป้ง การขจัดสิ่งสกปรก การฟอกขาว และการชุบมัน

ก. การเผาขน ไม่มีการใช้น้ำ เป็นการผ่านผ้าไปที่แก๊สเพื่อทำลายขน และ  
ทำให้ผ้ามีพื้นผิวเรียบ

ข. การลอกแป้ง เป็นขั้นที่ต้องลงแป้งบนเส้นด้ายขึ้น แป้งจะไปเคลือบบน  
เส้นด้ายทำให้ไม่ติดสี เพื่อให้ผ้าสามารถมีการย้อมติดสีดี จึงมีการลอกแป้งออกก่อน วิธีลอกแป้งมี  
2 วิธี ได้แก่

1. การให้เอนไซม์เป็นตัวทำลายย่อยสลายแป้ง แล้วจึงล้างแป้ง  
ออก

2. การใช้สารออกซิไดซ์ซึ่ง เอเจนท์ เช่น โซเดียมเปอร์ซัลเฟต  
เป็นตัวลอกแป้ง เป็นต้น

ค. การขจัดสิ่งสกปรก เป็นพวกเส้นใยสังเคราะห์ไม่ค่อยสกปรกนัก เพียง  
แต่ต้มด้วยน้ำสบู่ แต่ถ้าเป็นเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย จะมีความสกปรกสูง จะใช้โซดาไฟที่มี  
ความเข้มข้น แล้วจึงซักล้างหลายๆ ครั้ง

ง. การฟอกขาว สิ่งสกปรกทั้งหลายและผ้าส่วนมาก จะถูกขจัดออกไป  
โดยการลอกแป้งและการขจัดสิ่งสกปรก จะคงเหลือแต่สีตามธรรมชาติ จึงต้องทำการขจัดเสียก่อน  
เพราะจะมีผลกระทบต่อขั้นตอนการย้อมสีภายหลังได้ ดังนั้น การฟอกขาว จึงถือว่าการทำความสะอาด  
สะอาดขั้นสุดท้ายก่อนนำไปย้อมสี ปกติสารฟอกขาวที่ใช้มีอยู่หลายตัว เช่น โซเดียมไฮโปคลอ  
ไรต์ เป็นต้น

จ. การชุบมัน เป็นการทำให้มีความมันเงา โดยนำผ้าฝ้ายไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง โรงงานที่มีการชุบมันจะมีน้ำทิ้งที่มีความเป็นด่างสูงมาก ปกติการชุบมันจะต้องใช้เครื่องจักรที่มีราคาแพงมาก ดังนั้น จึงมีโรงงานจำนวนไม่มากนักที่มีการชุบมันจริง ๆ

### 2.2.2. การให้สี (Textile coloration)

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่ มักต้องมีการให้สีก่อนการใช้งาน กรรมวิธีการให้สีที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธี คือ

ก. วิธีย้อม ซึ่งจะให้สีพื้น โดยละลายสีลงน้ำย้อม ทำการย้อมให้ได้สีที่ต้องการจนเสร็จ แล้วจึงทิ้งน้ำย้อมไป ต่อจากนั้นทำการซักล้าง

ข. วิธีการพิมพ์ จะให้สีสันที่เป็นลวดลายที่แตกต่างกันออกไป วิธีการพิมพ์มีหลักใหญ่ๆ โดยการเอาสีพิมพ์ผสมกับแป้งพิมพ์ เพื่อให้มีความเข้มข้นและจะไปพิมพ์บนผ้า จากนั้นนำไปผืนกโดยใช้ไอน้ำ แล้วจึงเอาผ้าไปซักล้างขจัดแป้งพิมพ์และสีที่ไม่ติดออกไป

จะเห็นได้ว่าทุกขั้นตอนมีการซักล้างเสมอ ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญของการฟอกย้อม และเป็นปัญหาของการกำจัดน้ำเสียด้วย

### 2.2.3. การตกแต่งสำเร็จ (Textile finishing)

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนคุณสมบัติสิ่งทอ ให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น กรรมวิธีส่วนใหญ่จะเป็นการใส่สารเคมีที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้าไปในเส้นใย ตัวอย่างการตกแต่งสำเร็จที่สำคัญ เช่น โดยวิธีการจุ่มอัดน้ำยาตกแต่งสำเร็จไปบนผ้า ปกติการตกแต่งสำเร็จจะไม่มีการซักล้างอีก ดังนั้น น้ำทิ้งจึงเป็นน้ำยาที่เหลือจากอ่างน้ำยาเท่านั้น

## 2.3 ลักษณะน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

### 2.3.1. แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม มีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ น้ำส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- ก. น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีความเข้มข้นของสีสูง
- ข. น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังจากการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกต่ำกว่าน้ำเสียประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อมจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ถ้าไอน้ำที่ถูกปล่อยให้เย็นตัวลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำจะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่น้ำย้อมโดยตรงมันจะไปเพิ่มปริมาณของน้ำย้อม และถูกรวมเป็นน้ำเสีย

3. น้ำหล่อเย็น ในกระบวนการย้อมบางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของน้ำย้อมลงในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน

### 2.3.2 ประเภทของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย

นันทยา ขานุมศ (2534) ได้จำแนกสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง จากโรงงานฟอกย้อมดังนี้

1. สีย้อม ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วนที่เหลือจะคงอยู่ในน้ำย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทสีที่ใช้

2. สารเคมีที่ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้จะมีอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมและจะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย

3. เศษเส้นใย

## 2.4 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

โดยทั่วไป มลภาวะที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า มีดังนี้

2.4.1. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Toxic to stream life) น้ำเสียจากน้ำย้อมผ้า มักมีสารที่มีพิษ ซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบอนินทรีย์ เป็นต้น

2.4.2. การลดของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Oxygen depletion in stream water) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เนื่องจากนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบ ซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท ได้เป็นสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.4.3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง (Physical impairment of stream condition) น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดความรู้สึกรังเกี้ยวรังเกียดต่อผู้พบเห็น ทำให้สภาพลำนน้ำไม่น่าดู นอกจากนี้สีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้น

## 2.5 ประเภทของสีย้อมในอุตสาหกรรม

อัจฉราพร ไสละสูตร (2527) จำแนกสีย้อมออกเป็นประเภทต่าง ๆ หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.5.1 จำแนกตามแหล่งที่มาของสี เช่น สีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสีที่ได้จากการสังเคราะห์

2.5.2 จำแนกตามองค์ประกอบทางเคมี เช่น สีอะโซอิก สีซัลเฟอร์

2.5.3 จำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม เช่น สีมอร์แคนต์

2.5.4 จำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี เช่น สีย้อมฝ้าย สีย้อมขนสัตว์ สีย้อมใยสังเคราะห์

ในที่นี้จะกล่าวถึงสีย้อมจำแนกตามกรรมวิธีในการย้อม ดังนี้

1. สีไดเร็กต์ ( direct dyes ) เป็นสีที่มีการดูดซึมและย้อมติดเส้นใยหรือผ้าหรือใยเซลลูโลสโดยตรง ละลายน้ำง่าย โมเลกุลของสีจะแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีประจุลบ การย้อมติดสีจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น เกลือต่าง ๆ อยู่ด้วย สีย้อมไดเร็กต์มีทั้งสีอ่อน เข้ม ไม่ค่อยสดใส มีราคาถูก ย้อมง่าย ไม่คงทนต่อการซักน้ำ แต่สามารถปรับปรุงให้เป็นสีเข้มได้โดยวิธีการย้อมทับ

2. สีเบสิค ( basic dyes ) สีชนิดนี้ละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนบวก บางทีจึงเรียกสีชนิดนี้ว่า สีแคทไอออนิก ( cationic dye ) เป็นสีที่สามารถเกาะติดเส้นใยโปรตีน แต่ไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส มีสมบัติเด่นพิเศษ คือ มีความสดใสและความเข้มของสีดีมาก ใช้ย้อมเส้นใยอะครีลิกโดยเฉพาะ

3. สีแวต ( vat dyes ) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนเป็นสีที่ละลายน้ำได้เมื่อทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮโอไนต์ สารประกอบที่เกิดขึ้นสามารถเกาะติดเส้นใยเซลลูโลสได้ดี และเมื่อถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยแล้วสามารถทำให้กลับคืนเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดิมได้ โดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศ หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือใช้โปแตสเซียมไดโครเมต สีชนิดนี้มีความคงทนต่อการซักดีมาก และความคงทนต่อแสงดีถึงดีมาก

4. สีคัสเพิส ( disperse dyes ) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ สีชนิดนี้เป็นของเหลว หรือของแข็งที่เป็นผงหรือเป็นเม็ด เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสีที่ละเอียดกระจายอยู่ในรูปคอลลอยด์ ปัจจุบันสีชนิดนี้ใช้ย้อมผ้าหรือย้อมผ้าพวกโพลีเอสเตอร์ เซลลูโลสอะซีเตต และเซลลูโลสไตรอะซีเตต

5. สีเอซิด ( acid dyes ) สีชนิดนี้เมื่อละลายจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุลบ บางทีเรียกสีประเภทนี้ว่าสีแอนไอออนิก ( anionic dyes ) ส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับสีไดเร็กต์ แต่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า สีพวกนี้ส่วนใหญ่จะไม่เกาะติดเส้นใยเซลลูโลส หรือเกาะติดได้น้อย แต่สามารถเกาะติดเส้นใยไนลอนได้ดี

6. สีรีแอคทีฟ ( reactive dyes ) สีชนิดนี้จะละลายน้ำได้ง่าย โมเลกุลของสีประกอบด้วยส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลสโดยการเกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย ทำให้สีมีความคงทนต่อการซักล้าง ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน และไนลอน

## 2.6 สารช่วยย้อม ( additive )

สารช่วยย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้มีการดูดติดสีได้มากขึ้นและสม่ำเสมอขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความคงทนในการยึดเกาะของสีกับเส้นใยอีกด้วย สารช่วยย้อมมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

- 2.6.1 กรด ใช้สำหรับการย้อมเส้นใยจำพวกโปรตีนและไนลอน เมื่อใช้ย้อมเอซิด
- 2.6.2 ค่าง ใช้สำหรับย้อมใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมเบสิด แวต กำมะถัน อะโซอิก คิสเพิส
- 2.6.3 เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีเบสิด และการย้อมเซลลูโลสทุกชนิด
- 2.6.4 สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวต เอซิด คิสเพิส
- 2.6.5 สารนำสี ( carrier ) จะใช้เมื่อย้อมใยสังเคราะห์บางชนิด
- 2.6.6 สารละลายอินทรีย์ จะใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
- 2.6.7 สารรีดิวซ์ ใช้สำหรับรีดิวซ์ตัวสีบางชนิด เพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

## 2.7 การตกตะกอนทางเคมี

การตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารที่ละลายได้ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี สารพิษที่อยู่ในน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากรน้ำได้ด้วยวิธีการตกตะกอนหรือกรองเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทำให้เกิดการตกตะกอนของแข็งก่อน จากนั้นจึงทำให้ตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก ( floc ) เพื่อให้สามารถแยกออกจากรน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนและวิธีกรอง

ในการตกตะกอนจะต้องพิจารณาค่าพีเอช ( pH ) หลังจากเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้ว โดยทั่วไปต้องมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี ซึ่งพบว่ามวลสารจะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังนั้นในการตกตะกอนนั้น จะต้องคำนึงถึงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนในน้ำเสียด้วย

สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับพีเอช ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ ( CaO ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( NaOH ) แคลเซียมออกไซด์เป็นสารที่มีราคาถูก แต่ละลายน้ำได้น้อย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการตกผลึกในรูปหินปูน ซึ่งทำให้เกิดตะกอนสูง ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีราคาแพงกว่า และเกิดอันตรายได้ง่ายกว่าแคลเซียมออกไซด์ในการใช้งานจะให้ในปริมาณน้อยกว่าจึงเกิดตะกอนน้อยกว่า

อนุภาคนาโนที่เรียกกันว่า อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ โดยทั่วไปจะมีขนาด  $10^{-6} - 10^{-3}$  มิลลิเมตร อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ นั้นมาจากสารอินทรีย์ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจําตัวของมันเป็นประจุประจําตัวของมันเป็นประจุบวกหรือลบแล้วแต่ชนิดของสาร แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. พวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มรอบ ๆ อนุภาคเหล่านั้นแยกออกจากน้ำได้ยาก ต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ นั้น มาเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อน เพราะโมเลกุลของน้ำเสมือนสิ่งกีดขวางไม่ให้อนุภาคต่าง ๆ เข้าใกล้และจับตัวกันได้มาก เช่น สารอินทรีย์บางชนิด

2. พวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นอนุภาคที่สามารถแยกออกจากน้ำโดยง่ายเพราะไม่มีโมเลกุลของน้ำเป็นกีดขวาง เช่น อนุภาคดินเหนียว

อนุภาคคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำ มีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดูด ( vander waals force ) และแรงผลัก ( electrical repulsive force ) แรงดูดเป็นแรงธรรมชาติของอนุภาคระดับโมเลกุลที่ดูดซึ่งกันและกัน ส่วนแรงผลักเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน บทบาทของแรงทั้งสองชนิดมีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ขึ้นอยู่กับระยะห่างของอนุภาคคอลลอยด์ แรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์จะมีผลก็ต่อเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมากซึ่งทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ แต่ถ้าหากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูง หรือมีชั้นกระจาย ( diffuse layer ) หนานั้น จะทำให้เกิดแรงผลักสูงแรงดูดจึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่าง ๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้น จึงกล่าวว่า ประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ( O'Melia , 1972 )

กระบวนการตกตะกอน ( coagulation ) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงในน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์และสารแขวนลอย รวมตัวกันเข้ายึดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการผสมอย่างรวดเร็ว ทำให้สารเคมีที่เติมลงไปจับยึดกับอนุภาคต่าง ๆ ได้มาก และขึ้นต่อไป เป็นกระบวนการฟล็อกกูเลชัน เป็นการผสมระหว่างสารเคมี คือ โคแอกกูแลนต์ หรือพอลิเมอร์ กับอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้เวลาผสมค่อนข้างนานเพื่อเปลี่ยนอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กไปเป็นอนุภาคคอลลอยด์ขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ เกิดได้ทั้งอนุภาคที่เป็นไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิกคอลลอยด์

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า การตกตะกอนทางเคมี เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อให้อนุภาคต่าง ๆ รวมตัวกัน และจับกันเป็นก้อนจะต้องมี 2 ขั้นตอน คือ

1. การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค มั่นสิน ตัณทุลเวศม์ (2526) ได้แบ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

1.1 กลไกการลดความหนาของชั้นกระจาย ( diffuse layer ) โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นกระจายลดลงอนุภาคจะสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้น จนแรงดึงดูดสามารถทำให้อนุภาคเกาะกันได้

1.2 กลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ( adsorption and charge neutralization ) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ดี จะมีผลในทางลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

1.3 กลไกสร้างผลึกสารขึ้นมา เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ ( sweep coagulation ) เป็นการเติมสารเคมีให้เกิดตะกอนที่มีลักษณะเหนียวเหนอะ ซึ่งสามารถห่อหุ้มอนุภาคทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวเหนอะและไม่สามารถแสดงประจุไฟฟ้า เมื่ออนุภาคสัมผัสกันจึงสามารถเกาะกันเป็นตะกอนใหญ่



1.4 กลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีอนุภาคยาวต่อกันเป็นเส้น เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนบวกเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดฟล็อก

2. ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มเป็นก้อนจึงจะถือว่าเกิด ฟล็อกกุเลชัน

Parlante (1976) อธิบายความหมายของ “โคแอกกูเลชัน” ว่าเป็นกระบวนการเกี่ยวข้องกับ การตกตะกอนทางเคมีของสารแขวนลอย สีของน้ำ เพราะกระบวนการเพิ่มขนาดอนุภาคสารแขวนลอยโดยการทำหน้าที่ของสารตกตะกอนส่วนหนึ่ง เพื่อลดสีมักจะใช้กระบวนการแรกหรือประยุกต์ใช้ในการบำบัด โคนส่วนใหญ่พวกคอลลอยด์ที่เกี่ยวข้องกับความขุ่น สี มักจะมีประจุลบ ดังนั้น เพื่อให้เกิดกระบวนการ “โคแอกกูเลชัน” ต้องคำนึงถึงการใส่สารตกตะกอน การใช้พอลิเมอร์ทั้งแบบสังเคราะห์และแบบธรรมชาติที่เหมาะสม ช่วงพีเอชที่เหมาะสม การเพิ่มช่วงเวลาในการตกตะกอน และการเพิ่มปริมาณสารตกตะกอน แต่ถ้าใช้ในปริมาณสารตกตะกอนมากเกินไป อาจทำให้สีเปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพการตกตะกอนลดลง การจะบอกว่าเกิดกระบวนการ โคแอกกูเลชันที่ดีที่สุดจะต้องใช้การทดลองเปรียบเทียบสารตกตะกอนที่หลากหลาย ๆ ระดับความเข้มข้น และหลายระดับพีเอช

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้

1. ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ ดังนั้น ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะได้เลือกใส่สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2. ชนิดของสารที่ใช้ตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะ

ของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

3. พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี

4. ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติของสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า  $K_{sp}$  (หรือค่าคงที่ในการละลาย) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า  $K_{sp}$  มันจะตกตะกอนผลึกทันที ดังนั้น ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ ( มันสิน ตัณฑูเวศม์ , 2526 )

5. เวลาและความแข็งแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เพื่อสารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ทั่วถึงและยังเป็นการช่วยประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้น ถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอน จำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้า ๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อเปิดโอกาสให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสลอยมาสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด ( สุภฤกษ์ สิ้นสุวรรณ, 2528 )

## 2.9 การใช้สารช่วยตกตะกอน

สารช่วยในการตกตะกอน หมายถึง สารที่ช่วยทำให้การตกตะกอนดียิ่งขึ้น ทำให้ตะกอนแข็งแรงยิ่งขึ้น ความสามารถในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการตกตะกอนได้ด้วย สารช่วยตกตะกอนมีหลายชนิด ได้แก่ ดินเหนียว แอคติเวตเตทซิติกา และ พอลิเมอร์ต่าง ๆ เป็นต้น

พอลิเมอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลุ่มอนุพันธ์ต่าง ๆ หลายชนิดเพื่อใช้เป็นตัวสร้างสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคหรือกลุ่มตะกอน เพื่อให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น (0.3 - 1 mm.) โดยใช้ปริมาณพอลิเมอร์เพียงเล็กน้อย (ประมาณ 1 - 5 mg/l) (Eckenfelder, 1989) นอกจากนี้พอลิเมอร์ยังสามารถลดประจุคอลลอยด์ได้อีกด้วย ปกติแล้วพีเอชจะไม่มีผลต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์

## 2.10 พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride หรือ PAC)

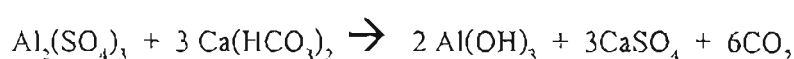
สารที่ใช้ในการตกตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต อลูมิเนียมคลอไรด์ พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ และโซเดียมอลูมิเนต กลุ่มไอร์ออนโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ เหล็ก(II)คลอไรด์ เหล็ก(III)คลอไรด์ เหล็ก(III)ซัลเฟต เป็นต้น

อลูมิเนียมและไอร์ออน จะเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน ซึ่งมีราคาไม่แพง เมื่ออยู่ในน้ำจะมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และจะถูกควบคุมปฏิกิริยาโดยพีเอชในระบบ

ปัญหาหนึ่งที่จะเกิดขึ้นต่อโคแอกกูแลนต์ คือ ผลกระทบจากค่าพีเอชและค่าสภาพต่าง (Kemmer, 1988) หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม กระบวนการตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพต่ำหรือไม่มีประสิทธิภาพเลย ตัวอย่างเช่น การใช้อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นตัวโคแอกกูแลนต์เพียงปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลงมาก ดังสมการต่อไปนี้



ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่ สารประกอบไฮดรอกไซด์ซึ่งจะตกตะกอนลงมา และกรดแอมโมเนียจะทำให้พีเอชลดต่ำลง มีผลต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำ ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพของน้ำไม่ให้มีพีเอชต่ำลงมากนัก ดังสมการ



จากสมการข้างต้น ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งบางครั้ง ก๊าซชนิดนี้จะรวบรวมขึ้นตอนการตกตะกอน โดยที่ก๊าซนี้จะลอยขึ้นสู่น้ำแล้วดันตะกอนให้ ลอยขึ้นมาด้วย หรือทำให้ตะกอนตกลงสู่เบื้องล่างช้าลงและทำให้เกิดความกระด้างถาวรขึ้นมา ด้วย

PAC เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีสูตรโมเลกุล ดังนี้



PAC เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวในการทำปฏิกิริยา ไฮโดรไลซ์ เมื่อมีการสร้างตะกอนเกิดขึ้น คลอไรด์ไอออนที่เกิดขึ้นจะเข้าไปรวมตัวกับตะกอน แล้วตกลงสู่เบื้องล่าง จึงไม่มีปัญหาสภาพเป็นกรดมากนักเหมือนกับโคแอกกูแลนต์อื่น ๆ จึงไม่มี ผลเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่าง เกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า จึงไม่มี ปัญหาเรื่องตะกอนลอย ไม่เกิดความกระด้างถาวรเหมือนสารส้ม (Kemmer, 1988) และจำนวน สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำก็ใช้น้อยกว่าด้วย ดังสมการต่อไปนี้



คุณสมบัติของ PAC เมื่อเป็นโคแอกกูแลนต์

1. มีอำนาจในการสร้างตะกอนและการรวมตัวของตะกอนสูง และการตกตะกอนจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว
2. สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี
3. ในการทำงานของ PAC จะมีช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าโคแอกกูแลนต์ตัวอื่น ๆ ปกติจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6-9 แต่บางกรณีก็จะสามารถตกตะกอนในช่วงพีเอช 5-10
4. PAC สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม โดยที่ใช้ระยะเวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า

## กลไกการตกตะกอนด้วย PAC

PAC เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของแข็ง หรืออยู่ในรูปสารละลาย เป็นสารเคมีชนิดใหม่ที่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยไม่กว้างขวางนัก ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องนี้จึงมีไม่มากนัก

PAC เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวได้  $Al^{+3}$  ที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมได้สารต่าง ๆ เช่น  $Al_3(OH)_4^{+5}$  ,  $Al_7(OH)_{17}^{+4}$  ,  $Al_6(OH)_{15}^{+3}$  เป็นต้น ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียร แล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น แล้วจึงตกตะกอน สำหรับการสร้างตะกอนพีเอชของน้ำจะมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกจะเกิดขึ้นมาก จะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอนนอกจาก  $Al^{+3}$  จะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้ว  $Al^{+3}$  ยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในน้ำกลายเป็น  $Al(OH)_3$  เป็นตะกอนเล็ก ๆ และเนื่องจาก  $Al^{+3}$  มีประสิทธิภาพสูงในการทำละลายประจุของคอลลอยด์ ดังนั้น เมื่อเติม PAC ลงไปในน้ำจะต้องผสมอย่างรวดเร็วทันทีแล้วจึงลดอัตราเร็วในการกวนช้าลง เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วจึงแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกมาโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

## การตรวจสอบเอกสาร

Chakchuk และคณะ (1994) ศึกษากระบวนการ The wet air oxidation (WAO) โดยใช้ Hydrogen peroxide ควบคู่กับ biooxidation ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า Hydrogen peroxide เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดกระบวนการ oxidation ในน้ำเสีย ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 180 -200 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ Hydrogen peroxide ในปริมาณที่ต่ำ คือ 10 % ของค่า COD การบำบัดด้วย WAO (Wet Air Oxidation) สามารถกำจัดสีได้อย่างสมบูรณ์ และลดค่า COD ได้ 77% COD ที่เหลือจะอยู่ในรูป carboxylic acids ที่มีมีมวล โมเลกุลต่ำๆ ซึ่งง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

Altınbas , Doekmeci and Baristiran (1995) ทำการศึกษาการตกตะกอนร่วมทางเคมีและการบำบัดโดยใช้สภาวะมีออกซิเจนน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยใช้ Alum , Ferric chloride , lime และ Calcium Carbonate เป็นตัวตกตะกอนทางเคมีโดยวิธี Jar-Test พบว่า การใช้ Alum ที่

ระดับความเข้มข้น 184 mg/l ร่วมกับ lime ที่ระดับความเข้มข้น 1,000 mg/l ในสถานะที่เป็นกรด (pH=6) สามารถบำบัด COD ได้ดีที่สุด คือ มีประสิทธิภาพในการกำจัด 42% และ 94% ของการกำจัด COD จะตกตะกอนร่วมกับ Alum ในระบบ activated sludge

Lin and Peng (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยกระบวนการที่รวมกันระหว่าง chemical coagulation , electrochemical oxidation และ activated sludge treatment เพื่อลดค่า COD และสี (ความขุ่น) ของน้ำทิ้ง ซึ่งมีการหาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัด เช่น อัตราการไหลของน้ำทิ้ง conductivity พีเอช และปริมาณของ Polyaluminium chloride (PAC) ซึ่งปรากฏว่าสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดแล้วมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

Chen และคณะ (1997) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งของเสียส่วนใหญ่เป็นพวกสารที่ใช้ฟอกย้อม น้ำเสียที่ศึกษาแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1. น้ำเสียที่มีแอมโมเนียซัลเฟตมาก 2. น้ำเสียพวกที่มี COD สูงมาก และ 3. น้ำเสียพวกที่มี COD ต่ำ น้ำเสียที่มี COD สูง (pH = 10.7 - 12.6 และ COD = 6,600 - 17,530 mg/l) การบำบัด COD จะใช้ PAC , Ca (OH)<sub>2</sub> , CaCl<sub>2</sub> , FeCl<sub>3</sub> , Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> และ FeSO<sub>4</sub> ในการตกตะกอน ปรากฏว่าการใช้ PAC และ Ca (OH)<sub>2</sub> สามารถบำบัด COD ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ 50.3 และ 53.6 % ตามลำดับ

Timur และ Altinbas (1997) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทาง Physicochemical และ biological โดยใช้ Ferrous sulphate , ferric chloride และ alum ในการตกตะกอนทางเคมี โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณตัวช่วยตกตะกอนและระดับพีเอชต่างๆกัน พบว่า alum สามารถกำจัด TOC ได้ดีที่สุด ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 8 คือ 11% และโดยกระบวนการนี้ประสิทธิภาพของการกำจัด BOD และ COD จะเพิ่มขึ้น 69% และ 30% ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

#### การดำเนินการวิจัย

##### 3.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

- ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม  
สิ่งทอ
- ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น พีเอช ดี (ความขุ่น) เป็นต้น
- วิเคราะห์หาค่า COD ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้วิธีวิเคราะห์  
มาตรฐาน (Titration)
- เตรียมตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิดที่ต้องใช้
- คำนวณหาปริมาณตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิดที่ต้องใช้
- กำหนดแผนการทดลองในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสีย

#### การกำหนดแผนการทดลอง

##### 1. การตกตะกอนร่วม

1.1 การหาระดับพีเอชที่เหมาะสม โดยกำหนดปริมาณตัวช่วยตกตะกอน  
ให้คงที่ แปรเปลี่ยนระดับพีเอชตามที่กำหนด

1.2 การหาปริมาณตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม โดยกำหนดระดับพีเอช  
ให้คงที่ แปรเปลี่ยนปริมาณตัวช่วยตกตะกอนตามที่กำหนด

## 2. การออกซิไดซ์หลังจากการตกตะกอน

2.1 การหาปริมาณตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม โดยกำหนดระดับพีเอชและปริมาณตัวช่วยตกตะกอนให้คงที่ แปรเปลี่ยนปริมาณตัวออกซิไดซ์ตามที่กำหนด

โดยแผนการทดลองทั้งหมดนี้ จะทำซ้ำ 3 ซ้ำ ในแต่ละหน่วยการทดลอง

## 3.2 การทดลองหาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสีย

### 3.2.1 ขั้นตอนการตกตะกอน

#### 3.2.1.1 การหาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD

1. นำน้ำเสียตัวอย่างมาทำการปรับระดับพีเอชตามหน่วยการทดลองที่ได้กำหนดไว้ คือ ที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 7 8 9 และ 10 ทำการเติมตัวช่วยตกตะกอน คือ Alum ( $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ ) ที่ระดับความเข้มข้น 200 mg/l

2. คนตัวช่วยตกตะกอนให้ละลายในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องกวนเป็นเวลานาน 20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์

3. ทิ้งให้น้ำตัวอย่างเกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ แล้วนำน้ำตัวอย่างไปกรองตะกอนผ่านกระดาษกรอง

4. นำน้ำตัวอย่างที่กรองได้ไปวัดค่า COD

5. คำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัด ค่าซีโอดี ที่ระดับ พีเอชต่าง ๆ

6. ทำการทดลองซ้ำเหมือนเดิมตั้งแต่ข้อ 1 – 5 โดยทำการเปลี่ยนชนิดของตัวช่วยตกตะกอน ซึ่งได้แก่ Ferrous Sulphate ( $FeSO_4$ ), Polyaluminium chloride (PAC) และ Lime ( $Ca(OH)_2$ ) ตามลำดับ



### 3.2.1.2 การหาปริมาณตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD

1. นำน้ำเสียตัวอย่างมาทำการปรับระดับพีเอช โดยใช้ระดับพีเอชที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD สูงที่สุดมาใช้จากการทดลองที่ 3.2.1.1
2. ทำการเติมตัวช่วยตกตะกอน คือ Alum ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งได้แก่ที่ระดับความเข้มข้น 100 , 200 , 250 , 500 , 1,000 , 2,000 , 2,500 และ 5,000 mg/l
3. กวนตัวช่วยตกตะกอนให้ละลายในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องกวนเป็นเวลานาน 20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์
4. ทิ้งให้น้ำตัวอย่างเกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ แล้วนำน้ำตัวอย่างไปกรองตะกอนผ่านกระดาษกรอง
5. นำน้ำตัวอย่างที่กรองได้ไปวัดค่า ซีโอดี
6. คำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี ที่ระดับความเข้มข้นของตัวช่วยตกตะกอนต่าง ๆ กัน
7. ทำการทดลองซ้ำเหมือนเดิมตั้งแต่ข้อ 1 – 7 แต่ทำการเปลี่ยนชนิดของตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ ซึ่งได้แก่ Ferrous Sulphate (  $\text{FeSO}_4$  ) , polyaluminium chloride (PAC) และ Lime (  $\text{Ca(OH)}_2$  ) ตามลำดับ

### 3.2.2 ออกซิเดชันหลังการตกตะกอน

3.2.2.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการออกซิไดซ์หลังการตกตะกอนในการบำบัดค่า COD แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.2.2.1.1 การออกซิไดซ์ด้วยการเติมอากาศ (Aeration)

1. นำน้ำเสียตัวอย่างมาทำการปรับระดับพีเอช และเติมตัวช่วยตกตะกอน โดยเลือกใช้สภาวะที่มีปริมาณตัวช่วยตกตะกอนและระดับพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดค่า ซีโอดี ที่ได้จากแผนการทดลองในขั้นการตกตะกอน

2. นำน้ำเสียตัวอย่างที่ได้จากการตกตะกอนในข้อ 1. มาทำการออกซิไดซ์ โดยการเติมอากาศ โดยแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาในการให้อากาศ คือ 30 นาที , 1 ชั่วโมง , 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ
3. นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการออกซิไดซ์โดยการเติมอากาศจนสมบูรณ์กรองผ่านกระดาษกรอง แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี
4. กำหนดหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี โดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน

### 3.2.2.1.2 การออกซิไดซ์โดยการเติมตัวออกซิไดซ์

1. นำน้ำเสียตัวอย่างมาทำการปรับระดับพีเอช และเติมช่วยตกตะกอน โดยเลือกใช้สภาวะที่มีปริมาณตัวช่วยตกตะกอนและระดับพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดค่า ซีโอดี ที่ได้จากแผนการทดลองในขั้นการตกตะกอน
2. ทำการเติมตัวออกซิไดซ์ คือ Sodium hypochlorite ( $\text{NaOCl}$ ) ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้
3. กวนตัวช่วยตกตะกอนให้ละลายในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องกวนเป็นเวลานาน 20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์
4. นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันจนสมบูรณ์ที่ได้กรองผ่านกระดาษกรอง แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี
5. กำหนดหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี ของตัวออกซิไดซ์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 – 5 แต่ทำการเปลี่ยนชนิดของตัวออกซิไดซ์ ซึ่งได้แก่ Hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) และ Potassium permanganate ( $\text{KMnO}_4$ )

3.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการบำบัดค่า COD ในน้ำเสีย ระหว่างวิธีการบำบัดค่า COD ที่เริ่มต้นด้วยกระบวนการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยการออกซิไดซ์ในขั้นต่อมา กับ วิธีการบำบัดค่า COD ที่เริ่มต้นโดยการออกซิไดซ์ก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน

การศึกษาในขั้นการทดลองนี้สามารถทำได้โดย การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD สูงสุดที่ได้จากการทดลองในขั้นต้น มาทำการศึกษาคงเทียบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีระหว่างวิธีการที่บำบัดค่า COD โดยการเริ่มต้นด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยการออกซิไดซ์ กับ การบำบัดค่า COD ด้วยการออกซิไดซ์ก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน ซึ่งวิธีการศึกษาทดลองในขั้นตอนนี้จะแบ่งเป็น

3.3.1 การตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม แล้วตามด้วยการออกซิเดชันด้วยตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม

3.3.2 การออกซิไดซ์ด้วยตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม แล้วทำการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

3.3.3 การเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างก่อน แล้วจึงนำไปทำการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม แล้วตามด้วยการออกซิไดซ์ด้วยตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม

3.3.4 การเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างก่อน แล้วจึงนำไปทำการออกซิไดซ์ด้วยตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม แล้วทำการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียทางสถิติ โดยใช้

3.4.1 ANOVA ในการวิเคราะห์หาความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ระดับพีเอช ชนิดของตัวช่วยตกตะกอน และตัวออกซิไดซ์ ที่ต่างกัน

3.4.2 Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสีย

3.5 เปรียบเทียบต้นทุนในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสีย โดยการใช้ตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด

## การวิเคราะห์ค่าซีโอดี

### หลักการทั่วไป

การวิเคราะห์ค่าซีโอดี เป็นการวัดความสกปรกของน้ำและน้ำเสียเปรียบเทียบกับในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง (strong chemical oxidant) เช่น โปแตสเซียมไดโครเมตในสารละลายที่เป็นกรด

### รีเอเจนต์

#### 1. Standard potassium dichromate digestion solution ความเข้มข้น 0.0167 M

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ซึ่งอบแห้งที่  $103^\circ C$  เป็นเวลา 2 ชม. หนัก 4.913 กรัม ลงในน้ำกลั่น ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และ เมอร์คิวริกซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) 33.3 กรัม จนกระทั่งละลายหมด ทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง เจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1,000 ลบ.ซม.

#### 2. กรดซัลฟูริกรีเอเจนต์ (Sulfuric acid reagent)

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น ในอัตราส่วนซิลเวอร์ซัลเฟต 5.5 กรัม ต่อน้ำหนักกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 กิโลกรัม ซึ่งกรดซัลฟูริกเข้มข้นหนึ่งขวดขนาดปริมาตร 2.5 ลิตร จะมีน้ำหนัก 4.6 กิโลกรัม ซึ่งจะต้องใช้ซิลเวอร์ซัลเฟต 25.3 กรัม ในการละลายซิลเวอร์ซัลเฟตต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน

#### 3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตไตเตรนต์ ( Standard ferrous ammonium sulfate titrant ) ความเข้มข้น 0.10 M

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) ชนิด เอ อาร์ (analytical grade crystals) 39 กรัม ในน้ำกลั่น ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ลบ.ซม. ทิ้งให้เย็นแล้ว ทำให้เจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1000 ลบ.ซม.

สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมได้ จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ด้วย Standard potassium dichromate digestion solution

การหาความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

ทำการเติมรีเอเจนต์ตามตารางข้างล่าง ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้หลอดขนาด 25 x 150 mm โดยใช้น้ำกลั่น เติมหแทนปริมาตรของตัวอย่าง แล้วทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง หยดสารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ลงไป 1 – 2 หยด ( 0.05 – 0.10 มิลลิลิตร ) แล้วไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต} = \frac{\text{ปริมาตรของ } K_2Cr_2O_7 \text{ solution} \times 0.0167}{\text{ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท}} \times 0.10$$

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาตรของตัวอย่าง และรีเอเจนต์สำหรับหลอดทดลองขนาดต่าง ๆ

Digestion Vessel	Sample (ml)	Digestion Solution (ml)	Sulfuric Acid Reagent (ml)	Total Final Volume (ml)
Culture tubes :				
16 x 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 mm	10.0	6.0	14.0	30.0
Standard 10-ml ampules	2.5	1.5	3.5	7.5

#### 4. สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution)

ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1,10-phenanthroline monohydrate  $C_{12}H_8N_2H_2O$ ) 1.485 กรัม และซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางจนมีปริมาตรเป็น 100 ลบ.ซม.

#### 5. เมอร์คิวริกซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) ชนิด เอ อาร์ (analytical grade crystals)

#### 6. กรดซัลฟามิก ชนิด เอ อาร์ (Sulfamic acid , analytical grade)

หมายเหตุ สารในข้อ 6. ใช้ในการกำจัดไนไตรต์ (nitrite) เนื่องจากไนไตรต์ในโตรเจน (nitrite-nitrogen) จะมีค่าซีโอดี 1.14 mg ต่อ 1 mg ของไนไตรต์ในโตรเจน ดังนั้นจึงควรเติมกรดซัลฟามิก จำนวน 10 mg ต่อ 1 mg ของไนไตรต์-ในโตรเจนที่มีอยู่ในขวดรีฟลักซ์ ซึ่งอาจเติมกรดซัลฟามิก จำนวน 0.12 g ลงในสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตจำนวน 1000 ลบ.ซม. จะสามารถกำจัดไนไตรต์ที่มีอยู่ในตัวอย่างจำนวน 20 ลบ.ซม. ได้ถึง 20 มก./ลบ.ดม. ในกรณีที่มีความเข้มข้นของไนไตรต์-ในโตรเจนมากกว่า 6 มก./ลบ.ดม. จะต้องทำให้ตัวอย่างเจือจางลงก่อน

การที่เราเติมกรดซัลฟามิกลงในสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตนี้เป็นการสะดวกและไม่ทำให้ค่าซีโอดีผิดไป เนื่องจากต้องทำ “แบลนค์” (blank) จากน้ำกลั่นอยู่แล้ว

เพื่อที่จะตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์และคุณภาพของรีเอเจนต์ที่ใช้ โดยตรวจสอบกับสารละลายกลูโคสหรือโปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ( Potassium hydrogen phthalate) ซึ่งในทางทฤษฎีเมื่อละลายกลูโคสจำนวน 468.6 มก. ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1000 ลบ.ซม. จะได้ค่าซีโอดี 500 มก./ลบ.ดม. (กลูโคส 1 กรัม มีค่าซีโอดี 1.067 กรัม) ส่วนโปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท 425.1 มก. ละลายในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1000 ลบ.ซม. จะให้ค่าซีโอดี 500 มก./ลบ.ดม. (โปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท 1 กรัมมีค่าซีโอดี 1.176 กรัม)

### วิธีวิเคราะห์ค่า COD แบบปิด ( Closed Reflux , Titrimetric Method )

1. ก่อนนำหลอดทดลองชนิดที่มีฝาปิดแบบเกลียว ( screw cap tube ) มาใช้ต้องทำการล้างหลอดทดลองด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 % เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2. ทำการเติมน้ำตัวอย่างและรีเอเจนต์ ซึ่งได้แก่ Standard potassium digestion solution และ Sulfuric acid reagent ตามลำดับ ลงในหลอดทดลอง โดยใช้ปริมาตรของน้ำตัวอย่างและรีเอเจนต์ตามตารางที่ 3.1 ซึ่งในการทำลองครั้งนี้ใช้หลอดทดลองขนาด 25 x 150 mm จึงต้องใช้น้ำตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร Standard potassium digestion solution ปริมาตร 6 มิลลิลิตร และ Sulfuric acid reagent ปริมาตร 14 มิลลิลิตร ข้อควรระวัง ขณะที่ทำการเทสารละลาย Sulfuric acid reagent ลงหลอดทดลอง ให้เอียงหลอดทดลอง แล้วจึงค่อย ๆ เทสารละลายลงในหลอดทดลองอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการเดือดของสารละลาย และควรระวังอย่าให้สารละลายถูกผิวหนัง หรือเข้าตา ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายได้

3. สารละลายที่ได้ในหลอดทดลองจะเห็นเป็นชั้นกรดได้ชัดเจน ทำการปิดฝาหลอดให้แน่น เขย่าหลอดเพื่อให้สารละลายในหลอดเข้ากันเป็นเนื้อเดียว

4. นำหลอดทดลองไปทำการรีฟลักซ์ ในตู้อบ ที่ระดับอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง นำหลอดออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. นำสารละลายที่ได้ มาเติม เฟอร์โรน อินดิเคเตอร์ 1 – 2 หยด ( 0.05 - 0.10 มิลลิลิตร ) แล้วนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 M ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียว เป็นสีน้ำตาลแดง

### การคำนวณหาค่า COD

$$\text{COD as mg O}_2/\text{L} = \frac{(A - B) M \times 8000}{\text{ลบ.ชม. ของตัวอย่าง}}$$

$$A = \text{ลบ.ชม. ของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งใช้ในการไตเตรตสำหรับแบบลงค์}$$

- B = ลบ.ชม.ของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียม  
ซัลเฟตซึ่งใช้ในการไตเตรตสำหรับน้ำตัวอย่าง
- M = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียม  
ซัลเฟต (mol/L)





## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำเสีย จะพบว่าน้ำเสียจะมีลักษณะทางกายภาพ และเคมีแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสี สารเคมี สารช่วยย้อม เป็นต้น ซึ่งอัตราที่ส่วนที่ใช้ในแต่ละโรงงานย้อมแตกต่างกันไป จึงทำให้คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมแต่ละแห่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างที่นำมาทำการศึกษา เป็นน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัด น้ำเสียที่ได้เป็นน้ำเสียที่ลักษณะสีเป็นน้ำเสียที่มีโทนสีดำคล้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า และมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง คือมีค่าอยู่ในช่วง 60 – 70 องศาเซลเซียส การที่น้ำเสียมีอุณหภูมิสูงเนื่องมาจากการใช้ความร้อนในกระบวนการย้อมสี ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้น้ำมากที่สุด น้ำเสียส่วนใหญ่มักจะมาจากกระบวนการนี้ ระดับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่างที่ทำการศึกษาได้อยู่ในช่วง 6.8 - 8.5 และจากการนำน้ำเสียตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ค่าซีไอดี ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าซีไอดีแบบปิด ( Closed Reflux , Titrimetric Method ) พบว่าน้ำเสียตัวอย่างมีค่าซีไอดีโดยเฉลี่ย 3,304.7 mg/l

#### 4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่าง ๆ

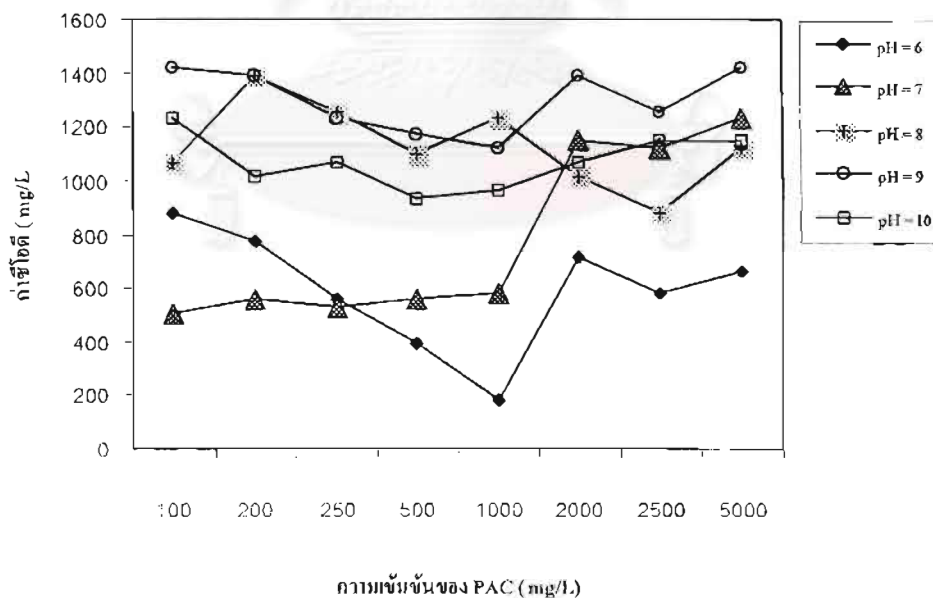
##### 4.2.1 การตกตะกอนด้วย PAC

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการตกตะกอนด้วย PAC เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PAC ที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 100 - 5,000 mg/l และทำการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 6 - 10 จากการศึกษาพบว่า PAC สามารถตกตะกอนน้ำเสียตัวอย่างได้ค่อนข้างรวดเร็ว ลักษณะ

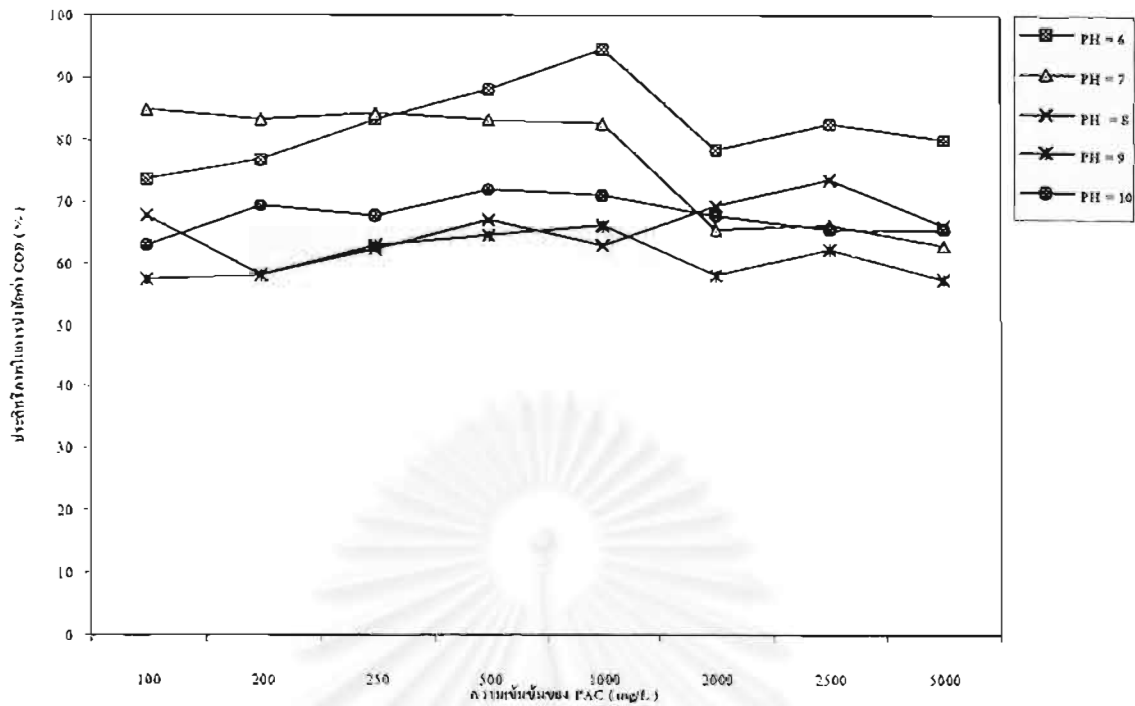
สีของตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นโทนสีเทาดำ ตะกอนที่ได้เป็นตะกอนที่ค่อนข้างเบา ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ PAC มีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อระดับพีเอชมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระดับพีเอช เท่ากับ 6 นั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่าสูงที่สุด คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 73.43 - 94.62 % และเมื่อเพิ่มปริมาณ PAC ที่ใช้ในการตกตะกอนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ PAC มีแนวโน้มที่จะลดลง โดยที่

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย PAC

ความเข้มข้นของ PAC (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	878	770.3	554.8	393.2	177.8	716.4	581.8	662.6
PH = 7	500.9	554.8	527.9	554.8	581.8	1147.4	1120.4	1228.16
PH = 8	1066.6	1389.8	1255.1	1093.5	1228.2	1012.7	878	1120.4
PH = 9	1416.7	1389.8	1228.2	1174.3	1120.4	1389.8	1255.1	1416.7
PH = 10	1228.2	1012.7	1066.6	931.9	958.8	1066.6	1147.4	1147.4



รูปที่ 4.1 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย PAC



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC

ความเข้มข้นของ PAC (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	73.43	76.69	83.21	88.10	94.62	78.32	82.40	79.95
PH = 7	84.84	83.21	84.03	83.21	82.40	65.28	66.10	62.84
PH = 8	67.73	57.95	62.02	66.91	62.84	69.36	73.43	66.10
PH = 9	57.13	57.95	62.84	64.47	66.10	57.95	62.02	57.13
PH = 10	62.84	69.36	67.73	71.80	70.99	67.73	65.28	65.28

ปริมาณ PAC ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 1,000 mg/l จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด เพราะฉะนั้นจากการศึกษาการตกตะกอนด้วย PAC จะพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองตกตะกอนด้วย PAC ครั้งนี้ คือ การใช้ PAC ในปริมาณ 1,000 mg/l

ที่ระดับพีเอช 6 เป็นสภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ดีที่สุด คือสามารถบำบัดค่าซีโอดีถึง 94.62 %

#### 4.2.2 การตกตะกอนด้วย Alum

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการตกตะกอนด้วย Alum เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Alum ที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 100 - 5,000 mg/l และทำการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 6 - 10 จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนด้วย Alum มีลักษณะเช่นเดียวกับตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนจาก PAC แต่แตกต่างกันที่ตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนด้วย Alum จะใช้เวลาในการตกตะกอนมากกว่าตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนด้วย PAC ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Alum นั้นมีลักษณะแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อระดับพีเอชมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระดับพีเอช เท่ากับ 10 นั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่าสูงที่สุด คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 76.69 - 86.47 % และนอกจากนี้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ยังมีลักษณะแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ Alum ที่ใช้ในการตกตะกอนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ Alum

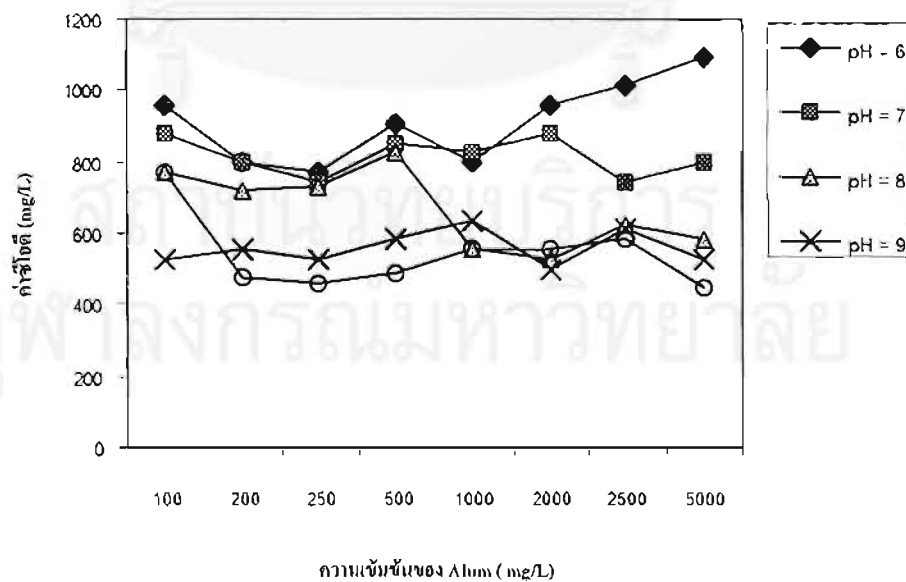
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Alum

ความเข้มข้นของ Alum (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	958.8	797.2	770.3	905	797.2	958.8	1012.7	1093.5
PH = 7	878	797.2	743.4	851.1	824.2	878	743.4	797.2
PH = 8	770.3	716.4	729.9	824.2	554.8	527.9	622.2	581.8
PH = 9	527.9	554.8	527.9	581.76	635.6	500.1	608.7	527.9
PH = 10	770.3	474	460.6	487.5	554.8	554.8	581.8	447.1

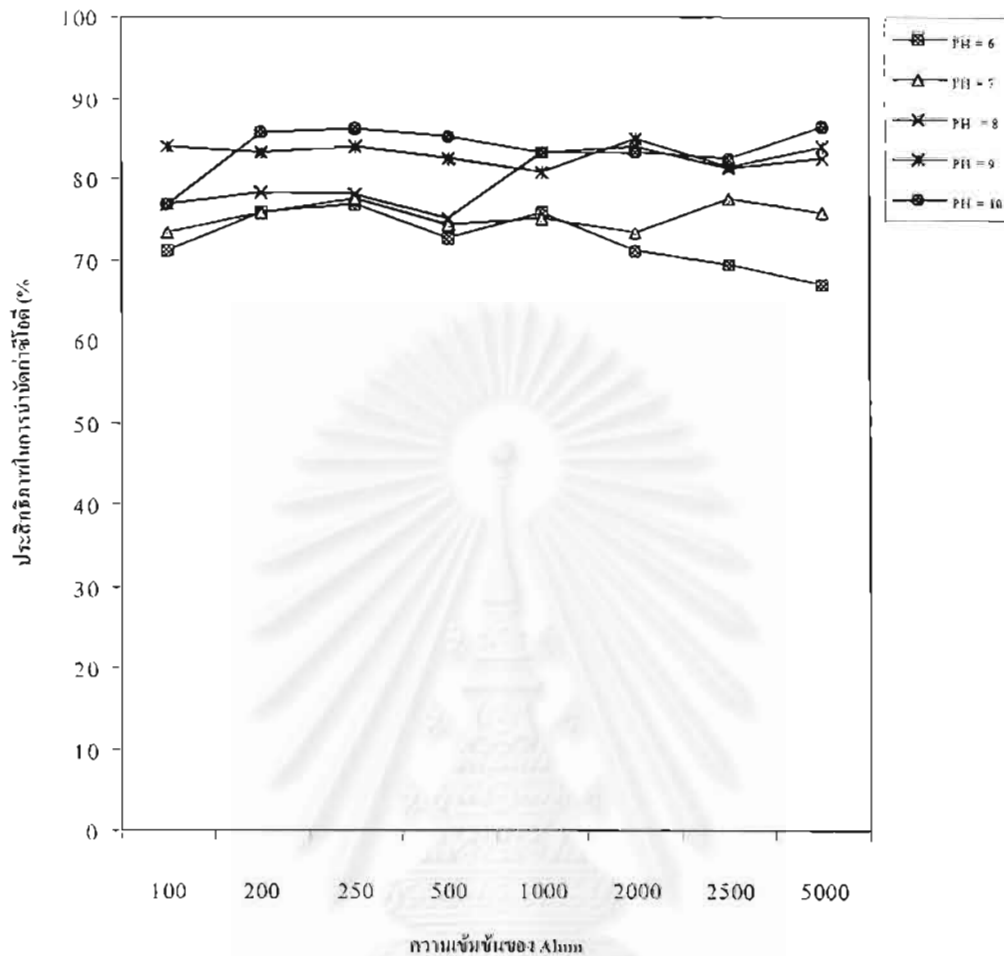
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Alum

ความเข้มข้นของ Alum (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	70.99	75.88	76.69	72.62	75.88	70.99	69.36	69.91
PH = 7	73.43	75.88	77.51	74.25	75.06	73.43	77.51	75.88
PH = 8	76.69	78.32	77.91	75.06	83.21	84.03	81.17	82.40
PH = 9	84.03	83.21	84.03	82.40	80.77	84.84	81.58	84.03
PH = 10	76.69	85.66	86.06	85.25	83.21	83.21	82.40	86.47

โดยที่ปริมาณ Alum ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 5,000 mg/l จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงที่สุด เพราะฉะนั้นจากการศึกษาการตกตะกอนด้วย Alum จะพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองตกตะกอนด้วย Alum ครั้งนี้ คือ การใช้ Alum ในปริมาณ 5,000 mg/l ที่ระดับพีเอช 10 เป็นสภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ดีที่สุด คือสามารถบำบัดค่าซีโอดีถึง 86.47 %



รูปที่ 4.3 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Alum



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Alum

#### 4.2.3 การตกตะกอนด้วย Ferrous Sulfate

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการตกตะกอนด้วย Ferrous Sulfate เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Ferrous Sulfate ที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 100 - 5,000 mg/l และทำการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 6 - 10 จากการศึกษาพบว่า เมื่อเติมสารละลาย Ferrous Sulfate ลงในตัวอย่างน้ำเสียแล้ว เกิดตะกอนสีดำขึ้นทันทีในตัวอย่างน้ำเสีย แต่เมื่อกวนต่อไปสักพักตะกอนที่ได้จะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงหรือสีสนิม ซึ่งเป็นสีของ  $Fe^{3+}$  ตะกอนที่ได้เป็นตะกอนที่ค่อนข้างหนัก จึงทำให้เกิดการตกตะกอนค่อนข้างเร็ว สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดค่า

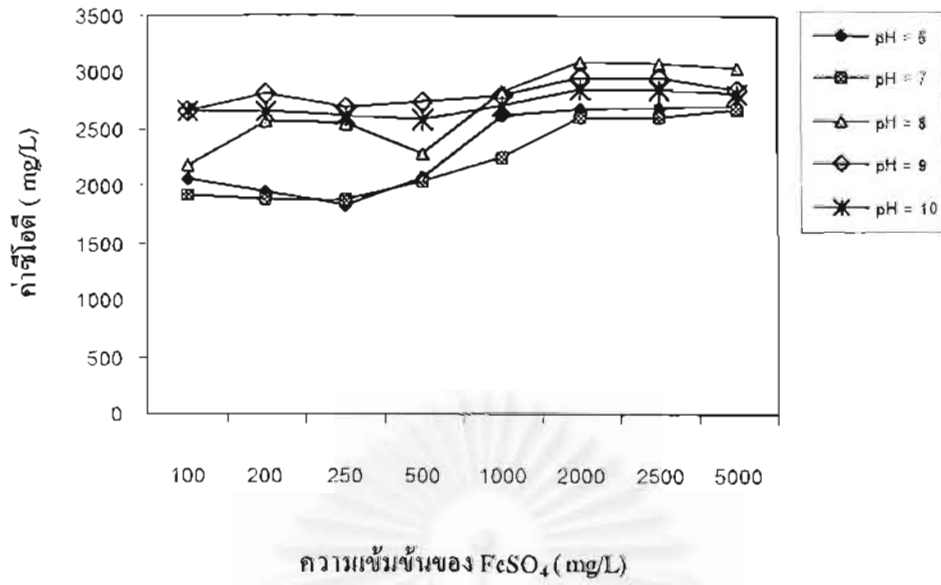
ซีโอดีของ Ferrous Sulfate นั้น เมื่อระดับพีเอชมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 นั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่าสูงที่สุด คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 18.01 - 44.50 % และเมื่อเพิ่มปริมาณ Ferrous Sulfate ที่ใช้ในการตกตะกอนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ Ferrous Sulfate มีแนวโน้มที่จะลดลง โดยที่ปริมาณ Ferrous Sulfate ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 100 - 250 mg/l จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงที่สุด เพราะฉะนั้นจากการศึกษาการตกตะกอนด้วย Ferrous Sulfate จะพบว่า สภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองตกตะกอนด้วย Ferrous Sulfate ครั้งนี้ คือ การใช้ Ferrous Sulfate ในปริมาณ 250 mg/l ที่ระดับพีเอช 6 เป็นสภาพที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ดีที่สุด คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีถึง 44.50 %

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$

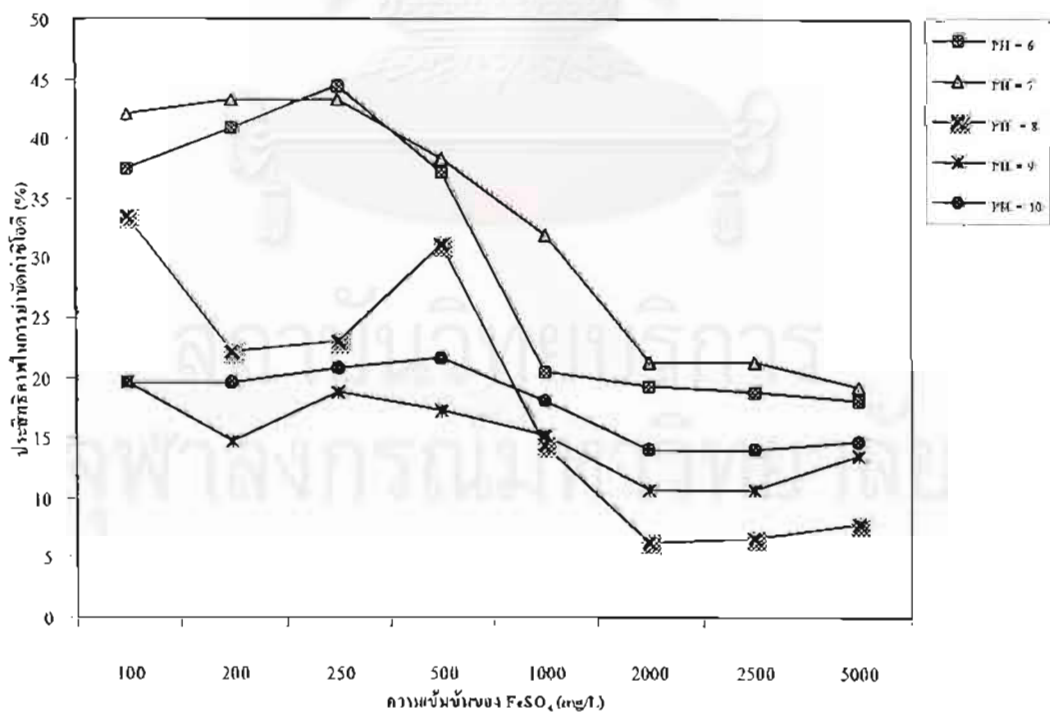
ความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	2063.1	1955.4	1834.2	2076.6	2628.7	2669.1	2682.6	2709.5
PH = 7	1915	1874.6	1874.6	2036.2	2251.6	2601.8	2601.8	2669.1
PH = 8	2179.8	2574.8	2547.9	2278.6	2830.7	3100	3086.6	3046.2
PH = 9	2655.6	2817.2	2682.6	2736.4	2803.8	2951.9	2951.9	2857.6
PH = 10	2655.6	2655.6	2615.2	2588.3	2709.5	2844.2	2844.2	2817.2

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$

ความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	37.57	40.83	44.50	37.16	20.46	19.23	18.83	18.01
PH = 7	42.05	43.28	43.28	38.39	31.87	21.27	21.27	19.23
PH = 8	33.50	22.03	22.90	31.05	14.34	6.19	6.60	7.82
PH = 9	19.64	14.75	18.83	17.20	15.16	10.68	10.68	13.53
PH = 10	19.64	19.64	20.86	21.86	18.01	13.94	13.94	14.75



รูปที่ 4.5 แสดงค่าซีโอไซด์เมื่อทำการตกตะกอนด้วย FeSO<sub>4</sub>

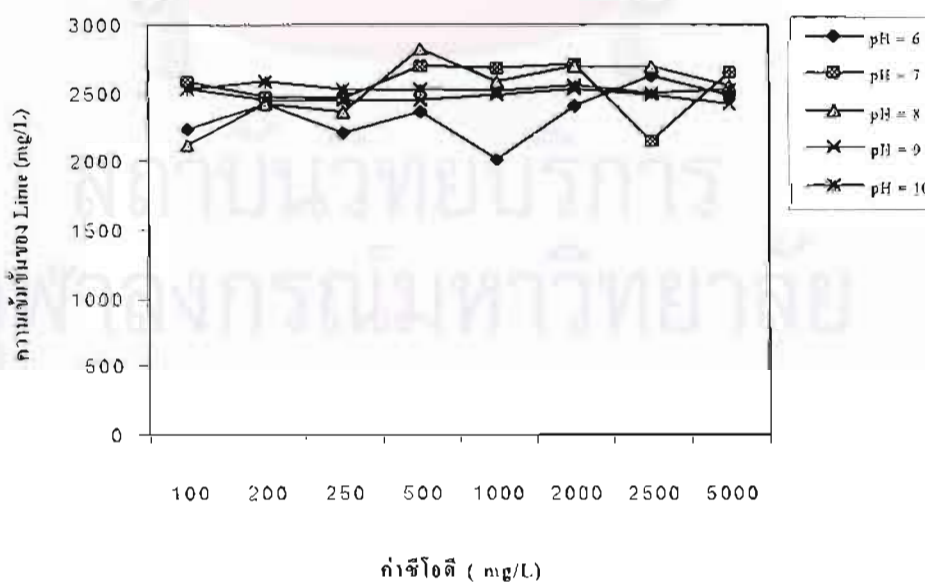


รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอไซด์โดยการตกตะกอนด้วย FeSO<sub>4</sub>

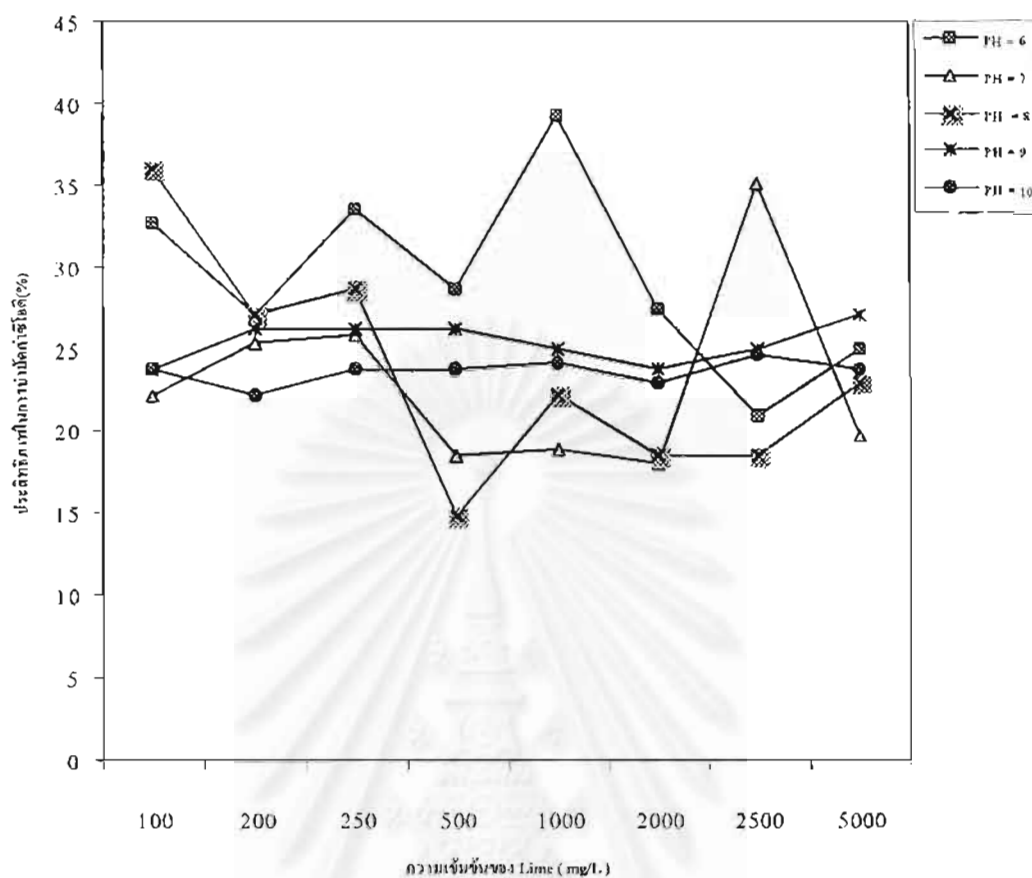


#### 4.2.4 การตกตะกอนด้วย Lime

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการตกตะกอนด้วย Lime เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Lime ที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 100 – 5,000 mg/l และทำการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนตั้งแต่ 6 – 10 จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะเหมือนกับตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนด้วย PAC และ Alum แต่ลักษณะค่อนข้างเบากว่า จึงทำให้ระยะเวลาในการตกตะกอนค่อนข้างนาน ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ Lime มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อระดับพีเอชมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ระดับพีเอช 8 นั้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่าสูงสุด สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 14.75 – 35.94 % และเมื่อเพิ่มปริมาณ Lime ที่ใช้ในการตกตะกอนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของ Lime มีแนวโน้มลดลง ที่ระดับพีเอช 9 และ 10 จากการศึกษาจะเห็นว่าปริมาณของ Lime ที่ใช้ในการตกตะกอนนั้น แทบจะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างในการบำบัดค่าซีโอดี โดยที่ปริมาณ Lime ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 100 - 250 mg/l จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด เพราะฉะนั้นจากการศึกษาการตกตะกอนด้วย Lime จะพบว่า สถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองตกตะกอนด้วย Lime ครั้งนี้ คือ การใช้ Lime ในปริมาณ 100 mg/l ที่ระดับพีเอช 8 เป็นสถานะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ดีที่สุด คือสามารถบำบัดค่าซีโอดีถึง 35.94 %



รูปที่ 4.7 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Lime



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Lime

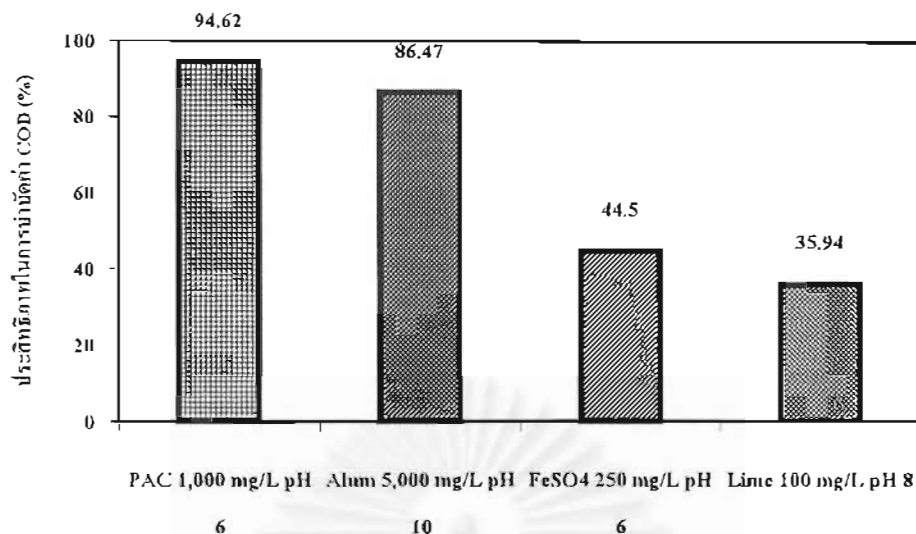
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าซีโอดีเมื่อทำการตกตะกอนด้วย Lime

ความเข้มข้นของ Lime (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	2224.7	2413.2	2197.8	2359.4	2009.2	2399.8	2615.2	2480.6
PH = 7	2574.8	2467.1	2453.6	2696	2682.6	2709.5	2143.9	2655.6
PH = 8	2117	2413.2	2359.4	2817.2	2574.8	2696	2696	2547.9
PH = 9	2521	2440.2	2440.2	2440.2	2480.6	2521	2480.6	2413.2
PH = 10	2521	2574.8	2521	2521	2507.5	2548	2494	2521

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย Lime

ความเข้มข้นของLime ( mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	32.68	26.98	33.50	28.61	39.20	27.38	20.86	24.94
PH = 7	22.09	25.35	25.75	18.42	18.83	18.01	35.13	19.64
PH = 8	35.94	26.98	28.61	14.75	22.09	18.42	18.42	22.90
PH = 9	23.72	26.16	26.16	26.16	24.94	23.72	24.94	26.98
PH = 10	23.72	22.09	23.72	23.72	24.12	22.90	24.53	23.72

จากการทดลองในขั้นตกตะกอนโดยใช้ตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 4 ชนิดได้แก่ PAC , Alum , Ferrous Sulfate และ Lime พบว่า PAC มีประสิทธิภาพในการตะกอนและบำบัดค่าซีโอดีได้สูงที่สุด รองลงมาคือ Alum , Ferrous Sulfate และ Alum เรียงตามลำดับ และยังใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนที่ค่อนข้างเร็ว ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองขั้นการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนต่าง ๆ นั้น คือ การใช้ PAC ปริมาณ 1,000 mg/l ที่ระดับพีเอช 6 ตกตะกอน ซึ่งจะนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



รูป 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี ที่สภาวะเหมาะสมที่สุดของตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 4 ชนิด

#### 4.3 ออกซิเดชันหลังการตกตะกอน

##### 4.3.1 ออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ (Aeration)

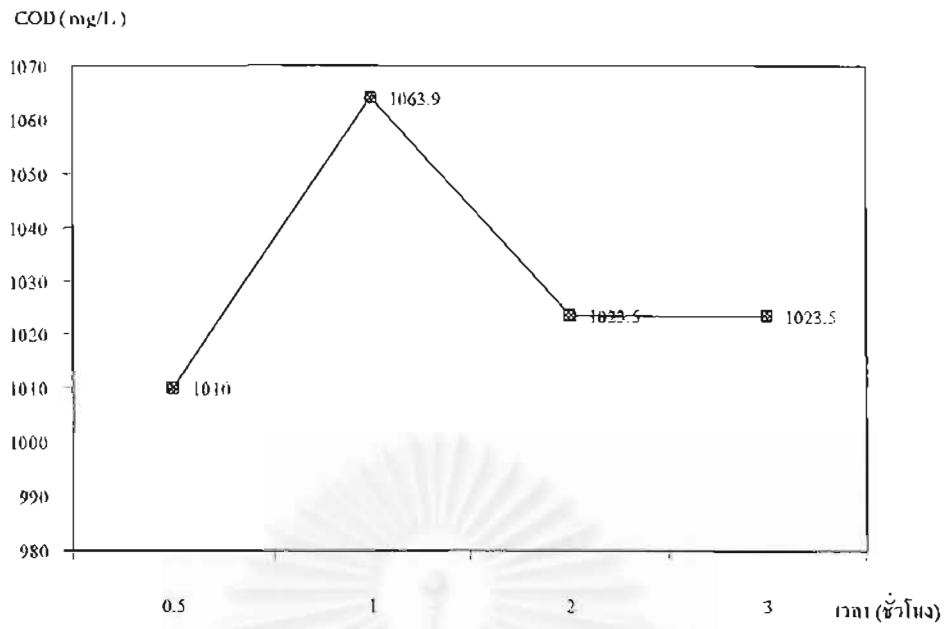
จากการนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนด้วย PAC ปริมาณ 1,000 mg/l ที่ระดับพีเอช 6 มาทำการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ 30 นาที , 1 , 2 และ 3 ชั่วโมง จากการศึกษพบว่า การเติมอากาศให้กับน้ำตัวอย่างนั้น สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และค่าซีโอดีที่ได้จากการเติมอากาศในช่วงเวลาที่ต่างกันนั้น มีค่าแตกต่างกัน น้อยมากคือ ค่าซีโอดีที่ได้จากการเติมอากาศเป็นช่วงระยะเวลา 30 นาที , 1 , 2 และ 3 ชั่วโมง มีค่าเป็น 1,010 , 1063.9 , 1023.5 และ 1023.5 mg/l ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.5 สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยการเติมอากาศหลังจากการตกตะกอนเป็นช่วงระยะเวลา 30 นาที , 1 , 2 และ 3 ชั่วโมง มีค่าเป็น 71 , 69.3 , 70.5 และ 70.5 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

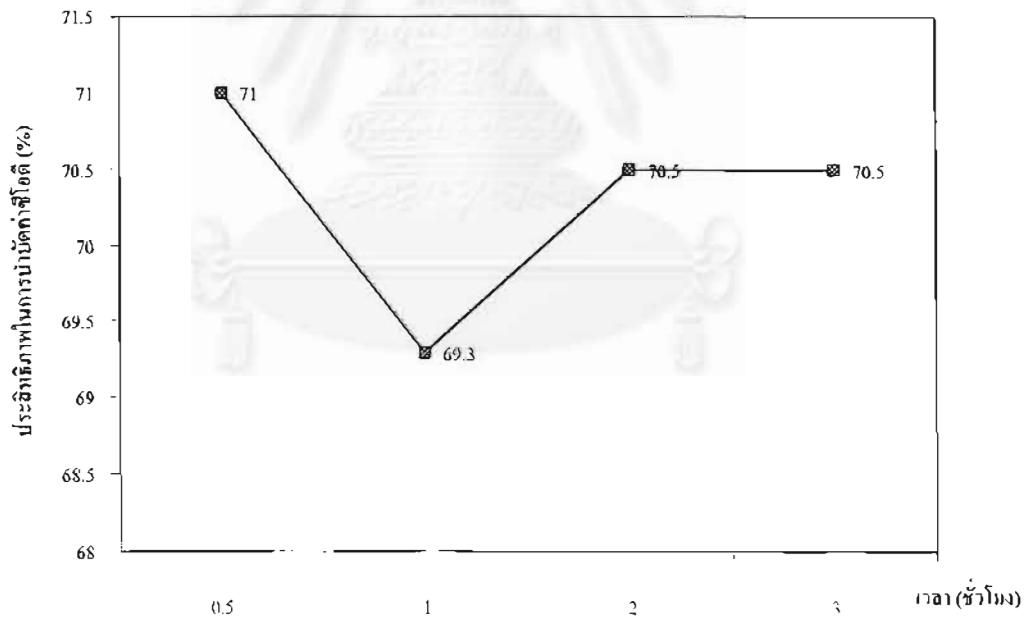
เวลา ( ชม.)	0.5	1	2	3
ค่าซีโอดี ( mg/L)	1010	1063.9	1023.5	1023.5

ตารางที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา ( ชม.)	0.5	1	2	3
ประสิทธิภาพในการ บำบัดค่าซีโอดี ( %)	71	69.3	70.5	70.5



รูปที่ 4.10 แสดงค่าซีโอดีที่ได้จากการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

### 4.3.2 ออกซิเดชันโดยการเติมตัวออกซิไดซ์

#### 4.3.2.1 ออกซิเดชันด้วย Hydrogen peroxide

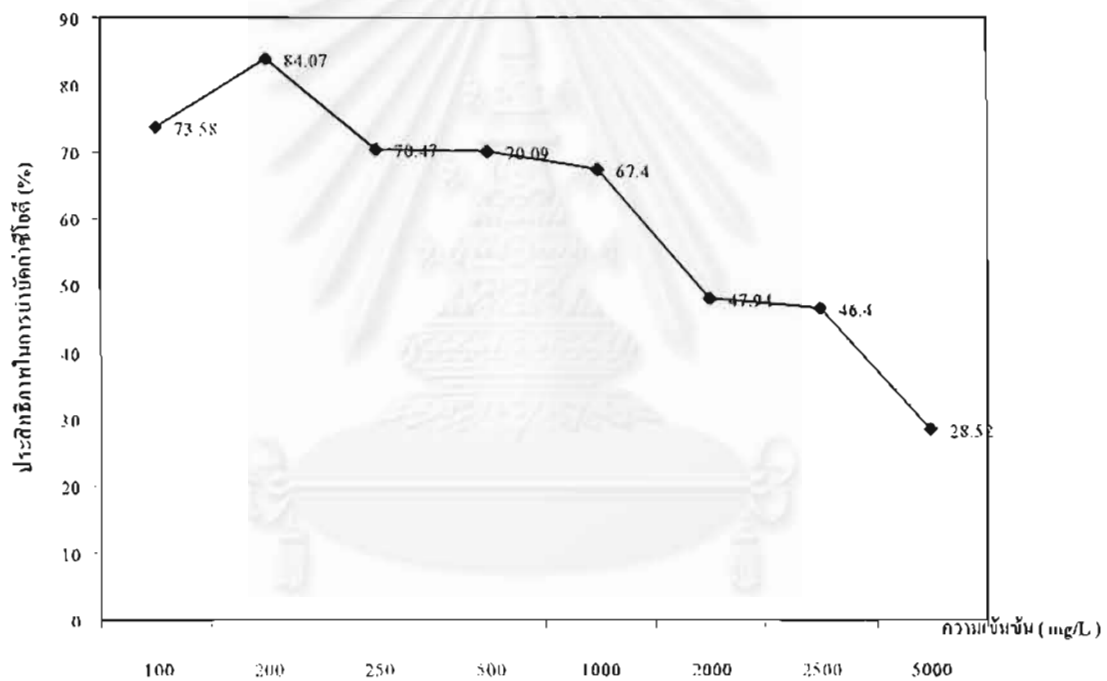
จากการนำน้ำตัวอย่างที่ทำการตกตะกอนด้วย PAC แล้ว มาทำการออกซิเดชันโดยการเติมตัวออกซิไดซ์ คือ Hydrogen peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 100 , 200 , 250 , 500 , 1,000 , 2,000 , 2,500 และ 5,000 mg/l จากการศึกษพบว่า หลังจากเมื่อเติม Hydrogen peroxide ลงในน้ำตัวอย่างไม่พบว่าการตกตะกอนในน้ำตัวอย่าง เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่ได้จากการตกตะกอนด้วย PAC มีลักษณะที่ค่อนข้างใสมาก จึงยากต่อการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง และ Hydrogen peroxide เป็นสารละลายที่ไม่มีสีอีกด้วย การเติม Hydrogen peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันนั้น พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะอยู่ในช่วง 28.52 - 84.07 % และมีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อความเข้มข้นของ Hydrogen peroxide เพิ่มมากขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นของ Hydrogen peroxide 200 mg/l เป็นสถานะที่สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูงสุด คือมีประสิทธิภาพ 84.07 %

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Hydrogen peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ค่าซีโอดี (mg/L)	915.7	552.1	1023.5	1036.9	1131.2	1804.5	1858.4	2477.9

ตารางที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Hydrogen peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ $H_2O_2$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี (%)	73.58	84.07	70.47	70.09	67.4	47.94	46.4	28.52

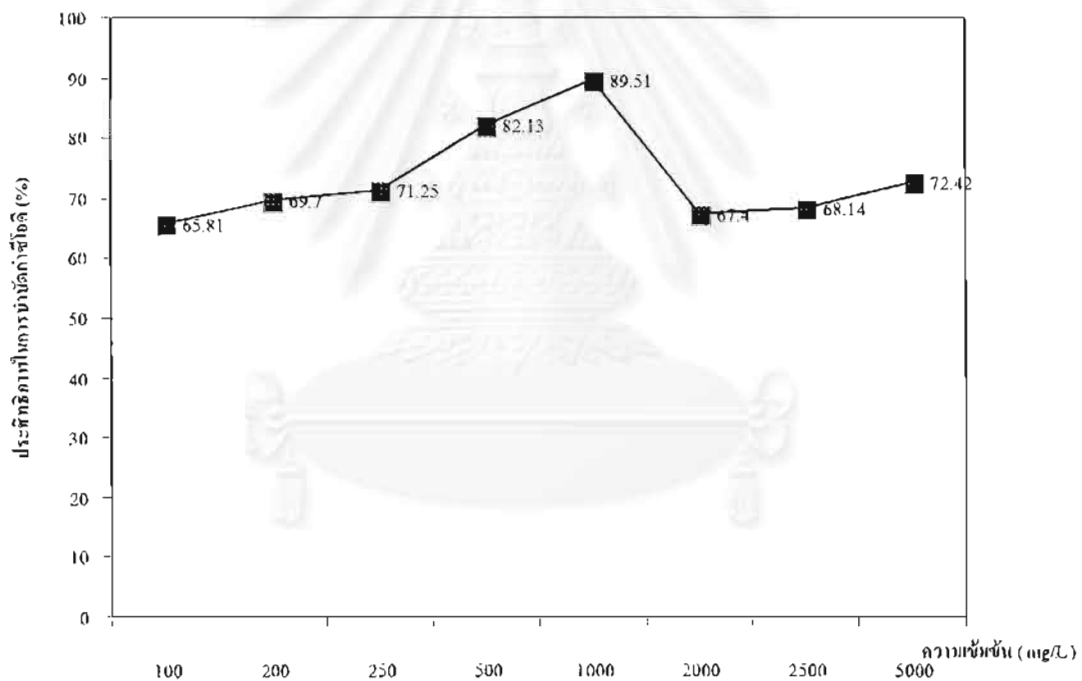


รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยออกซิเดชันด้วย Hydrogen peroxide



#### 4.3.2.2 ออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite

จากการนำน้ำตัวอย่างที่ทำการตกตะกอนด้วย PAC แล้ว มาทำการออกซิเดชัน โดยการเติมตัวออกซิไดซ์ คือ Sodium hyperchlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 100 , 200 , 250 , 500 , 1,000 , 2,000 , 2,500 และ 5,000 mg/l จากการศึกษพบว่าหลังจากเมื่อเติม Sodium hypochlorite ลงในน้ำตัวอย่างไม่พบว่าการตกตะกอนในน้ำตัวอย่าง การเติม Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันนั้น พบว่า ประสิทธิภาพของ Sodium hypochlorite ในการบำบัดค่าซีโอดีจะอยู่ในช่วง 65.81 -



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ NaOCl (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ค่าซีโอดี (mg/L)	1185.1	1050.4	996.5	619.5	364	1131.2	1104.3	956.1

ตารางที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ NaOCl (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี (%)	65.81	69.7	71.25	82.13	89.51	67.4	68.14	72.42

89.51 % และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ Sodium hypochlorite เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อระดับความเข้มข้นเกิน 1,000 mg/l. แนวโน้มในการบำบัดค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลง และที่ระดับความเข้มข้นของ Sodium hypochlorite 1,000 mg/l. เป็นสภาวะที่สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูงสุด คือมีประสิทธิภาพ 89.5 %

#### 4.3.2.3 ออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate

จากการนำน้ำตัวอย่างที่ทำการตกตะกอนด้วย PAC แล้ว มาทำออกซิเดชันโดยการเติมตัวออกซิไดซ์ คือ Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 100 , 200 , 250 , 500 , 1,000 , 2,000 , 2,500 และ 5,000 mg/l. จากการศึกษพบว่าหลังจากเมื่อเติม Potassium permanganate ลงในน้ำตัวอย่างพบว่าการตกตะกอนในน้ำตัวอย่าง ลักษณะของตะกอนที่ได้ คือ ตะกอนมีสีน้ำตาลแดงเข้ม มีลักษณะค่อนข้างเบา ฟุ้งกระจายได้ง่าย การเติม Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันนั้น พบว่า

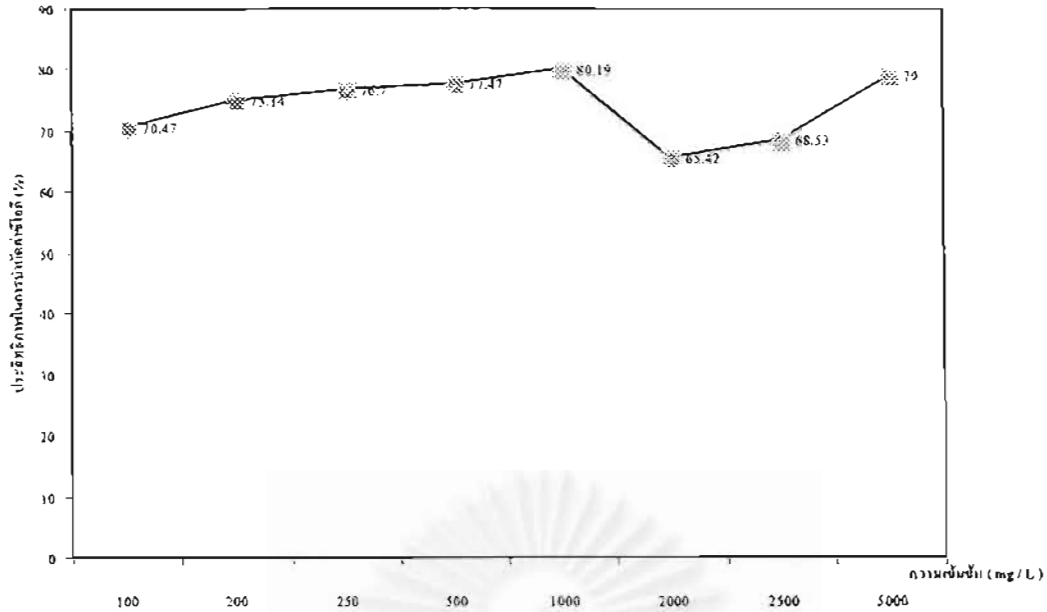
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะอยู่ในช่วง 65.42 - 80.19 % และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Potassium permanganate เพิ่มขึ้น แต่มีระดับความเข้มข้นเกิน 1,000 mg/l. แนวโน้มในการบำบัดค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณ Potassium permanganate ที่มีอยู่มากจนเกินพอน้ำเสียตัวอย่าง ซึ่งทำให้มีผลต่อค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากเมื่อเติม Potassium permanganate ในระดับความเข้มข้นที่เกิน 1,000 mg/l. ลงในน้ำเสียตัวอย่างแล้ว น้ำตัวอย่างกลายเป็นสีของม่วงของ Potassium permanganate และไม่เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงเข้มข้นมา สำหรับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดค่าซีโอดีสำหรับการออกซิไดซ์ด้วย Potassium permanganate คือที่ระดับความเข้มข้น 1,000 mg/l. โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี 80.19 %

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

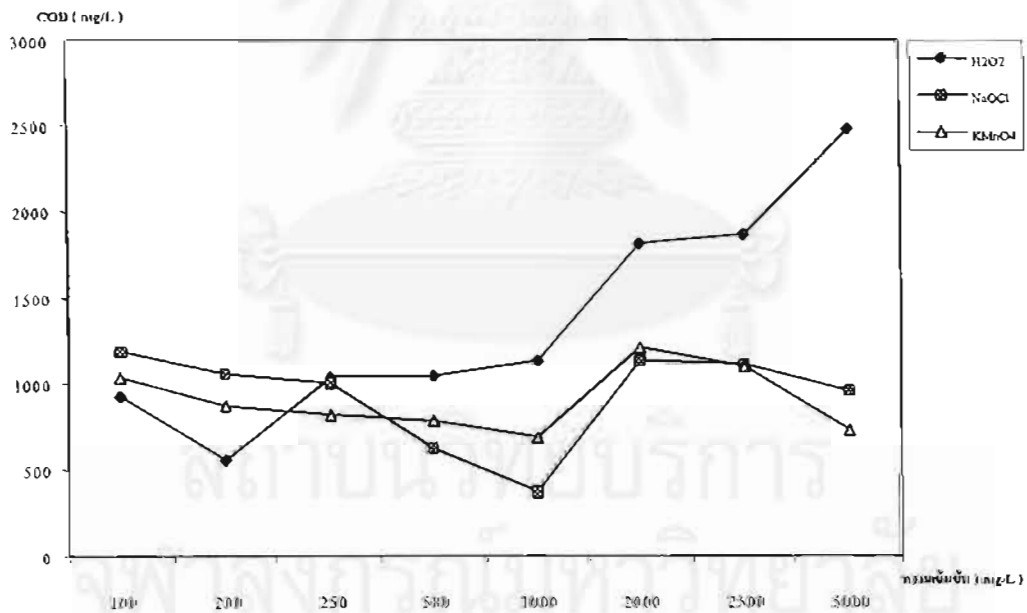
ความเข้มข้นของ $KmnO_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ค่าซีโอดี (mg/L)	1023.5	861.9	808	781.1	686.8	1198.5	1090.8	727.2

ตารางที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

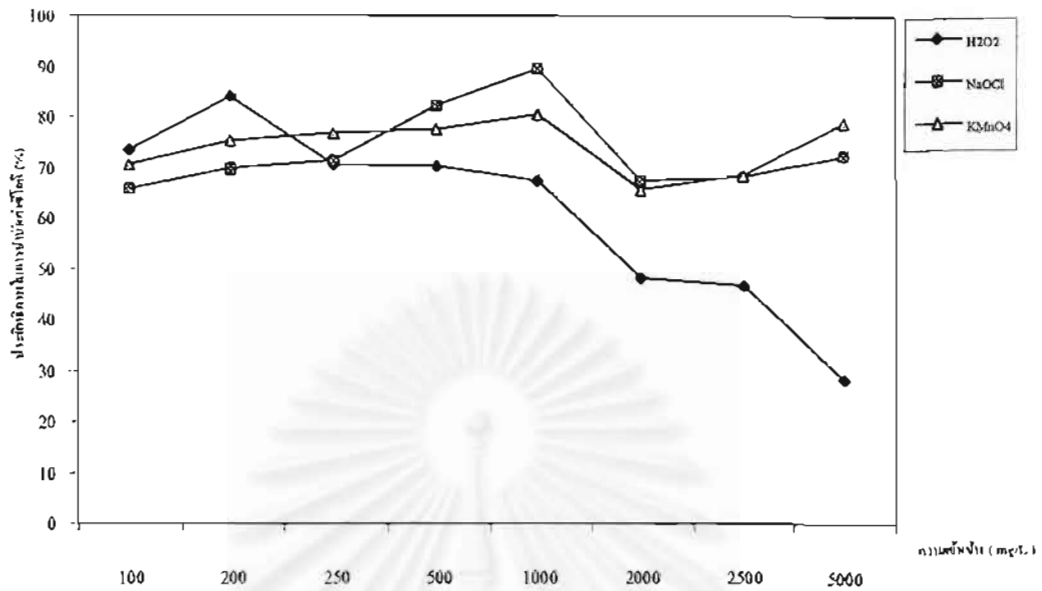
ความเข้มข้นของ $KmnO_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี (%)	70.47	75.14	76.7	77.47	80.19	65.42	68.53	79.0



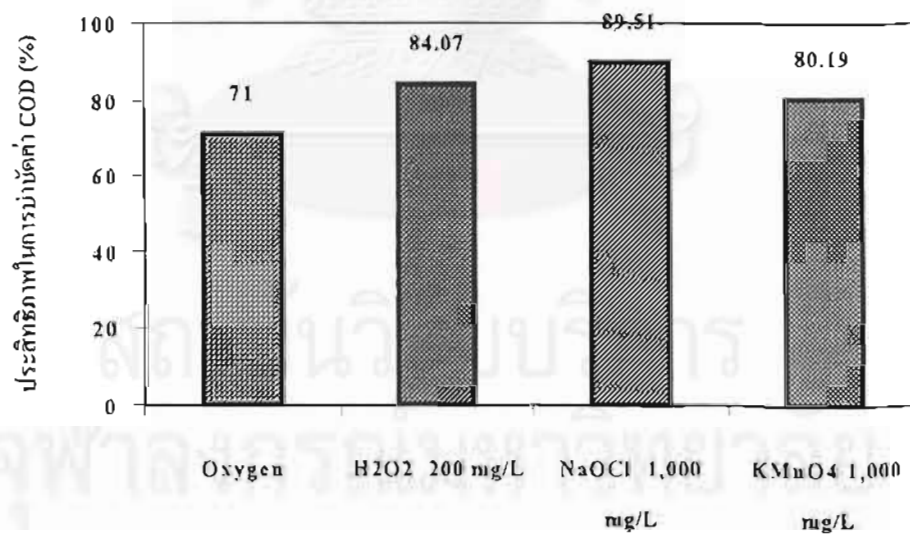
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าซีโอดีที่ได้หลังจากออกซิเดชันด้วยตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยวิธีออกซิเดชันด้วย ตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด



รูปที่ 4.17 เปรียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีโดยวิธีออกซิเดชันหลังการตกตะกอนของตัวออกซิไดซ์ทั้ง 4 ชนิดที่สภาวะที่เหมาะสม

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพวิธีการบำบัดค่า COD ในน้ำเสีย ระหว่างวิธีการบำบัดค่า COB ด้วยกระบวนการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน กับ วิธีการบำบัดค่า COD ด้วยออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน

การศึกษาในขั้นการทดลองนี้สามารถทำได้โดย การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD สูงสุดที่ได้จากการทดลองในขั้นต้น ซึ่งได้แก่สภาวะที่มีการใช้การตกตะกอนด้วย PAC ที่ระดับความเข้มข้น 1,000 mg/l. ร่วมกับออกซิเดชันด้วย NaOCl ที่ระดับความเข้มข้น 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 มาทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีระหว่างการที่บำบัดค่า COD โดยการเริ่มต้นด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน กับ การบำบัดค่า COD ด้วยการออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน

4.4.1 การตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล. แล้วตามด้วยออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. แล้วตามด้วยออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่า คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 83.7 %

4.4.2 ออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l.

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่า คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 73.92 %

4.4.3 การเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม. แล้วจึงนำไปทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. แล้วตามด้วยออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l.

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม. แล้วจึงนำไปทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. แล้วตามด้วยออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่า คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 64.14 %

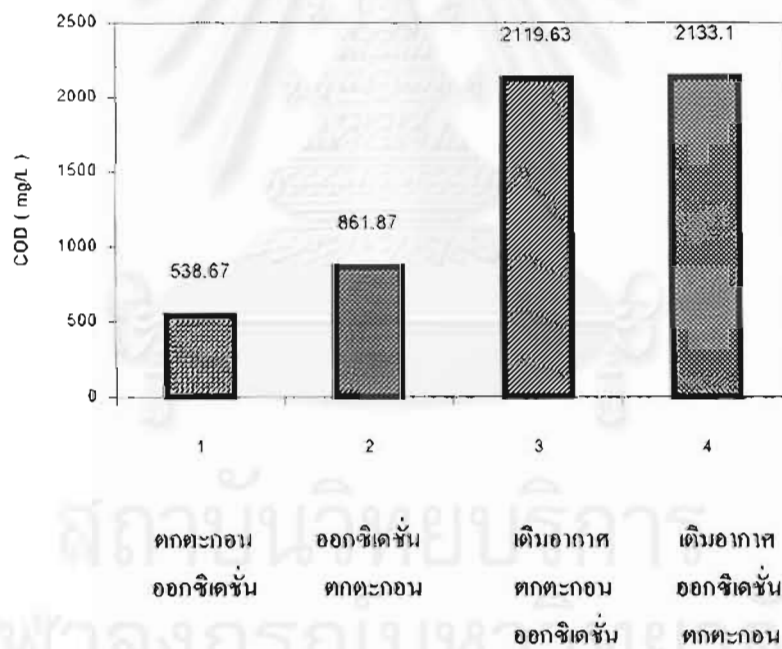
4.4.4 การเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม. แล้วจึงนำไปทำออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l.

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียตัวอย่าง โดยวิธีการเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม. แล้วจึงนำไปทำออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจะมีค่า คือ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 64.55 %

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า COD และประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD โดยการบำบัดด้วยด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน กับการบำบัดค่า COD ด้วยวิธีออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน

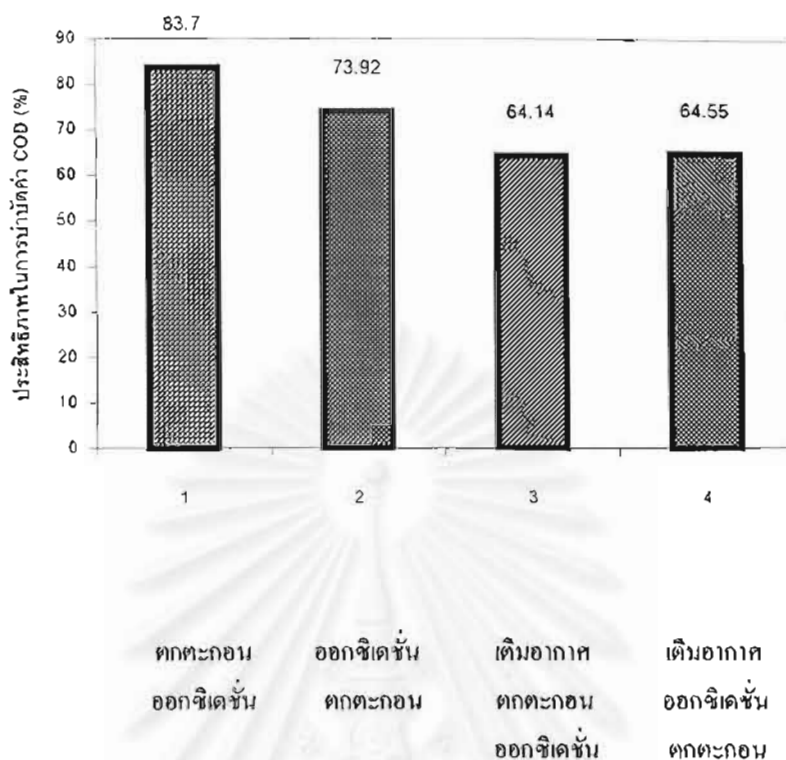
วิธีการบำบัดค่า COD	ค่า COD หลังการบำบัด (mg/L)	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD (%)
1. การตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล. แล้วออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 มก./ล.	538.67	83.7
2. ออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 มก./ล. แล้วตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล.	861.87	73.92

วิธีการบำบัดค่า COD	ค่า COD หลังการบำบัด (mg/L)	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD (%)
3. การเติมอากาศแล้วตกตะกอน ด้วย PAC 1,000 มก./ล. แล้วออกซิ เดชั่นด้วย NaOCl 1,000 มก./ล.	2119.63	64.14
4. การเติมอากาศแล้วออกซิเดชั่น ด้วย NaOCl 1,000 มก./ล. แล้วตก ตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล.	2133.1	64.55



รูปที่ 4.18 แสดงค่า COD ที่เหลือหลังจากการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชั่น และการบำบัดค่า COD ด้วยวิธีออกซิเดชั่นก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน





รูปที่ 4.19 แสดงประสิทธิภาพในประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD โดยการบำบัดด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน และการบำบัดค่า COD ด้วยวิธีออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน

#### 4.5 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน

##### ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ในการบำบัดน้ำเสียในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ก่อนนำน้ำเสียตัวอย่างมาทำการตกตะกอน ต้องการปรับระดับพีเอชของน้ำเสียเป็นระดับพีเอชเท่ากับ 6 ด้วย  $0.1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$  ซึ่งจะต้องเสียค่า  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในการปรับระดับพีเอช เท่ากับ 145 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร และการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนด้วย PAC เท่ากับ 40 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร การออกซิไดซ์หลังการตกตะกอนด้วย  $\text{NaOCl}$  1,000 mg/l. คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 65 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ตั้งนั้น การบำบัดค่าซีโอทีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยวิธี  
ออกซิเดชัน และการตกตะกอน มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีทั้งหมดรวมทั้งสิ้น 250 บาทต่อน้ำเสีย  
1 ลูกบาศก์เมตร



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 ขั้นตอนการตกตะกอน

จากผลการทดลองในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยวิธีการตกตะกอน ด้วยตัวช่วยตกตะกอน 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ PAC , Alum , Ferrous sulfate และ Lime จากการศึกษพบว่า ตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 4 ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีได้แตกต่างกัน ดังนี้

ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย PAC	57.13 – 94.62 %
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย Alum	66.91 – 86.47 %
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย Ferrous sulfate	6.19 – 44.50 %
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย Lime	14.75 – 35.94 %

ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเรียงลำดับประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี จากมากไปน้อย จะพบว่า PAC มีความสามารถในการบำบัดค่าซีโอดีได้สูงที่สุด รองลงมาคือ Alum , Ferrous sulfate และพบว่า Lime มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีได้ต่ำที่สุด

โดยที่ปริมาณของตัวตกตะกอนที่เติม และระดับพีเอช ที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดี สำหรับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดนั้น มีค่าแตกต่างกันไป ดังนี้

การตกตะกอนด้วย PAC มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด 94.62 % เมื่อใช้ความเข้มข้น 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6

การตกตะกอนด้วย Alum มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด 86.47 % เมื่อใช้ความเข้มข้น 5,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 10

การตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$  มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด 44.50 % เมื่อใช้ความเข้มข้น 250 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6

การตกตะกอนด้วย Lime มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด 35.94 % เมื่อใช้ความเข้มข้น 100 mg/l. ที่ระดับพีเอช 8

จะเห็นว่าระดับพีเอชที่เหมาะสม สำหรับการบำบัดค่าซีโอดี ด้วยการตกตะกอนนั้น ส่วนใหญ่จะมีระดับพีเอชอยู่ในช่วง 6 – 8 ยกเว้นในกรณีของ Alum ซึ่งมีระดับพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ในช่วงพีเอช 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดนั้น จะแตกต่างกันไป จึงไม่มีข้อสรุปที่เป็นรูปแบบอันชัดเจน ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด จึงควรจำเป็นที่จะต้องศึกษาเป็นเฉพาะกรณี ๆ ไป

สำหรับสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอน ที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุดในการทดลองขั้นตอนนี้ คือ การตกตะกอนด้วย PAC ในปริมาณ 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6 ซึ่งสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ถึง 94.62 %

### 5.1.2 ชั้นออกซิเดชันหลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองในขั้นการตกตะกอน เมื่อนำน้ำเสียผ่านการตกตะกอนด้วยสถานะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดค่าซีโอดี มาทำการออกซิไดซ์ โดยการเติมอากาศ (Aeration) และ การใช้ตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด จากการศึกษาพบว่า ออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กันนั้น จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 69.3 - 71 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วยวิธีออกซิเดชันโดยวิธีการเติมอากาศให้แก่น้ำเสียตัวอย่างนั้น ไม่มีผลต่อการบำบัดค่าซีโอดี เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ได้นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน

ออกซิเดชันด้วยตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ Hydrogen Peroxide , Sodium hypochlorite และ Potassium permanganate พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกัน ดังนี้

ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย $H_2O_2$	46.4 – 84.07 %
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย NaOCl	65.87 – 89.51 %
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วย $KMnO_4$	65.42 – 80.19 %

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี เมื่อเรียงลำดับจากสูงสุดไปต่ำสุด พบว่า Sodium hypochlorite มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีได้สูงสุด รองลงมาคือ Hydrogen peroxide และ Potassium permanganate ตามลำดับ

สำหรับสถานะที่เหมาะสมที่สุด ของวิธีออกซิเดชันด้วยตัวออกซิไดซ์ ที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุดในการทดลองขั้นตอนนี้ คือ การออกซิไดซ์ด้วย Sodium hypochlorite ในปริมาณ 1,000 mg/l. ซึ่งสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ถึง 89.51 %

จากการทดลองในขั้นการตกตะกอนและออกซิเดชันหลังการตกตะกอน พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอสูงที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ คือ สถานะที่ใช้การตกตะกอนด้วย PAC ปริมาณ 1,000 mg/l. ที่ระดับพีเอช 6 ร่วมกับการใช้ตัวออกซิไดซ์ Sodium hypochlorite ปริมาณ 1,000 mg/l.

**5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพวิธีการบำบัดค่า COD ในน้ำเสีย ระหว่างวิธีการบำบัดค่า COD ด้วยกระบวนการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยออกซิเดชัน กับ วิธีการบำบัดค่า COD ด้วยวิธีออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน**

จากผลการทดลอง เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการบำบัดค่าซีโอดี โดยวิธีการบำบัดค่า COD ด้วยกระบวนการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยวิธีออกซิเดชัน กับ วิธีการบำบัดค่า COD ด้วยวิธีออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน รวมถึงการให้อากาศกับน้ำตัวอย่างก่อนทำการบำบัดค่าซีโอดี จะพบว่า การบำบัดค่าซีโอดี ทั้ง 4 วิธีที่ได้ทำการศึกษานั้น ซึ่งได้แก่ การบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC ปริมาณ 1,000 mg/l. แล้วจึงออกซิเดชันด้วย NaOCl ปริมาณ 1,000 mg/l. , วิธีออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. , การเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม. แล้วจึงนำไปทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. แล้วตามด้วยออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. และ การเติมอากาศให้กับน้ำเสียตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชม. แล้วจึงนำ

ไปออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. ซึ่งทั้ง 4 วิธีนี้ทำที่ระดับ พีเอช เท่ากับ 6 เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของทั้ง 4 วิธีนี้ จะเห็นได้ว่า การบำบัดค่าซีโอดีการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC ปริมาณ 1,000 mg/l. แล้วจึงทำออกซิเดชันด้วย NaOCl ปริมาณ 1,000 mg/l. เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีสูงที่สุดคือ 83.7 % รองลงมาคือ การออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 mg/l. แล้วทำการตกตะกอนด้วย PAC 1,000 mg/l. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี 73.92 % ส่วนวิธีการบำบัดค่าซีโอดีโดยการเติมอากาศก่อนทำการตกตะกอนและออกซิเดชันทั้งสองวิธีนั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี เป็น 64.14 และ 64.55 % ตามลำดับ

ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้ แสดงว่าวิธีการบำบัดค่าซีโอดีจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น การตกตะกอนด้วย PAC ปริมาณ 1,000 mg/l. แล้วจึงออกซิเดชันด้วย NaOCl ปริมาณ 1,000 mg/l. เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดค่าซีโอดี

## 5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาการบำบัดค่าซีโอดี โดยการตกตะกอนด้วยตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ PAC , Alum , Ferrous sulfate และ Lime จะเห็นได้ว่า PAC และ Alum นั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในทั้งระดับของพีเอชที่เหมาะสมและปริมาณที่ใช้เดิม แต่ PAC มีช่วงพีเอชที่ค่อนข้างกว้างในการทำปฏิกิริยา และระดับพีเอชที่เหมาะสมยังเป็นช่วงพีเอชที่สามารถปล่อยน้ำหลังการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้อีกด้วย คือช่วงพีเอช 5 - 9 ส่วน Alum นั้น จะสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วงพีเอชที่ค่อนข้างเป็นเบส การเลือกใช้น้ำเสียที่มีระดับพีเอชที่เป็นเบสมากเกินไปทำการตกตะกอน หลังการบำบัดจึงจำเป็นต้องปรับพีเอชอีกครั้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งเป็นการเสียเวลาและเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดเพิ่มขึ้นอีกด้วย

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว มีค่าสูงกว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีด้วยออกซิเดชันหลัง

การตกตะกอน ซึ่งการที่ผลการทดลองที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นเช่นนี้ อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. องค์ประกอบของน้ำเสียตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้ การทดลองในขั้นการตกตะกอนและการออกซิเดชัน ใช้น้ำเสียตัวอย่างที่เก็บคนละรอบกัน อันเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้ง ไม่สามารถเก็บน้ำตัวอย่างมาได้เป็นจำนวนมาก ทำให้ลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีความแตกต่างกันในด้านองค์ประกอบของน้ำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละครั้ง และการเก็บตัวอย่างน้ำเสียทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อบำบัดน้ำเสีรวม ไม่สามารถเก็บน้ำตัวอย่างจากรถขนน้ำเสียโดยตรง เนื่องจากไม่สามารถระบุเวลาที่รถขนน้ำจะนำน้ำจากโรงงานเข้าสู่ศูนย์ ฯ ที่แน่นอนได้ จึงเป็นการยากที่จะระบุตัวองค์ประกอบทางเคมีในน้ำเสียตัวอย่างได้ เพราะฉะนั้นถ้าต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนนั้น จึงอาจจำเป็นต้องศึกษาเป็นกรณี ๆ ไป

2. ค่าซีโอดี เนื่องจากการที่องค์ประกอบของน้ำตัวอย่างในการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน เป็นผลทำให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ได้ในแต่ละครั้งจึงมีค่าที่แตกต่างกันด้วย ส่งผลให้สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนที่ทำการศึกษาได้ไม่ได้ผลตามที่ได้ทำการศึกษารั้งแรกในกรณีที่น้ำเสียตัวอย่างมีค่าซีโอดีสูงมาก คือมีค่าเกิน 10,000 mg/l. จึงต้องทำการเจือจางความเข้มข้นของค่าซีโอดีให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าซีโอดีที่ใช้ในการศึกษาตอนต้น คือ เจือจางให้ค่าซีโอดีอยู่ระดับ 3,304.7 mg/l. เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองน้อยที่สุด

3. ระดับพีเอช ระดับพีเอชที่เหมาะสม เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากกลไกการตกตะกอนในการวิจัยครั้งนี้ เป็นกลไกแบบกวาด ระดับพีเอชจะมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการตกตะกอนของสาร ซึ่งตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดนั้นจะมีพีเอชที่เหมาะสมที่แตกต่างกันไป ซึ่งผู้วิจัยยังไม่ทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยของปัญหา จึงจำเป็นต้องทดสอบหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของสารเคมีเสมอ

จากการศึกษาในครั้งนี้นี้ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยการตกตะกอนและออกซิเดชันนั้น ลักษณะของน้ำเสียที่ได้ค่อนข้างใส ความเข้มข้นของสีข้อมลลดลงจนสังเกตได้ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเนื่องจากสีข้อม

ส่วนใหญ่ได้ถูกกำจัดออกไปโดยการตกตะกอน เกิดการตกตะกอนไปด้วยในขั้นตอนการของกระบวนการตกตะกอน มีค่าซีโอดีที่ลดลงจนค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำจนเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ้าหากได้มีการควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งวิธีการบำบัดค่าซีโอดีด้วยกระบวนการใช้วิธีตกตะกอนร่วมกับการออกซิเดชัน จึงน่าจะเป็นแนวทางที่มีประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมตั้งหอ และอาจจะเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ประยุกต์เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียกับโรงงานอุตสาหกรรมชนิดอื่นได้ด้วย

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยใช้สารเคมีชนิดอื่น เช่น พอลิเมอร์ หรือ PASS ( Polyaluminium – Silicate – sulphate ) เป็นต้น
2. ศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการตกตะกอน ในด้านปริมาณคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และปัญหาที่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากตะกอน รวมทั้งค่าใช้จ่ายและวิธีที่ใช้ในการบำบัดตะกอน
3. ศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อกระบวนการตกตะกอนและออกซิเดชัน เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ เป็นต้น



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กานดา พูนลาภทวี. 2539. สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์  
ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. เคมีของน้ำไฮโดรเจน น้ำไฮโดรเจน และการวิเคราะห์.

กรุงเทพมหานคร : ประยูรวงศ์จักรพิมพ์.

กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีทางสิ่งแวดล้อม.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนัก  
พิมพ์มิตรานราการพิมพ์.

ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์. 2539. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธี  
การตกตะกอนผลึกทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
วิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2522. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงงานทอผ้า. วิศวกรรมสาร.  
32(2) : 46 – 59.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2539. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง.  
สถาบันวิจัยสถานะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นรัชย์ ลือกุลวัฒน์ชัย. 2535. อุตสาหกรรมฟอกย้อมเติบโตไปพร้อมกับการแก้ไขปัญห  
สิ่งแวดล้อม. สรุปข่าวธุรกิจ. 23(2) : 26 – 32.

นันทยา ยานุมศ. 2534. กระบวนการผลิตและลักษณะน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. รายงาน  
สรุปผลการประชุมสัมมนาเรื่องการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ วันที่  
26 มีนาคม 2534.

เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต. 2536. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร :  
โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2539. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. กรุงเทพมหานคร :  
โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัจฉราพร ไสละสูตร. 2527. คู่มือการข้อมล. กรุงเทพมหานคร : เทคนิค 19 การพิมพ์.

## ภาษาอังกฤษ

- Altinbas , U. , Doekmeci , S. , Baristiran , A. 1995. Treatability Study of Wastewater from Textile Industry. J. ENVIRON.-TECHNOL. 16 : 389 – 394.
- Altinbas , U. , Timur , H. 1997. Treatability studies and determination of Kinetic parameters for a High-strength opium production wastewater. J.ENVIRON.-TECHNOL. 3 : 339 – 344.
- American Public Health Association, American Water works Association and Water Environment Federation. 1992. Standard Method for the Examination of Water And Wastewater. 18<sup>th</sup> edition , Washington , D.C. : American Publish Health Association.
- Chakchouk, M. et al. 1994. Complete treatment of olive mill wastewater by wet air Oxidation Process coupled with a biological step. J. ENVIRON.-TECHNOL. 15 : 323 – 332.
- Chen , H.C. et al. 1997. A successful case studdy of fine chemical plant wastewater Treatment. J. Wat.Sci. Tech. 35 : 87 – 94.
- Echenfelder, W.W. , 1989. Industrial Pollution Control. 2<sup>nd</sup> edition. Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- Freeman, H. M. 1989. Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal. USA : McGraw-Hill Book : 7.21 – 7.27.
- Kemmer, F.N. . 1988. The nalco water handbook. 2<sup>nd</sup> edition. , New York : McGraw-Hill International editor.
- Lin, S. H. and Peng , C. F. 1996. Continuous treatment of textile wastewater by combined Coagulation , electrochemical oxidation and activated sludge. J. Water Research. 30 : 680 – 686.
- Liptak, Bela G. 1974 . Environmental Engineers' handbook. Radnor , Pennsylvania :Chitton Book Company.

Raghavacharya, Chitra. 1997. Colour removal from industry effluents. Chemical Engineering World. 32 : 7.

Schulze-Rettmer , Rainer and W. Zuckut , Stefan. 1997, December . Two-Stage Process Removes Organics from Wastewater. Pollution Engineering. 70 – 76.

Tchobanoglous, G. and Franklin , L.B. , 1991. Wastewater Engineering : Treatment , Disposal and Reuse. 3<sup>rd</sup> edition. Singapore : McGreaw-Hill Book Company.





ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลดิบ

## การหาค่า Blank

ตารางที่ ก.1.1 แสดงปริมาตร FAS ที่ใช้ในการหาค่า blank เพื่อใช้ในการคำนวณค่าซีไอดี

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ ในการไตเตรต ( mL)
1	6
2	5.95
3	5.95
ค่าเฉลี่ย	5.967

## การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Ferrous ammonium sulfate

ตารางที่ ก.1.2 แสดงปริมาตร FAS ที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของ FAS

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ ในการไตเตรต ( mL)
1	6
2	5.95
3	5.95
ค่าเฉลี่ย	5.967

$$\begin{aligned}
 [FAS] &= (6 \times 0.1) / 5.967 \\
 &= 0.101 \quad \text{mol/L}
 \end{aligned}$$

การหาค่าซีโอดีเริ่มต้นในน้ำเสียตัวอย่าง

ตารางที่ ก1.3 แสดงปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไตเตรตหาค่าซีโอดีของน้ำเสียตัวอย่าง

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ ในการไตเตรต ( mL)
1	3.5
2	3.6
3	3.5
ค่าเฉลี่ย	3.53

การคำนวณค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \frac{(7.62-3.53) \times 0.101 \times 8000}{10} \\ &= 330.47 \quad \text{mg/L} \end{aligned}$$

น้ำเสียตัวอย่างก่อนนำมาหาค่าซีโอดี ได้ทำการ dilute 10 เท่า  
เพราะฉะนั้นค่าซีโอดีของน้ำตัวอย่างจริงจะมีค่าเท่ากับ

$$\text{COD} = 3304.7 \quad \text{mg/L}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การตกตะกอนน้ำเสียด้วย PAC

ตารางที่ ก1.4 แสดงปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตรเตรทหลังจากตกตะกอนด้วย PAC ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ PAC (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	6.5	6.7	6.9	7	7.4	6.8	6.8	6.8
2	6.6	6.7	6.9	7.1	7.6	6.6	7	6.8
3	6.5	6.6	7	7.3	7.2	6.8	6.9	6.8
ค่าเฉลี่ย	6.53	6.67	6.93	7.13	7.40	6.73	6.90	6.80
<b>pH = 7</b>								
1	7	6.8	7.1	6.9	6.6	6.1	6.5	6.3
2	7	7	7	6.8	7.2	6.5	6.2	6
3	7	7	6.8	7.1	6.9	6	6	6
ค่าเฉลี่ย	7	6.93	6.97	6.93	6.90	6.20	6.23	6.10
<b>pH = 8</b>								
1	6.7	5.9	6.1	6.4	6	6.3	6.6	6.2
2	6.3	5.7	6.2	6	6	6.6	6.7	6.4
3	5.9	6.1	5.9	6.4	6.3	6.2	6.3	6.1
ค่าเฉลี่ย	6.30	5.90	6.07	6.27	6.10	6.37	6.53	6.23
<b>pH = 9</b>								
1	5.8	5.9	6.2	6.2	6.3	6	6.1	5.9
2	5.8	5.9	6	6.1	6.1	5.8	6	5.8
3	6	5.9	6.1	6.2	6.3	5.9	6.1	5.9
ค่าเฉลี่ย	5.87	5.90	6.10	6.17	6.23	5.90	6.07	5.87
<b>pH = 10</b>								
1	6.1	6.5	6.3	6.5	6.4	6.2	6.1	6.3
2	6.1	6.3	6.2	6.5	6.3	6.3	6.2	6.3
3	6.1	6.3	6.4	6.4	6.6	6.4	6.3	6
ค่าเฉลี่ย	6.10	6.37	6.30	6.47	6.43	6.30	6.20	6.20

ตารางที่ ก1.5 แสดงค่าซีไอดีหลังจากตกตะกอนด้วย PAC ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ PAC (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	904.96	743.36	581.76	500.96	177.76	662.56	662.56	662.56
2	824.16	743.36	581.76	420.16	16.16	824.16	500.96	662.56
3	904.96	824.16	500.96	258.56	339.36	662.56	581.76	662.56
ค่าเฉลี่ย	878.03	770.29	554.83	393.23	177.76	716.43	581.76	662.56
<b>pH = 7</b>								
1	500.96	662.56	420.16	581.76	824.16	1228.16	904.96	1066.56
2	500.96	500.96	500.96	662.56	339.36	904.96	1147.36	1308.96
3	500.96	500.96	662.56	420.16	581.76	1308.96	1308.96	1308.96
ค่าเฉลี่ย	500.96	554.83	527.89	554.83	581.76	1147.36	1120.43	1228.16
<b>pH = 8</b>								
1	743.36	1389.76	1228.16	985.76	1308.96	1066.56	824.16	1147.36
2	1066.56	1551.36	1147.36	1308.96	1308.96	824.16	743.36	985.76
3	1389.76	1228.16	1389.76	985.76	1066.56	1147.36	1066.56	1228.16
ค่าเฉลี่ย	1066.56	1389.76	1255.09	1093.49	1228.16	1012.69	878.03	1120.43
<b>pH = 9</b>								
1	1470.56	1389.76	1147.36	1147.36	1066.56	1308.96	1228.16	1389.76
2	1470.56	1389.76	1308.96	1228.16	1228.16	1470.56	1308.96	1470.56
3	1308.96	1389.76	1228.16	1147.36	1066.56	1389.76	1228.16	1389.76
ค่าเฉลี่ย	1416.69	1389.76	1228.16	1174.29	1120.43	1389.76	1255.09	1416.69
<b>pH = 10</b>								
1	1228.16	904.96	1066.56	904.96	985.76	1147.36	1228.16	1066.56
2	1228.16	1066.56	1147.36	904.96	1066.56	1066.56	1147.36	1066.56
3	1228.16	1066.56	985.76	985.76	824.16	985.76	1066.56	1308.96
ค่าเฉลี่ย	1228.16	1012.69	1066.56	931.89	958.83	1066.56	1147.36	1147.36



ตารางที่ ก.1.6 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากตกตะกอนด้วย PAC ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ PAC (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
pH = 6								
1	72.62	77.51	82.40	84.84	94.62	79.95	79.95	79.95
2	75.06	77.51	82.40	87.29	99.51	75.06	84.84	79.95
3	72.62	75.06	84.84	92.18	89.73	79.95	82.40	79.95
ค่าเฉลี่ย	73.43	76.69	83.21	88.10	94.62	78.32	82.40	79.95
pH = 7								
1	84.84	79.95	87.29	82.40	75.06	62.84	72.62	67.73
2	84.84	84.84	84.84	79.95	89.73	72.62	65.28	60.39
3	84.84	84.84	79.95	87.29	82.40	60.39	60.39	60.39
ค่าเฉลี่ย	84.84098	83.21	84.03	83.21	82.40	65.28	66.10	62.84
pH = 8								
1	77.51	57.95	62.84	70.17	60.39	67.73	75.06	65.28
2	67.73	53.06	65.28	60.39	60.39	75.06	77.51	70.17
3	57.95	62.84	57.95	70.17	67.73	65.28	67.73	62.84
ค่าเฉลี่ย	67.73	57.95	62.02	66.91	62.84	69.36	73.43	66.10
pH = 9								
1	55.50	57.95	65.28	65.28	67.73	60.39	62.84	57.95
2	55.50	57.95	60.39	62.84	62.84	55.50	60.39	55.50
3	60.39	57.95	62.84	65.28	67.73	57.95	62.84	57.95
ค่าเฉลี่ย	57.13	57.95	62.84	64.47	66.10	57.95	62.02	57.13
pH = 10								
1	62.84	72.62	67.73	72.62	70.17	65.28	62.84	67.73
2	62.84	67.73	65.28	72.62	67.73	67.73	65.28	67.73
3	62.84	67.73	70.17	70.17	75.06	70.17	67.73	60.39
ค่าเฉลี่ย	62.84	69.36	67.73	71.80	70.99	67.73	65.28	65.28

การตกตะกอนน้ำเสียตัวอย่างด้วย Alum

ตารางที่ ก1.7 แสดงปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตหลังจากตกตะกอนด้วย Alum ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Alum (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
pH = 6								
1	6.2	6.7	6.5	6.6	6.7	6.4	6.5	6.4
2	6.4	6.5	6.7	6.4	6.7	6.5	6.3	6.2
3	6.7	6.7	6.8	6.5	6.5	6.4	6.3	6.2
ค่าเฉลี่ย	6.43	6.63	6.67	6.50	6.63	6.43	6.37	6.27
pH = 7								
1	6.8	6.8	6.9	6.6	6.8	6.5	6.6	6.6
2	6.4	6.6	6.5	6.6	6.5	6.6	6.9	6.7
3	6.4	6.5	6.7	6.5	6.5	6.5	6.6	6.6
ค่าเฉลี่ย	6.53	6.63	6.70	6.57	6.60	6.53	6.70	6.63
pH = 8								
1	6.6	6.8	6.6	6.7	6.8	6.9	6.9	7.1
2	6.7	6.6	6.8	6.6	7	7	6.75	6.8
3	6.7	6.8	6.75	6.5	7	7	6.9	6.8
ค่าเฉลี่ย	6.67	6.73	6.72	6.60	6.93	6.97	6.85	6.90
pH = 9								
1	7.05	6.9	7	6.9	6.8	7	6.9	6.9
2	7	7	7.1	7	6.85	7	6.8	7
3	6.85	6.9	6.8	6.8	6.85	7	6.9	7
ค่าเฉลี่ย	6.97	6.93	6.97	6.90	6.83	7.00	6.87	6.97
1	6.6	7	7.1	6.9	6.9	6.8	6.9	7.1
2	6.7	7.1	7	7.1	7.1	7	6.8	7.2
3	6.7	7	7.05	7.05	6.8	7	7	6.9
ค่าเฉลี่ย	6.67	7.03	7.05	7.02	6.93	6.93	6.90	7.07

ตารางที่ ก.1.8 แสดงค่าซีไอดีหลังจากตกตะกอนด้วย Alum ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Alum (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	1147.36	743.36	904.96	824.16	743.36	985.76	904.96	985.76
2	985.76	904.96	743.36	985.76	743.36	904.96	1066.56	1147.36
3	743.36	743.36	662.56	904.96	904.96	985.76	1066.56	1147.36
ค่าเฉลี่ย	958.8267	797.23	770.29	904.96	797.23	958.83	1012.69	1093.49
<b>pH = 7</b>								
1	662.56	662.56	581.76	824.16	662.56	904.96	824.16	824.16
2	985.76	824.16	904.96	824.16	904.96	824.16	581.76	743.36
3	985.76	904.96	743.36	904.96	904.96	904.96	824.16	824.16
ค่าเฉลี่ย	878.0267	797.23	743.36	851.09	824.16	878.03	743.36	797.23
<b>pH = 8</b>								
1	824.16	662.56	824.16	743.36	662.56	581.76	581.76	420.16
2	743.36	824.16	662.56	824.16	500.96	500.96	702.96	662.56
3	743.36	662.56	702.96	904.96	500.96	500.96	581.76	662.56
ค่าเฉลี่ย	770.2933	716.4267	729.8933	824.16	554.8267	527.89	622.16	581.76
<b>pH = 9</b>								
1	460.56	581.76	500.96	581.76	662.56	500.96	581.76	581.76
2	500.96	500.96	420.16	500.96	622.16	500.96	662.56	500.96
3	622.16	581.76	662.56	662.56	622.16	500.96	581.76	500.96
ค่าเฉลี่ย	527.8933	554.8267	527.89	581.76	635.63	500.96	608.69	527.8933
<b>pH = 10</b>								
1	824.16	500.96	420.16	581.76	581.76	662.56	581.76	420.16
2	743.36	420.16	500.96	420.16	420.16	500.96	662.56	339.36
3	743.36	500.96	460.56	460.56	662.56	500.96	500.96	581.76
ค่าเฉลี่ย	770.2933	474.0267	460.56	487.49	554.8267	554.83	581.76	447.09

ตารางที่ ก.9 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากตกตะกอนด้วย Alum ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Alum (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	65.28	77.51	72.62	75.06	77.51	70.17	72.62	70.17
2	70.17	72.62	77.51	70.17	77.51	72.62	67.73	65.28
3	77.51	77.51	79.95	72.62	72.62	70.17	67.73	65.28
ค่าเฉลี่ย	70.99	75.88	76.69	72.62	75.88	70.99	69.36	66.91
<b>pH = 7</b>								
1	79.95	79.95	82.40	75.06	79.95	72.62	75.06	75.06
2	70.17	75.06	72.62	75.06	72.62	75.06	82.40	77.51
3	70.17	72.62	77.51	72.62	72.62	72.62	75.06	75.06
ค่าเฉลี่ย	73.43	75.88	77.51	74.25	75.06	73.43	77.51	75.88
<b>pH = 8</b>								
1	75.06	79.95	75.06	77.51	79.95	82.40	82.40	87.29
2	77.51	75.06	79.95	75.06	84.84	84.84	78.73	79.95
3	77.51	79.95	78.73	72.62	84.84	84.84	82.40	79.95
ค่าเฉลี่ย	76.69	78.32	77.91	75.06	83.21	84.03	81.17	82.40
<b>pH = 9</b>								
1	86.06	82.40	84.84	82.40	79.95	84.84	82.40	82.40
2	84.84	84.84	87.29	84.84	81.17	84.84	79.95	84.84
3	81.17	82.40	79.95	79.95	81.17	84.84	82.40	84.84
ค่าเฉลี่ย	84.03	83.21	84.03	82.40	80.77	84.84	81.58	84.03
<b>pH = 10</b>								
1	75.06	84.84	87.29	82.40	82.40	79.95	82.40	87.29
2	77.51	87.29	84.84	87.29	87.29	84.84	79.95	89.73
3	77.51	84.84	86.06	86.06	79.95	84.84	84.84	82.40
ค่าเฉลี่ย	76.69	85.66	86.06	85.25	83.21	83.21	82.40	86.47

การตกตะกอนน้ำเสียด้วย  $\text{FeSO}_4$

ตารางที่ ก.1.10 แสดงปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตถึงจากตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$  ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	5.05	5.25	5.4	5.05	4.45	4.35	4.25	4.2
2	5.05	5.2	5.3	5.1	4.35	4.25	4.35	4.3
3	5.1	5.15	5.35	5	4.3	4.35	4.3	4.3
ค่าเฉลี่ย	5.07	5.2	5.35	5.05	4.37	4.32	4.3	4.27
<b>pH = 7</b>								
1	5.2	5.3	5.2	5	4.7	4.4	4.4	4.35
2	5.35	5.3	5.4	5.2	4.9	4.3	4.4	4.3
3	5.2	5.3	5.3	5.1	4.9	4.5	4.4	4.3
ค่าเฉลี่ย	5.25	5.30	5.30	5.10	4.83	4.40	4.40	4.32
<b>pH = 8</b>								
1	4.8	4.3	4.4	4.8	4.1	3.75	3.8	3.9
2	4.95	4.5	4.4	4.85	4.1	3.9	3.8	3.8
3	4.95	4.5	4.6	4.75	4.15	3.7	3.8	3.85
ค่าเฉลี่ย	4.90	4.43	4.47	4.80	4.12	3.78	3.80	3.85
<b>pH = 9</b>								
1	4.35	4.1	4.2	4.3	4.2	4	4	4.1
2	4.35	4.2	4.3	4.1	4.15	4	4	4.1
3	4.3	4.1	4.4	4.3	4.1	3.9	3.9	4.05
ค่าเฉลี่ย	4.33	4.13	4.30	4.23	4.15	3.97	3.97	4.08
<b>pH = 10</b>								
1	4.35	4.4	4.4	4.45	4.3	4.1	4.1	4.2
2	4.3	4.2	4.4	4.5	4.2	4.1	4.1	4.05
3	4.35	4.4	4.35	4.3	4.3	4.1	4.1	4.15
ค่าเฉลี่ย	4.33	4.33	4.38	4.42	4.27	4.10	4.10	4.13

ตารางที่ ก1.11 แสดงค่าซีไอดีหลังจากตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$  ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	2076.56	1914.96	1793.76	2076.56	2561.36	2642.16	2722.96	2763.36
2	2076.56	1955.36	1874.56	2036.16	2642.16	2722.96	2642.16	2682.56
3	2036.16	1995.76	1834.16	2116.96	2682.56	2642.16	2682.56	2682.56
ค่าเฉลี่ย	2063.09	1955.36	1834.16	2076.56	2628.69	2669.09	2682.56	2709.49
<b>pH = 7</b>								
1	1955.36	1874.56	1955.36	2116.96	2359.36	2601.76	2601.76	2642.16
2	1834.16	1874.56	1793.76	1955.36	2197.76	2682.56	2601.76	2682.56
3	1955.36	1874.56	1874.56	2036.16	2197.76	2520.96	2601.76	2682.56
ค่าเฉลี่ย	1914.96	1874.56	1874.56	2036.16	2251.63	2601.76	2601.76	2669.09
<b>pH = 8</b>								
1	2278.56	2682.56	2601.76	2278.56	2844.16	3126.96	3086.56	3005.76
2	2157.36	2520.96	2601.76	2238.16	2844.16	3005.76	3086.56	3086.56
3	2157.36	2520.96	2440.16	2318.96	2803.76	3167.36	3086.56	3046.16
ค่าเฉลี่ย	2197.76	2574.83	2547.89	2278.56	2830.69	3100.03	3086.56	3046.16
<b>pH = 9</b>								
1	2642.16	2844.16	2763.36	2682.56	2763.36	2924.96	2924.96	2844.16
2	2642.16	2763.36	2682.56	2844.16	2803.76	2924.96	2924.96	2844.16
3	2682.56	2844.16	2601.76	2682.56	2844.16	3005.76	3005.76	2884.56
ค่าเฉลี่ย	2655.63	2817.23	2682.56	2736.43	2803.76	2951.89	2951.89	2857.63
<b>pH = 10</b>								
1	2642.16	2601.76	2601.76	2561.36	2682.56	2844.16	2844.16	2763.36
2	2682.56	2763.36	2601.76	2520.96	2763.36	2844.16	2844.16	2884.56
3	2642.16	2601.76	2642.16	2682.56	2682.56	2844.16	2844.16	2803.76
ค่าเฉลี่ย	2655.63	2655.63	2615.23	2588.29	2709.49	2844.16	2844.16	2817.23

ตารางที่ ก.12 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำซัลไฟด์จากตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$  ที่ระดับ  
พีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	37.16	42.05	45.72	37.16	22.49	20.05	17.60	16.38
2	37.16	40.83	43.28	38.39	20.05	17.60	20.05	18.83
3	38.39	39.61	44.50	35.94	18.83	20.05	18.83	18.83
ค่าเฉลี่ย	37.57	40.83	44.50	37.16	20.46	19.23	18.83	18.01
<b>pH = 7</b>								
1	40.83	43.28	40.83	35.94	28.61	21.27	21.27	20.05
2	44.50	43.28	45.72	40.83	33.50	18.83	21.27	18.83
3	40.83	43.28	43.28	38.39	33.50	23.72	21.27	18.83
ค่าเฉลี่ย	42.05	43.28	43.28	38.39	31.87	21.27	21.27	19.23
<b>pH = 8</b>								
1	31.05	18.83	21.27	31.05	13.94	5.38	6.60	9.05
2	34.72	23.72	21.27	32.27	13.94	9.05	6.60	6.60
3	34.72	23.72	26.16	29.83	15.16	4.16	6.60	7.82
ค่าเฉลี่ย	33.50	22.09	22.90	31.05	14.34	6.19	6.60	7.82
<b>pH = 9</b>								
1	20.05	13.94	16.38	18.83	16.38	11.49	11.49	13.94
2	20.05	16.38	18.83	13.94	15.16	11.49	11.49	13.94
3	18.83	13.94	21.27	18.83	13.94	9.05	9.05	12.71
ค่าเฉลี่ย	19.64	14.75	18.83	17.20	15.16	10.68	10.68	13.53
<b>pH = 10</b>								
1	20.05	21.27	21.27	22.49	18.83	13.94	13.94	16.38
2	18.83	16.38	21.27	23.72	16.38	13.94	13.94	12.71
3	20.05	21.27	20.05	18.83	18.83	13.94	13.94	15.16
ค่าเฉลี่ย	19.64	19.64	20.86	21.68	18.01	13.94	13.94	14.75

## การตกตะกอนน้ำเสียตัวอย่างด้วย Lime

ตารางที่ ก.13 แสดงปริมาณ FAS ที่ใช้ในการโคแตรนหลังจากตกตะกอนด้วย Lime ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Lime (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	4.8	4.6	4.9	4.7	5.2	4.6	4.35	4.55
2	5	4.7	4.9	4.7	5.1	4.75	4.4	4.55
3	4.8	4.6	4.9	4.7	5.1	4.6	4.4	4.55
ค่าเฉลี่ย	4.87	4.63	4.90	4.70	5.13	4.65	4.38	4.55
<b>pH = 7</b>								
1	4.4	4.6	4.55	4.25	4.3	4.2	4.85	4.2
2	4.5	4.5	4.7	4.3	4.3	4.3	5.15	4.4
3	4.4	4.6	4.5	4.3	4.3	4.3	4.9	4.4
ค่าเฉลี่ย	4.43	4.57	4.58	4.28	4.30	4.27	4.97	4.33
<b>pH = 8</b>								
1	5.05	4.7	4.7	4.1	4.45	4.2	4.25	4.4
2	4.95	4.6	4.7	4.2	4.45	4.35	4.3	4.5
3	5	4.6	4.7	4.1	4.4	4.3	4.3	4.5
ค่าเฉลี่ย	5.00	4.63	4.70	4.13	4.43	4.28	4.28	4.47
<b>pH = 9</b>								
1	4.3	4.6	4.6	4.6	4.55	4.35	4.55	4.7
2	4.6	4.6	4.6	4.6	4.55	4.65	4.5	4.6
3	4.6	4.6	4.6	4.6	4.55	4.5	4.6	4.6
ค่าเฉลี่ย	4.50	4.60	4.60	4.60	4.55	4.50	4.55	4.63
<b>pH = 10</b>								
1	4.5	4.4	4.55	4.55	4.55	4.35	4.5	4.5
2	4.5	4.4	4.45	4.45	4.5	4.55	4.6	4.5
3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
ค่าเฉลี่ย	4.50	4.43	4.50	4.50	4.52	4.47	4.53	4.50



ตารางที่ ก1.14 แสดงค่าซีโอดีหลังจากตกตะกอนด้วย Lime ที่ระดับพีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Lime (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	2278.56	2440.16	2197.76	2359.36	1955.36	2440.16	2642.16	2480.56
2	2116.96	2359.36	2197.76	2359.36	2036.16	2318.96	2601.76	2480.56
3	2278.56	2440.16	2197.76	2359.36	2036.16	2440.16	2601.76	2480.56
ค่าเฉลี่ย	2224.69	2413.23	2197.76	2359.36	2009.23	2399.76	2615.23	2480.56
<b>pH = 7</b>								
1	2601.76	2440.16	2480.56	2722.96	2682.56	2763.36	2238.16	2763.36
2	2520.96	2520.96	2359.36	2682.56	2682.56	2682.56	1995.76	2601.76
3	2601.76	2440.16	2520.96	2682.56	2682.56	2682.56	2197.76	2601.76
ค่าเฉลี่ย	2574.83	2467.09	2453.63	2696.03	2682.56	2709.49	2143.89	2655.63
<b>pH = 8</b>								
1	2076.56	2359.36	2359.36	2844.16	2561.36	2763.36	2722.96	2601.76
2	2157.36	2440.16	2359.36	2763.36	2561.36	2642.16	2682.56	2520.96
3	2116.96	2440.16	2359.36	2844.16	2601.76	2682.56	2682.56	2520.96
ค่าเฉลี่ย	2116.96	2413.23	2359.36	2817.23	2574.83	2696.03	2696.03	2547.89
<b>pH = 9</b>								
1	2682.56	2440.16	2440.16	2440.16	2480.56	2642.16	2480.56	2359.36
2	2440.16	2440.16	2440.16	2440.16	2480.56	2399.76	2520.96	2440.16
3	2440.16	2440.16	2440.16	2440.16	2480.56	2520.96	2440.16	2440.16
ค่าเฉลี่ย	2520.96	2440.16	2440.16	2440.16	2480.56	2520.96	2480.56	2413.23
<b>pH = 10</b>								
1	2520.96	2601.76	2480.56	2480.56	2480.56	2642.16	2520.96	2520.96
2	2520.96	2601.76	2561.36	2561.36	2520.96	2480.56	2440.16	2520.96
3	2520.96	2520.96	2520.96	2520.96	2520.96	2520.96	2520.96	2520.96
ค่าเฉลี่ย	2520.96	2574.83	2520.96	2520.96	2507.49	2547.89	2494.03	2520.96

ตารางที่ ก.15 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีหลังจากตกตะกอนด้วย Lime ที่ระดับ  
พีเอช และความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Lime (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
<b>pH = 6</b>								
1	31.05	26.16	33.50	28.61	40.83	26.16	20.05	24.94
2	35.94	28.61	33.50	28.61	38.39	29.83	21.27	24.94
3	31.05	26.16	33.50	28.61	38.39	26.16	21.27	24.94
ค่าเฉลี่ย	32.68	26.98	33.50	28.61	39.20	27.38	20.86	24.94
<b>pH = 7</b>								
1	21.27	26.16	24.94	17.60	18.83	16.38	32.27	16.38
2	23.72	23.72	28.61	18.83	18.83	18.83	39.61	21.27
3	21.27	26.16	23.72	18.83	18.83	18.83	33.50	21.27
ค่าเฉลี่ย	22.09	25.35	25.75	18.42	18.83	18.01	35.13	19.64
<b>pH = 8</b>								
1	37.16	28.61	28.61	13.94	22.49	16.38	17.60	21.27
2	34.72	26.16	28.61	16.38	22.49	20.05	18.83	23.72
3	35.94	26.16	28.61	13.94	21.27	18.83	18.83	23.72
ค่าเฉลี่ย	35.94	26.98	28.61	14.75	22.09	18.42	18.42	22.90
<b>pH = 9</b>								
1	18.83	26.16	26.16	26.16	24.94	20.05	24.94	28.61
2	26.16	26.16	26.16	26.16	24.94	27.38	23.72	26.16
3	26.16	26.16	26.16	26.16	24.94	23.72	26.16	26.16
ค่าเฉลี่ย	23.72	26.16	26.16	26.16	24.94	23.72	24.94	26.98
<b>pH = 10</b>								
1	23.72	21.27	24.94	24.94	24.94	20.05	23.72	23.72
2	23.72	21.27	22.49	22.49	23.72	24.94	26.16	23.72
3	23.72	23.72	23.72	23.72	23.72	23.72	23.72	23.72
ค่าเฉลี่ย	23.72	22.09	23.72	23.72	24.12	22.90	24.53	23.72

การออกซิเดชันหลังจากการตกตะกอนด้วย PAC

การออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศ (Aeration)

ตารางที่ ก2.1 แสดงปริมาณ FAS ที่ใช้ในการวัดตรงหลังจากออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เวลา(ชม.)	0.5	1	2	3
ครั้งที่				
1	4.4	4.35	4.4	4.55
2	4.5	4.4	4.4	4.3
3	4.45	4.4	4.5	4.45
ค่าเฉลี่ย	4.45	4.38	4.43	4.43

ตารางที่ ก2.2 แสดงค่าซีไอดีหลังจากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เวลา(ชม.)	0.5	1	2	3
ครั้งที่				
1	1050.4	1090.8	1050.4	929.2
2	969.6	1050.4	1050.4	1131.2
3	1010	1050.4	969.6	1010
ค่าเฉลี่ย	1010	1063.9	1023.5	1023.5

ตารางที่ ก2.3 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา(ชม.)	0.5	1	2	3
ครั้งที่				
1	69.70	68.53	69.70	73.19
2	72.03	69.70	69.70	67.37
3	70.86	69.70	72.03	70.86
ค่าเฉลี่ย	71	69.3	70.5	70.5

ตารางที่ ก2.4 แสดงปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตหลังจากออกซิเดชันโดยการเติม Hydrogen Peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	4.5	5	4.5	4.4	4.3	3.4	3.4	2.6
2	4.6	5	4.3	4.45	4.3	3.5	3.4	2.6
3	4.6	5.05	4.5	4.4	4.3	3.5	3.4	2.7
ค่าเฉลี่ย	4.57	5.02	4.43	4.42	4.3	3.47	3.4	2.63

ตารางที่ ก2.5 แสดงค่าซีไอดีหลังจากการออกซิเดชันโดยการเติม Hydrogen Peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	969.6	565.6	969.6	1050.4	1131.2	1858.4	1858.4	2504.8
2	888.8	565.6	1131.2	1010	1131.2	1777.6	1858.4	2504.8
3	888.8	525.2	969.6	1050.4	1131.2	1777.6	1858.4	2424
ค่าเฉลี่ย	915.7	552.1	1023.5	1036.9	1131.2	1804.5	1858.4	2477.9

ตารางที่ ก2.6 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการออกซิเดชันโดยการเติม Hydrogen Peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	72.03	83.68	72.03	69.70	67.37	46.39	46.39	27.74
2	74.36	83.68	67.37	70.86	67.37	48.72	46.39	27.74
3	74.36	84.85	72.03	69.70	67.37	48.72	46.39	30.07
ค่าเฉลี่ย	73.58	84.07	70.47	70.09	67.4	47.94	46.4	28.52

ตารางที่ ก2.7 แสดงปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไตเตรตหลังจากออกซิเดชันโดยการเติม Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ NaOCl (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	4.2	4.4	4.6	4.9	5.2	4.35	4.4	4.6
2	4.3	4.4	4.4	4.9	5.3	4.25	4.3	4.4
3	4.2	4.4	4.4	5	5.25	4.3	4.3	4.55
ค่าเฉลี่ย	4.23	4.4	4.47	4.93	5.25	4.3	4.33	4.52

ตารางที่ ก2.8 แสดงค่าซีไอดีหลังการออกซิเดชันโดยการเติม Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ NaOCl (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	1212	1050.4	888.8	646.4	404	1090.8	1050.4	888.8
2	1131.2	1050.4	1050.4	646.4	323.2	1171.6	1131.2	1050.4
3	1212	1050.4	1050.4	565.6	363.6	1131.2	1131.2	929.2
ค่าเฉลี่ย	1185.1	1050.4	996.5	619.5	364	1131.2	1104.3	956.1

ตารางที่ ก2.9 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการออกซิเดชันโดยการเติม Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ NaOCl (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	65.03	69.70	74.36	81.35	88.34	68.53	69.70	74.36
2	67.37	69.70	69.70	81.35	90.68	66.20	67.37	69.70
3	65.03	69.70	69.70	83.68	89.51	67.37	67.37	73.19
ค่าเฉลี่ย	65.81	69.7	71.25	82.13	89.51	67.4	68.14	72.42

ตารางที่ ก2.10 แสดงปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไตเตรตจากออกซิเดชันโดยการเติม Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ $\text{KMnO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	4.55	4.6	4.6	4.8	4.8	4.2	4.35	4.85
2	4.3	4.7	4.7	4.8	4.95	4.25	4.3	4.8
3	4.45	4.6	4.8	4.6	4.8	4.2	4.4	4.75
ค่าเฉลี่ย	4.43	4.63	4.7	4.73	4.85	4.22	4.35	4.8

ตารางที่ ก2.11 แสดงค่าซีไอต์หลังการออกซิเดชันโดยการเติม Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ $\text{KMnO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	929.2	888.8	888.8	727.2	727.2	1212	1090.8	686.8
2	1131.2	808	808	727.2	606	1171.6	1131.2	727.2
3	1010	888.8	727.2	888.8	727.2	1212	1050.4	767.6
ค่าเฉลี่ย	1023.5	861.9	808	781.1	686.8	1198.5	1090.8	727.2

ตารางที่ ก2.12 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอต์โดยการออกซิเดชันโดยการเติม Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้นของ $\text{KMnO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
1	73.19	74.36	74.36	79.02	79.02	65.03	68.53	80.19
2	67.37	76.69	76.69	79.02	82.52	66.20	67.37	79.02
3	70.86	74.36	79.02	74.36	79.02	65.03	69.70	77.86
ค่าเฉลี่ย	70.47	75.14	76.7	77.47	80.19	65.42	68.53	79.0

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสีย ระหว่างวิธีการบำบัดค่าซีโอดีที่เริ่มต้นด้วยกระบวนการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยกระบวนการออกซิเดชัน กับวิธีการบำบัดค่าซีโอดีที่เริ่มต้นด้วยการออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน

ตารางที่ ก 3.1 แสดงปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยวิธีการตกตะกอนด้วย PAC และทำการออกซิเดชันด้วย NaOCl

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ใน การไตเตรต ( ml)	ค่าซีโอดี ( mg/L)	ประสิทธิภาพใน การบำบัดค่าซีโอดี (%)
1	7.0	646.4	80.44
2	7.2	484.8	85.33
3	7.2	484.8	85.33
ค่าเฉลี่ย	7.13	538.67	83.70

ตารางที่ ก 3.2 แสดงปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยวิธีการออกซิเดชันด้วย NaOCl และตกตะกอนด้วย PAC

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ใน การไตเตรต ( ml)	ค่าซีโอดี ( mg/L)	ประสิทธิภาพใน การบำบัดค่าซีโอดี (%)
1	6.7	888.8	73.10
2	6.8	808	75.55
3	6.7	888.8	73.10
ค่าเฉลี่ย	6.73	861.87	73.92

ตารางที่ ก 3.3 แสดงปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยวิธีการเติมอากาศ แล้วตกตะกอนด้วย PAC และทำการออกซิเดชันด้วย NaOCl

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ ในการไตเตรต ( ml)	ค่าซีโอดี ( mg/L)	ประสิทธิภาพใน การบำบัดค่าซีโอดี (%)
1	6.3	2092.7	63.32
2	6.4	2173.5	65.77
3	6.3	2092.7	63.32
ค่าเฉลี่ย	6.33	2119.63	64.14

ตารางที่ ก 3.4 แสดงปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรต ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี โดยวิธีการเติมอากาศ แล้วทำการออกซิเดชันด้วย NaOCl และตกตะกอนด้วย PAC

ครั้งที่	ปริมาตร FAS ที่ใช้ ในการไตเตรต ( ml)	ค่าซีโอดี ( mg/L)	ประสิทธิภาพใน การบำบัดค่าซีโอดี (%)
1	6.3	2092.7	63.32
2	6.35	2133.1	64.55
3	6.4	2173.5	65.77
ค่าเฉลี่ย	6.35	2133.1	64.55



## ภาคผนวก ข

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ของ ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม (แสมดำ)

ตารางที่ ข1.1 แสดงการจัดเก็บปริมาณของเสียที่เข้าสู่ศูนย์ฯ แสมดำ ประจำเดือนธันวาคม 2540

ประเภทของเสีย	ปริมาณ (ตัน)
ชุบโลหะ	3,200.55
ฟอกย้อม	603.35
กากไฮดรอกไซด์	1,090.41
อื่น ๆ	
- เข้าสู่ประเภทชุบโลหะ	739.15
- เข้าสู่ประเภทฟอกย้อม	1,138.91
- กากอื่น ๆ	806.32
- สารเคมีเสื่อมสภาพ	403.94
รวม	7,982.63

ตารางที่ ข1.2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำชุบโลหะและน้ำฟอกย้อมที่เข้าสู่ศูนย์ฯแสมดำและที่เข้าสู่ระบบบำบัด ประจำเดือนธันวาคม 2540

ข้อมูล	น้ำชุบโลหะ (ตัน)	น้ำฟอกย้อม(ตัน)
ปริมาณที่เข้าสู่ศูนย์ฯแสมดำ	4,343	1,742
ปริมาณที่เข้าสู่ระบบบำบัด	4,120	1,978

## วิธีการบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อมของศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ

การบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อมของศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ จะใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี โดยใช้  $\text{Ca(OH)}_2$  เป็นตัวช่วยตกตะกอนในบ่อบำบัด หลังจากที่มีน้ำเสียประเภทฟอกย้อมได้ผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้ว จะถูกขนถ่ายเข้าสู่บ่อพักเพื่อทำการเติมอากาศให้กับน้ำที่ได้ผ่านการบำบัด ก่อนที่จะทำการปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมต่อไป

## การคำนวณค่าการบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อมของศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ

ในการคำนวณปริมาณของกากของเสียที่ควรเกิดขึ้นจริงในการบำบัด จะสามารถคำนวณได้จาก 3% ของน้ำหนักของน้ำเสียทั้งหมดที่เข้าสู่การบำบัด ซึ่งจะได้ปริมาณของกากของเสียที่เกิดขึ้นกับปริมาณกากของเสียที่เกิดขึ้นจริง

ในการบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อม น้ำเสียจะถูกขนส่งไปบำบัดที่ศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ โดยค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อมมีอัตราดังนี้

ค่าบำบัดกากตะกอนที่ศูนย์กำจัดกากแสมดำ	105	บาท/ตัน
ค่าขนส่งกาก		
- คิดได้จากอัตรา 2.75 X ระยะทางการขนส่ง		บาท/ตัน/กม.
ค่าสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด	30	บาท/ตัน
ค่าฝังกากของเสีย		
- คิดได้จากอัตรา 3 % ขององค์ประกอบกากในน้ำเสีย X 874		
ค่าที่คำนวณได้จะมีค่าประมาณ	26.22	บาท/ตัน
ค่าขนส่งจากศูนย์กำจัดกากแสมดำไปราชบุรี		
- คิดได้จากอัตรา 3 % ขององค์ประกอบกากในน้ำเสีย X 288		
ค่าที่คำนวณได้จะมีค่าประมาณ	6.84	บาท/ตัน

ในกรณีของค่าขนส่งกากตะกอนนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางจากโรงงานอุตสาหกรรมกับศูนย์กำจัดกากแสมดำ ซึ่งในการคิดระยะทางรวมจะคิดระยะทางทั้งขาไปและขากลับ

$$\begin{aligned} \text{ค่าบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อม} &= \text{ค่าบำบัดกากตะกอนที่ศูนย์กำจัดกาก} \\ &\text{แสมดำ} + \text{ค่าขนส่งกาก} + \text{ค่าขนถ่าย} \\ &\text{กากเข้าสู่ระบบบำบัด} + \text{ค่าขนส่ง} \\ &\text{กากจากศูนย์กำจัดกากแสมดำไป} \\ &\text{ราชบุรี} + \text{ค่าฝังกลบกากของเสีย} \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมุติปริมาณของกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียประเภทฟอกย้อมปริมาตร 100 ตัน และระยะทางระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมกับศูนย์กำจัดตะกอนแสมดำ มีระยะทางประมาณ 150 กิโลเมตร ดังนั้นรวมระยะทางทั้งไปและกลับเท่ากับ 300 กิโลเมตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณกากที่เกิดขึ้น} &= (100 \times 3)/100 \\ &= 3 \quad \text{ตัน} \\ \text{ค่าบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อม} &= (105 \times 3) + (30 \times 100) + (2.75 \times \\ &3 \times 150) + (26.22 \times 3) + (6.84 \times \\ &3) \\ &= 315 + 3,000 + 1,237.5 + 78.66 + \\ &20.52 \\ &= 4,651.68 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียแก่โรงงานอุตสาหกรรมถึงหอ โดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน

การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ในการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมถึงหอโดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน สารเคมีที่ใช้ได้แก่ กรดซัลฟูริก PAC และ NaOCI ซึ่งราคาของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด มีค่าดังนี้

กรดซัลฟูริก	ราคา	6.28	บาท/กิโลกรัม
PAC	ราคา	20	บาท/กิโลกรัม
NaOCl	ราคา	6.5	บาท/กิโลกรัม

(หมายเหตุ ที่มาของราคาสารเคมี บริษัท Sigma Scientific จำกัด)

ในการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทำการปรับระดับพีเอชก่อนการตกตะกอน ด้วย กรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร ปริมาตร 134 มิลลิลิตรในการปรับระดับพีเอชให้เท่ากับ 6 คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.029 บาท/น้ำเสีย 200 มิลลิลิตร การตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล. คิดเป็นค่าใช้จ่าย 0.008 บาท/น้ำเสีย 200 มิลลิลิตร และการออกซิไดซ์หลังการตกตะกอนด้วย NaOCl 1,000 มก./ล. คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0.013 บาท/น้ำเสีย 200 มิลลิลิตร

ดังนั้นในการบำบัดค่าซีไอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน จะมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่าซีไอดี} &= \text{ค่ากรดซัลฟูริกที่ใช้ในการปรับพีเอช} + \\
 &\quad \text{ค่า PAC ในการตกตะกอน} + \text{ค่า NaOCl} \\
 &\quad \text{ในการออกซิไดซ์} \\
 &= 0.029 + 0.008 + 0.013 \\
 &= 0.05 \quad \text{บาท/น้ำเสีย 200 มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

เมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่าซีไอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยวิธีออกซิเดชัน และการตกตะกอน ต่อน้ำเสียปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรแล้ว ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการบำบัดค่าซีไอดี จะมีค่าเท่ากับ 250 บาท/น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก  
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ก.1.1 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการตกตะกอนด้วย PAC

ความเข้มข้นของ PAC (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	<sup>a</sup> 73.43 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 76.69 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 88.10 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 94.62 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 78.32 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 82.40 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 79.95 <sup>a</sup>
PH = 7	<sup>b</sup> 84.84 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 84.03 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 82.40 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 65.28 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 66.10 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 62.84 <sup>a</sup>
PH = 8	<sup>a</sup> 67.73 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 57.95 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 62.02 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 66.91 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 62.84 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 69.36 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 73.43 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 66.10 <sup>a</sup>
PH = 9	<sup>a</sup> 57.13 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 57.95 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 62.84 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 64.47 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 66.10 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 57.95 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 62.02 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 57.13 <sup>a</sup>
PH = 10	<sup>a</sup> 62.84 <sup>a</sup>	<sup>d</sup> 69.36 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 67.73 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 71.80 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 70.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 67.73 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 65.28 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 65.28 <sup>a</sup>

ตารางที่ ก.1.2 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการตกตะกอนด้วย Alum

ความเข้มข้นของ Alum (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	<sup>a</sup> 70.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 75.88 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 76.69 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 72.62 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 75.88 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 70.99 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 69.36 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 66.91 <sup>a</sup>
PH = 7	<sup>a</sup> 73.43 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 75.88 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 77.51 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 74.25 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 75.06 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 73.43 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 77.51 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 75.88 <sup>a</sup>
PH = 8	<sup>a</sup> 76.69 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 78.32 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 77.91 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 75.06 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 83.04 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 81.17 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 82.40 <sup>a</sup>
PH = 9	<sup>b</sup> 84.03 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 84.03 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 82.40 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 80.77 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 84.84 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 81.58 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 84.03 <sup>a</sup>
PH = 10	<sup>a</sup> 76.69 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 85.66 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 86.06 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 85.25 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 83.21 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 82.40 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 86.47 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ด้านหน้า ที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (  $P < 0.05$  )

ตัวยก (superscript) ด้านหลัง ที่แตกต่างกัน แสดงค่าเฉลี่ยในแถว ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (  $P < 0.05$  )

ตารางที่ ก1.3 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการตกตะกอนด้วย  $\text{FeSO}_4$

ความเข้มข้นของ $\text{FeSO}_4$ (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	<sup>c</sup> 37.57 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 40.38 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 44.50 <sup>a</sup>	<sup>d</sup> 37.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 20.46 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 19.23 <sup>b</sup>	<sup>d</sup> 18.83 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 18.01 <sup>b</sup>
PH = 7	<sup>c</sup> 42.05 <sup>e</sup>	<sup>c</sup> 43.28 <sup>e</sup>	<sup>b</sup> 43.28 <sup>e</sup>	<sup>d</sup> 38.39 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 31.87 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 21.27 <sup>a</sup>	<sup>e</sup> 21.27 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 19.23 <sup>a</sup>
PH = 8	<sup>b</sup> 33.50 <sup>d</sup>	<sup>b</sup> 22.09 <sup>c</sup>	<sup>a</sup> 22.90 <sup>c</sup>	<sup>c</sup> 31.05 <sup>d</sup>	<sup>a</sup> 14.34 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 6.19 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 6.60 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 7.82 <sup>a</sup>
PH = 9	<sup>a</sup> 19.64 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 14.75 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 18.83 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 17.20 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 15.16 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 10.68 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 10.68 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 13.53 <sup>a</sup>
PH = 10	<sup>a</sup> 19.64 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 19.64 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 20.86 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 21.68 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 18.01 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 13.94 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 13.94 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 14.75 <sup>a</sup>

ตารางที่ ก1.4 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการตกตะกอนด้วย Lime

ความเข้มข้นของ Lime (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
PH = 6	<sup>b</sup> 32.68 <sup>c</sup>	<sup>b</sup> 26.98 <sup>b</sup>	<sup>c</sup> 33.50 <sup>c</sup>	<sup>e</sup> 28.61 <sup>b</sup>	<sup>d</sup> 39.20 <sup>d</sup>	<sup>b</sup> 27.38 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 20.86 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 24.94 <sup>b</sup>
PH = 7	<sup>a</sup> 22.09 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 25.35 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 25.75 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 18.42 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 18.83 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 18.01 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 35.13 <sup>c</sup>	<sup>a</sup> 19.64 <sup>a</sup>
PH = 8	<sup>b</sup> 35.94 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 26.98 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 28.61 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 14.75 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 22.09 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 18.42 <sup>b</sup>	<sup>a</sup> 18.42 <sup>b</sup>	<sup>b</sup> 22.90 <sup>b</sup>
PH = 9	<sup>a</sup> 23.72 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 26.16 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 26.16 <sup>a</sup>	<sup>d</sup> 26.16 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 24.94 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 23.72 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 24.94 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 26.98 <sup>a</sup>
PH = 10	<sup>a</sup> 23.72 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 22.09 <sup>a</sup>	<sup>a</sup> 23.72 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 23.72 <sup>a</sup>	<sup>c</sup> 24.12 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 22.90 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 24.53 <sup>a</sup>	<sup>b</sup> 23.72 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ด้านหน้า ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (  $P < 0.05$  )

ตัวยก (superscript) ด้านหลัง ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในแถว ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (  $P < 0.05$  )

ตารางที่ ค1.5 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา ( ชม.)	0.5	1	2	3
ประสิทธิภาพในการ บำบัดค่าซีโอดี (%)	71 <sup>a</sup>	69.3 <sup>a</sup>	70.5 <sup>a</sup>	70.5 <sup>a</sup>

ตารางที่ ค1.6 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากการออกซิเดชันด้วย Hydrogen Peroxide ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี (%)	73.58 <sup>a</sup>	84.07 <sup>b</sup>	70.47 <sup>c</sup>	70.09 <sup>c</sup>	67.4 <sup>c</sup>	47.94 <sup>d</sup>	46.4 <sup>d</sup>	28.52 <sup>e</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในแถวและในคอลัมน์ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( P < 0.05)

ตารางที่ ค1.7 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากการออกซิเดชันด้วย Sodium hypochlorite ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ NaOCl (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี (%)	65.81 <sup>a</sup>	69.7 <sup>a</sup>	71.25 <sup>a</sup>	82.13 <sup>b</sup>	89.51 <sup>c</sup>	67.4 <sup>a</sup>	68.14 <sup>a</sup>	72.42 <sup>a</sup>

ตารางที่ ค1.8 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีหลังจากการออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ KmnO <sub>4</sub> (mg/L)	100	200	250	500	1000	2000	2500	5000
ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี (%)	70.47 <sup>a</sup>	75.14 <sup>a</sup>	76.7 <sup>a</sup>	77.47 <sup>a</sup>	80.19 <sup>b</sup>	65.42 <sup>a</sup>	68.53 <sup>a</sup>	79.0 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในแถวและในคอลัมน์ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (  $P < 0.05$  )

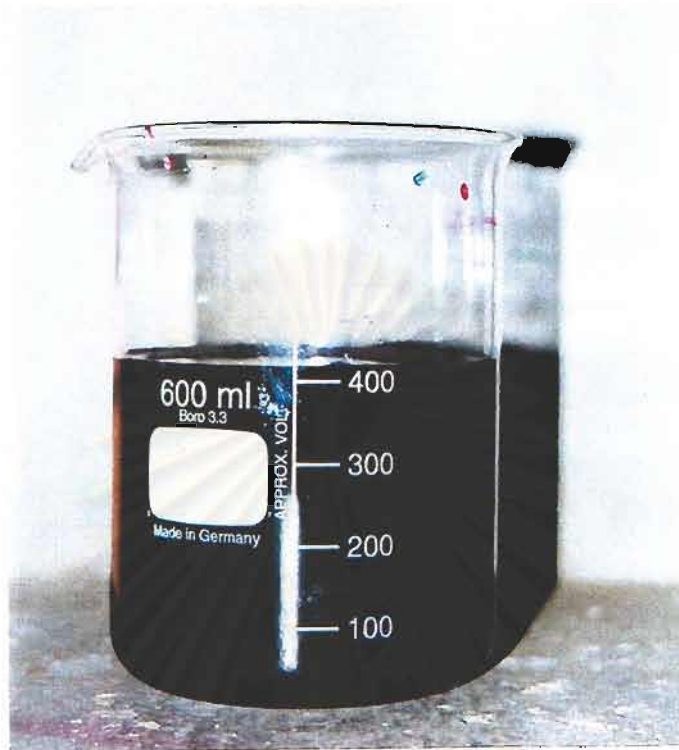


ตารางที่ ค1.9 แสดงค่า COD และประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD โดยการบำบัดด้วยการตกตะกอนก่อนแล้วตามด้วยการออกซิเดชัน กับ การบำบัดค่า COD ด้วยการออกซิเดชันก่อนแล้วตามด้วยการตกตะกอน

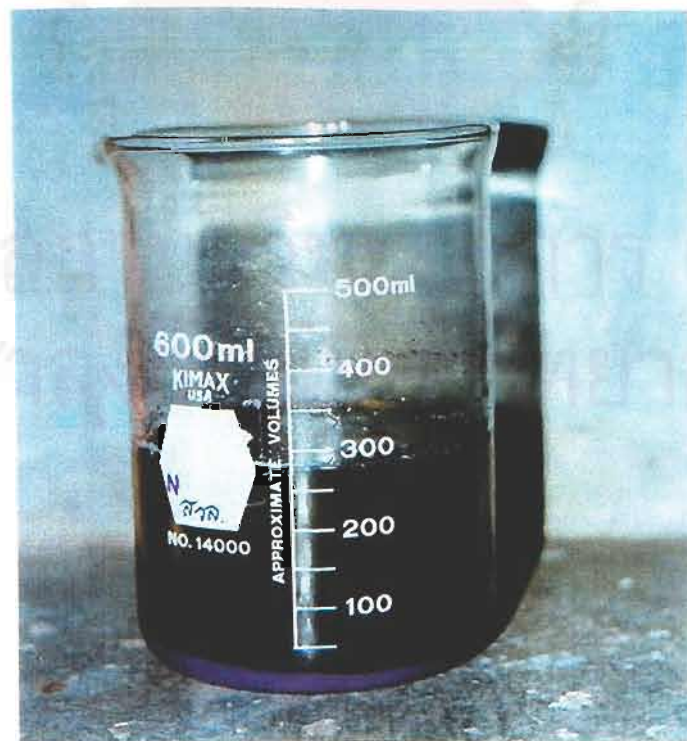
วิธีการบำบัดค่า COD	ค่า COD หลังการบำบัด (mg/L)	ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD (%)
1. การตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล. แล้วออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 มก./ล.	538.67 <sup>a</sup>	83.7 <sup>a</sup>
2. การออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 มก./ล. แล้วตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล.	861.87 <sup>b</sup>	73.92 <sup>b</sup>
3. การเติมอากาศแล้วตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล. แล้วออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 มก./ล.	2119.63 <sup>c</sup>	64.14 <sup>c</sup>
4. การเติมอากาศแล้วออกซิเดชันด้วย NaOCl 1,000 มก./ล. แล้วตกตะกอนด้วย PAC 1,000 มก./ล.	2133.1 <sup>c</sup>	64.55 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : ตัวยก (superscript) ที่แตกต่าง แสดงค่าเฉลี่ยในแถวและในคอลัมน์ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (  $P < 0.05$  )

## ภาคผนวก ง



รูปที่ 1 แสดงลักษณะน้ำเสียตัวอย่างก่อนทำการบำบัด



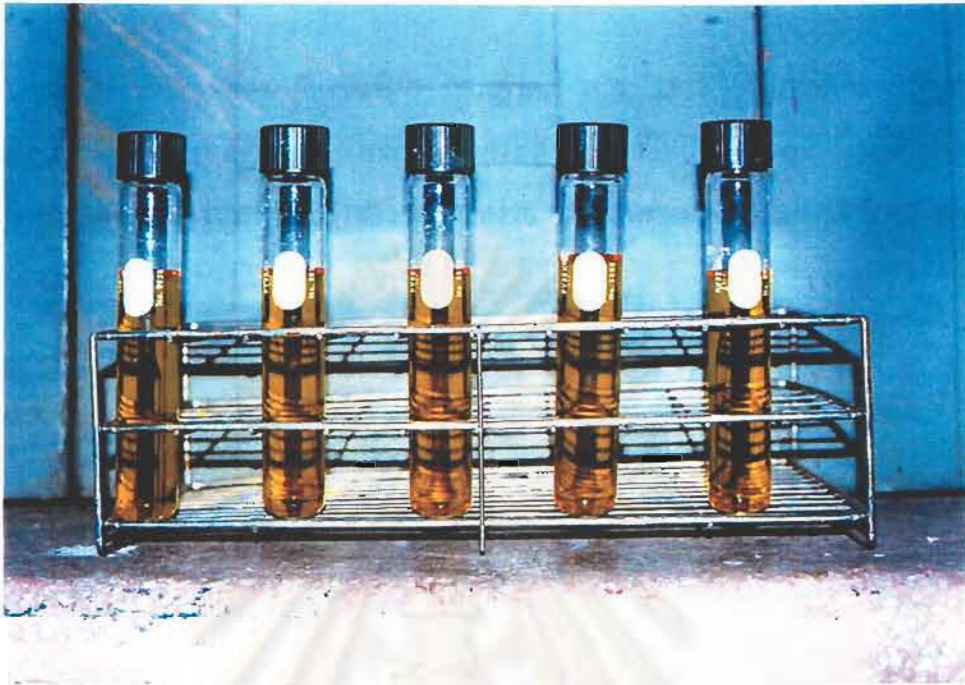
รูปที่ 2 แสดงลักษณะน้ำเสียตัวอย่างที่ทำการตกตะกอน



รูปที่ 3 แสดงลักษณะน้ำเสียตัวอย่างที่ได้หลังจากการบำบัดด้วยวิธีออกซิเดชั่นและการตกตะกอน



รูปที่ 4 เปรียบเทียบลักษณะของน้ำเสียตัวอย่างก่อนการบำบัดและหลังจากทำการบำบัด



รูปที่ 5 แสดงวิธีวิเคราะห์ค่าซีโอดีแบบปิด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียน

นายธีรวิทย์ จันทร์ชนะ เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2517 จบการศึกษาปริญญาตรี  
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา  
2538 และเข้าศึกษาต่อในสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ในปีการศึกษา 2539



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย