


การบำบัดค่าซีไอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชัน



นางสาวเน่งน้อย วิจิตรจรรยากุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-525-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF COD IN WASTEWATER FROM TANNERY INDUSTRY BY
COAGULATION AND OXIDATION

Miss Nangnoi Vijitjunyakool



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Inter-Departmental Program in Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-525-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดค่าซีไอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธี
ตกตะกอนและออกซิเดชัน

โดย

นางสาวเน่งน้อย วิจิตรจรรยากุล

สาขาวิชา

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนาผลไพฑูริย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

แน่งน้อย วิจิตรจรยากุล : การบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชัน . (REDUCTION OF COD IN WASTEWATER FROM TANNERY INDUSTRY BY COAGULATION AND OXIDATION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สมใจ เพ็งปรีชา , 103 หน้า. ISBN 974-346-525-1.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชัน. การทดลองทำโดยใช้ตัวช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต และตัวออกซิไดซ์ 4 ชนิด ได้แก่ อากาศ, โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต, โซเดียมไฮโปคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมจะใช้วิธีทดสอบของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัยพบว่า อลูมิเนียมซัลเฟตเป็นตัวช่วยตกตะกอนที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับในรูปแบบของผลการบำบัดค่าซีโอดีและค่าใช้จ่ายในการบำบัด ใช้อลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี 30.87 % โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี 51.37 %

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

4072293523 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: TANNERY / COD / COAGULATION / OXIDATION / TANNERY WASTEWATER

NANGNOI VIJITJUNYAKOOL : REDUCTION OF COD IN WASTEWATER FROM TANNERY INDUSTRY BY COAGULATION AND OXIDATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., 103 pp. ISBN 974-346-525-1.

This research aims to study the reduction of COD in wastewater from tannery industry by coagulation and oxidation. The experiments were carried out by using 3 coagulants such as aluminium sulfate, polyaluminium chloride and ferrous sulfate and 4 oxidants such as air, potassium permanganate, sodium hypochlorite and hydrogen peroxide. The appropriate condition was used according to the Duncan's new multiple range test at 0.05.

The results showed that aluminium sulfate was the best coagulant in term of efficiency and cost effective. Aluminium sulfate was used at concentration of 200 milligram per liter, pH 7, the COD reduction efficiency at 30.87%. Potassium permanganate was the best oxidant at the concentration of 600 milligram per liter and the COD reduction efficiency at 51.37%.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Science.....

Field of study Environmental Science.....

Academic year 2000.....

Student's signature

Advisor's signature

Co-advisor's signature -.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในการแนะแนวทาง ให้คำปรึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาสนับสนุนการดำเนินการวิจัย อำนวยความสะดวกและจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจต้นฉบับงานเขียนจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสาขาวิทยาศาสตร์ภาวะแวดล้อม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณมูลนิธิชิน โสภณพนิช ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งในการศึกษาและการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณสมาคมพอกหนังและคุณวิไล โกศลตระกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำ

ขอขอบคุณคุณปริษาภรณ์ กลิ่นมะลิ ฝ่ายสิ่งแวดล้อม การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องๆทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลืองานวิจัย

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่และน้อง ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกๆด้านมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	34
บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง แยกตามขั้นตอนใหญ่และลักษณะน้ำเสียรวม.....	20
ตารางที่ 2 แสดงชนิดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต วิธีการกำจัดและวิธีการนำไปใช้ประโยชน์.....	22
ตารางที่ 3 แสดงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธี Pretreatment , Primary Treatment และ Biological Treatment.....	28
ตารางที่ 4 แสดงผลการตกตะกอนขั้นต้นของตัวอย่างน้ำด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆ....	36
ตารางที่ 5 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังตกตะกอนด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	38
ตารางที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)หลังการตกตะกอนด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	38
ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการตกตะกอนด้วยสารเคมีที่พีเอชต่างๆ.....	39
ตารางที่ 8 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังตกตะกอนด้วยสารเคมีต่างๆที่พีเอช = 7 ที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	46
ตารางที่ 9 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)หลังการตกตะกอนด้วยสารเคมีต่างๆที่พีเอช = 7 ที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	47
ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการตกตะกอนด้วยสารเคมีต่างๆที่พีเอช = 7 โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้น.....	48
ตารางที่ 11 แสดงค่าใช้จ่ายรวมเปรียบเทียบระหว่างการบำบัดโดยใช้ Alum และ PAC.....	59
ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำหลังทำการออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	60
ตารางที่ 13 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีโอดีหลังออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	61
ตารางที่ 14 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการทำออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่พีเอชต่างๆหลังจากตกตะกอนด้วย Alum 200ppm.....	62
ตารางที่ 16 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีโอดีหลังออกซิเดชันโดยการเติมอากาศที่พีเอชต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจำนวน 3 ชั่วโมง.....	65
ตารางที่ 17 แสดงค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และ %ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีหลังการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศที่พีเอชต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจำนวน 3 ชั่วโมง.....	65
ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศที่พีเอชต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm.....	67
ตารางที่ 19 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีโอดีหลังออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	70
ตารางที่ 20 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการทำออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	71
ตารางที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการออกซิเดชันด้วยสารเคมีต่างๆ โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้น.....	72
ตารางที่ 22 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีโอดีหลังออกซิเดชันโดยการเติมอากาศที่เวลาต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง.....	74
ตารางที่ 23 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และ %ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีหลังการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศที่เวลาต่างๆ จำนวน 3 ชั่วโมง.....	77
ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในเวลาที่แตกต่างกัน.....	77
ตารางที่ 25 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นและค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วยสารเคมีต่างๆและการเติมอากาศเป็นเวลา 30 นาที...	80

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 1 แสดงศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณผิวและศักย์ไฟฟ้าตามระยะทางที่ห่างจากผิว.....	5
รูปที่ 2 แสดงแรงดึงดูดและแรงผลักที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาค.....	5
รูปที่ 3 แสดงผลของการเติมอ็อกซีเจนที่มีประจุตรงข้าม (ก) ก่อนเติมอ็อกซีเจน (ข) หลังเติมอ็อกซีเจน.	7
รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนต่างๆในกระบวนการฟอกหนัง.....	18
รูปที่ 5 แสดงลักษณะของเสียที่เป็นกรดและด่างและของเสียที่เป็นของแข็งและของเหลว จากขั้นตอนการผลิตต่างๆ.....	21
รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการผลิต น้ำเสียและของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต.....	23
รูปที่ 7 แสดงการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางและตำแหน่งน้ำทิ้งและของเสียออกจาก ระบบ.....	34
รูปที่ 8 แสดงลักษณะของตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	37
รูปที่ 9 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำเสียจากการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆเทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน (RW).....	37
รูปที่ 10 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่ พีเอชต่างๆ เทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน (RW).....	42
รูปที่ 11 แสดงลักษณะการรวมตัวของอนุภาคเกิดเป็น Floc จากการใส่สารส้มและกวนช้าที่ 20 rpm.....	42
รูปที่ 12 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย Ferrous sulfate ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆ เทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน (RW).....	43
รูปที่ 13 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้นต่างๆที่สภาวะ พีเอช = 7.....	43
รูปที่ 14 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะ พีเอช = 7.....	51
รูปที่ 15 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย Ferrous sulfate ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช = 7.....	51
รูปที่ 16 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มความ เข้มข้น 200 และ 400 ppm.	52
รูปที่ 17 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วย PAC ความ เข้มข้น 200 และ 400 ppm.	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 18 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 600 และ 800 ppm.	54
รูปที่ 19 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 600 และ 800 ppm.	55
รูปที่ 20 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 1,000 และ 1,200 ppm.	56
รูปที่ 21 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 1,000 และ 1,200 ppm.	57
รูปที่ 22 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย $KMnO_4$ ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ	66
รูปที่ 23 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย $NaOCl$ ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ.....	66
รูปที่ 24 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย H_2O_2 ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ.....	68
รูปที่ 25 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่พีเอชต่างๆ.....	68
รูปที่ 26 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย $KMnO_4$ ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช = 6.....	75
รูปที่ 27 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย $NaOCl$ ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช = 6.....	75
รูปที่ 28 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย H_2O_2 ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช = 8.....	76
รูปที่ 29 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชัน โดยการ Aeration ในเวลาแตกต่างกัน.	76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Alum	หมายถึง	สารส้ม หรือ Aluminium sulfate
PAC	หมายถึง	Polyaluminium chloride
FeSO ₄ · 7H ₂ O	หมายถึง	Ferrous sulfate
Floc	หมายถึง	ตะกอนจากการรวมตัวของอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำในระหว่างขั้นตอนการตกตะกอน
KMnO ₄	หมายถึง	Potassium permanganate
NaOCl	หมายถึง	Sodium hypochlorite
H ₂ O ₂	หมายถึง	Hydrogen peroxide
ppm.	หมายถึง	ส่วนในล้านส่วน หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ mg/l
ซีโอดี	หมายถึง	Chemical Oxygen Demand หรือ COD หรือปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในทางเคมี
บีโอดี	หมายถึง	Biochemical Oxygen Demand หรือ BOD หรือปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการสลายสารอินทรีย์ในทางชีวภาพ
SS	หมายถึง	ของแข็งแขวนลอย
Cr	หมายถึง	Chromium หรือ โครเมียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ดำเนินการเกี่ยวกับการฟอกหนังอยู่เป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังอยู่ประมาณ 130 แห่ง ส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ในปริมณฑลรอบกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะ จังหวัดสมุทรปราการ บริเวณถนนสุขุมวิท กม.30 และ กม.34 ทำการผลิตหนังฟอกรวมกันประมาณปีละ 50,000 ตันหรือประมาณ 24 ล้านตารางฟุตต่อเดือน (จรินทร์ เจริญศรี วัฒนกุล , 2539) โดยหนังสัตว์ที่ใช้ฟอกประมาณร้อยละ 90 เป็นหนังโคและกระบือ หนังฟอกที่ผ่านกระบวนการฟอกด้วยสารเคมีและมีการนำมาข้อมสี เพื่อให้สวยงามและทนทานจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์ชั้นกลาง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องหนังและเฟอร์นิเจอร์ หนังฟอกที่ได้จะทำการจำหน่ายในประเทศร้อยละ 50 ของการผลิต และอีกร้อยละ 50 จะส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ ซึ่งมีแหล่งตลาดที่สำคัญ ได้แก่ ฮองกง อเมริกา ไต้หวัน เยอรมัน

อุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำและเคมีภัณฑ์เป็นจำนวนมากในการผลิต นอกเหนือจากการใช้หนังสัตว์เป็นวัตถุดิบ ซึ่งผลที่ตามมาจากการผลิตนี้ ก็มลพิษในด้านต่างๆ เช่น น้ำเสีย อากาศเสีย และจากการผลิตหนังฟอกต่อปีในปริมาณสูงทำให้มลพิษที่ปล่อยออกมามีปริมาณสูงมากด้วย โดยเฉพาะในกรณีน้ำเสีย ซึ่งอยู่ในรูปน้ำทิ้ง จะประกอบด้วยสารเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในปริมาณสูง ปธาน บรรจงปฐุ (2536) พบว่า อุตสาหกรรมฟอกหนังของประเทศไทยในปัจจุบันมีการถ่ายเทน้ำเสียต่อปีเท่ากับ 2.73 ล้านลูกบาศก์เมตร น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะมีค่าบีโอดีและซีโอดีค่อนข้างสูง คือ 1,000 - 4,200 mg/l และ 2,500 - 8,100 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งมาก

หลักการโดยทั่วไปของการจัดการ เพื่อควบคุมให้มีการปลดปล่อยมลพิษเข้าสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ การควบคุมที่แหล่งกำเนิด และการบำบัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการควบคุมที่แหล่งกำเนิด เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิต ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบการรั่วไหลของสารเคมี การนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ ฯลฯ จะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการบำบัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในอุตสาหกรรมฟอกหนังการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธีการทิ้งให้ตกตะกอน (Sedimentation) , กระบวนการตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) , บ่อฝังศพ , บ่อเติมอากาศ หรือวิธีการออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) แต่ในปัจจุบันจากการศึกษาของสถาบัน

สิ่งแวดล้อมไทยพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียประเภทกระบวนการตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และระบบบำบัดน้ำเสียรวมของกลุ่ม กม. 34 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียประเภทบ่อฝั่ผสมและบ่อเติมอากาศ (Stabilization and Aerated Lagoon) และข้อมูลจากสำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540) พบว่ากลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม.30 จะเสียค่าใช้จ่ายสำหรับบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 900,000 บาท/เดือน แม้ว่าอุตสาหกรรมฟอกหนังทั้ง 2 กลุ่มจะมีระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว แต่จากการที่ปริมาณการผลิตมีแนวโน้มสูงขึ้น อาจทำให้ในอนาคตระบบบำบัดที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้น จึงควรมีการดำเนินการหาแนวทางในการปรับปรุงระบบที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการรองรับปริมาณน้ำเสียในอนาคต

แนวทางหนึ่งซึ่งน่าสนใจและอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง คือ การบำบัดโดยกระบวนการออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน การตกตะกอนนั้นสามารถลดได้ทั้งสารแขวนลอยและคอลลอยด์ ส่วนการออกซิเดชันสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้มลสารประเภทที่มีพิษมากถูกเปลี่ยนไปเป็นมลสารประเภทที่มีพิษน้อย ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียโดยใช้วิธีการออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนและเลือกค่าซีโอดีเป็นพารามิเตอร์บอกว่าวิธีการทั้งสองนี้จะสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นได้มากน้อยเพียงใด โดยศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในเรื่องความเป็นกรด-ด่างและปริมาณสารเคมีที่ใช้ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่จะเกิดขึ้นด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยกระบวนการออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน
2. เพื่อศึกษาความสามารถของตัวช่วยตกตะกอน และตัวออกซิไดซ์ที่ระดับพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดี

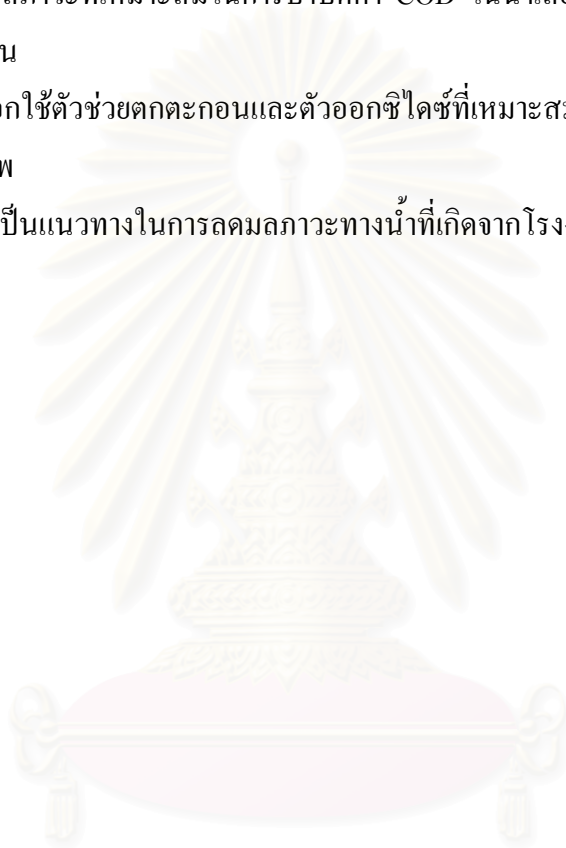
ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ คือ น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียรวมของสมาคมฟอกหนังบริเวณถนนสุขุมวิท กม. 30
2. จุดเก็บตัวอย่าง คือ น้ำเสียจาก Outlet fine screen
3. ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ คือ Aluminium sulfate , Ferrous sulfate และ Polyaluminium chloride

4. ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ คือ อากาศ , Hydrogen peroxide , Sodium hypochlorite และ Potassium permanganate

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่า COD ในน้ำเสียของตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์ที่ต่างชนิดกัน
2. สามารถเลือกใช้ตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม ในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดมลภาวะทางน้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การตกตะกอน (Coagulation)

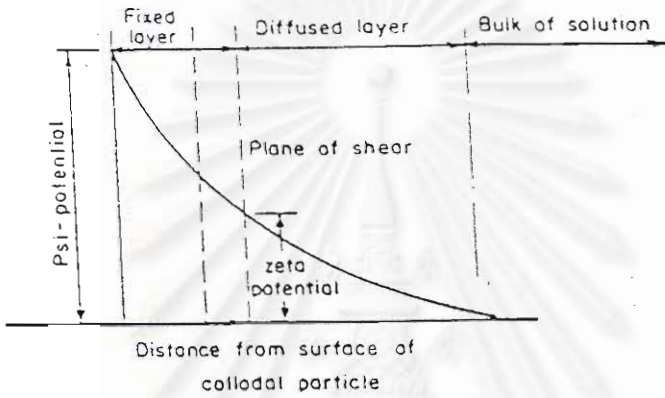
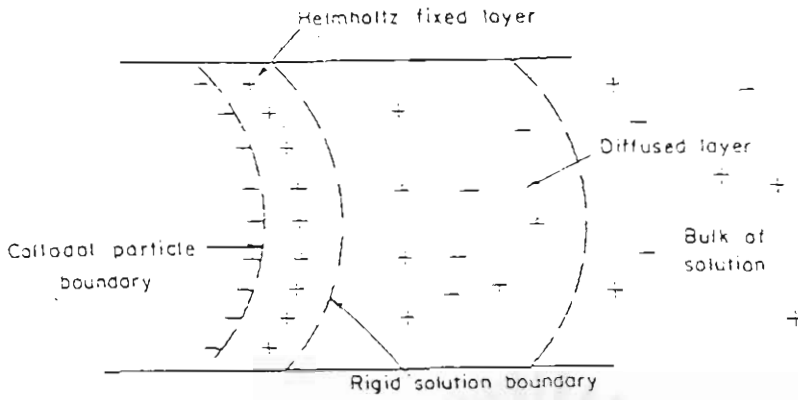
การตกตะกอน เป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดของเสียที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย และคอลลอยด์ คอลลอยด์จะเป็นอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง $10^{-3} - 10^{-6}$ มม. (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ , 2538) เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในเวลาจำกัด การที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานโดยไม่ตกตะกอน จึงเรียกได้ว่าเป็นคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง คอลลอยด์สามารถจำแนกได้ตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและสารตัวกลางเป็น 2 ชนิด (Eckenfelder , 1989) คือ พวกที่แรงยึดเหนี่ยวมีกำลังแรง เช่น โพรตีน สบู่ ผงซักฟอก และพวกที่แรงยึดเหนี่ยวมีกำลังอ่อน เช่น ดินเหนียว (ถ้าสารตัวกลางเป็นน้ำจะเรียก Hydrophilic และ Hydrophobic ตามลำดับ) นอกจากนี้ คอลลอยด์ยังมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์อธิบายได้โดย Electric Double Layer Theory ซึ่งบอกถึงว่า อนุภาคคอลลอยด์จะมีประจุไฟฟ้า 2 ชั้นล้อมรอบ คือ

1. ชั้นตรึง (Fixed layer) ประกอบด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามที่เกาะติดอยู่บนผิวของอนุภาคกับประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

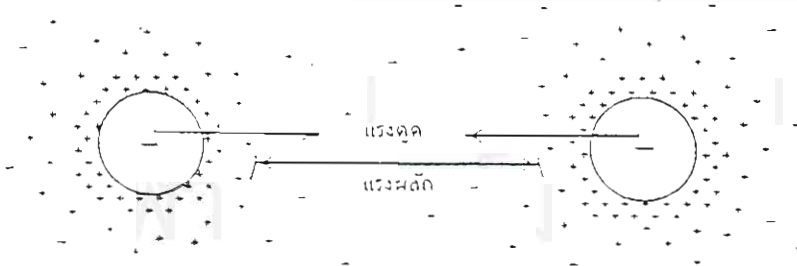
2. ชั้นกระจาย (Diffuse layer) เป็นชั้นที่ประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามถูกดูดเข้าสู่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์และกระจายตัวอยู่ในน้ำ มีความหนาแน่นน้อยลงตามระยะที่ห่างจากผิว ขนาดหรือลักษณะของชั้นกระจายขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ ปริมาณและชนิดของไอออนในน้ำ

ประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวของอนุภาคและน้ำ ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงสุดที่บริเวณผิวและมีค่าลดลงตามระยะทางที่ห่างจากผิว (ตามรูปที่ 1)

การที่คอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า จึงมีทั้งแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งจะดูดให้อนุภาคที่อยู่ใกล้กันให้ชิดกันยิ่งขึ้น ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเกิดจากประจุที่ปรากฏอยู่



รูปที่ 1 แสดงศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณผิวและศักย์ไฟฟ้าตามระยะทางที่ห่างจากผิว
ที่มา : ณรงค์ วุฑฒเสถียร , 2540



รูปที่ 2 แสดงแรงดึงดูดและแรงผลัดที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาค
ที่มา : ณรงค์ วุฑฒเสถียร , 2540

บนผิวรอบนอกของอนุภาค พยายามที่จะผลักตัวแยกออกจากกัน ตามรูปที่ 2 (ณรงค์ วุทธเสถียร , 2540) บทบาทของแรงทั้งสองชนิดมีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ขึ้นอยู่กับระยะห่างของอนุภาคคอลลอยด์ แรงแวนเดอร์วาลส์ จะมีผลที่ต่อเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมาก ซึ่งทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้ แต่ถ้าอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูง หรือมีชั้นกระจายหนา จะทำให้เกิดแรงผลักสูงกว่าแรงดึงดูด อนุภาคกระจายตัวอยู่ได้โดยไม่รวมเป็นกลุ่มก้อน เป็นสาเหตุให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ

การตกตะกอนเป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆมารวมตัวกัน โดยมี 2 ขั้นตอน คือ

1. ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์
2. ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆเคลื่อนที่มาสัมผัสกันให้มากที่สุด และควรเกาะติดกันแน่น หลุดจากกันได้น้อยที่สุด

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะอาศัยกลไก 4 แบบ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ , 2538) คือ

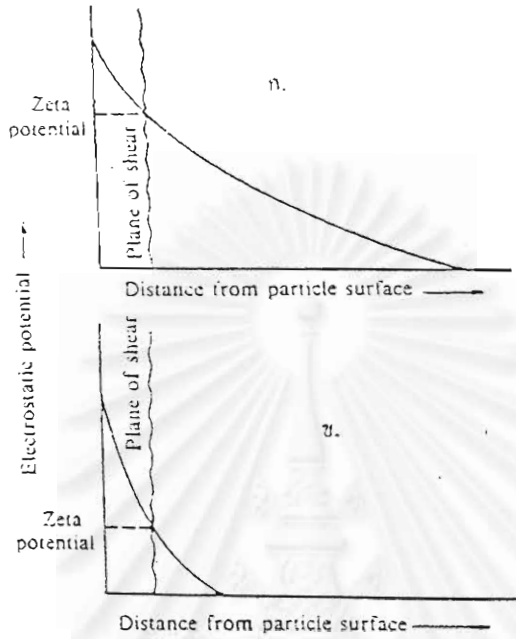
1. การลดความหนาของชั้นกระจาย

ทำโดยการเพิ่มจำนวนประจุตรงข้าม (Counter ion) ในชั้นกระจาย ประจุตรงข้ามจะไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์มากขึ้น ทำให้อำนาจของประจุของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ผลที่เกิดขึ้น คือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย (ตามรูปที่ 3) อนุภาคสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้นจนแรงดึงดูดมีค่ามากกว่าแรงผลักทำให้อนุภาคเกาะกันได้

2. การดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization)

เป็นการเติมสารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ และสามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ จะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบนี้จะต่างจากการลดความหนาของชั้นกระจาย คือ

- ต้องการสารเคมีที่ให้ประจุตรงข้ามน้อยกว่าแบบแรก
- ปริมาณสารเคมีที่ใช้เพิ่มหรือลดตามการเพิ่มหรือลดของปริมาณอนุภาคคอลลอยด์
- ถ้าใช้สารเคมีมากเกินไป จะสามารถเปลี่ยนประจุของอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงข้ามกับของเดิมได้ และเสถียรภาพของคอลลอยด์จะฟื้นขึ้นมาใหม่



รูปที่ 3 แสดงผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงข้าม (ก) ก่อนเติมอิออน (ข) หลังเติมอิออน
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ , 2538

3. ห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น (Sweep Coagulation)

เป็นการเติมสารประกอบเกลือโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอให้มีการตกผลึกเกิดขึ้น โดยอนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนของผลึกหรืออาจจับตัวรวมกับผลึกก็ได้ เป็นการเพิ่มขนาดหรือนำหนักให้อนุภาคคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้ ปริมาณสารที่ใช้จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ เนื่องจากความเข้มข้นคอลลอยด์ต่ำทำให้มีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย แม้ว่าจะทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้ว แต่การตกตะกอนอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องใช้สารในปริมาณสูงเพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้อนุภาคคอลลอยด์

4. การใช้สาร โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging)

โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มาก โมเลกุลของโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง เป็นผลมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ปลายอิสระของโพลีเมอร์จะเกาะกับอนุภาคอื่นทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอน

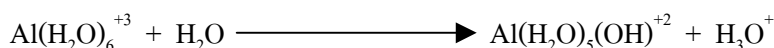
การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆเคลื่อนที่มาสัมผัสกัน และรวมตัวกัน เกิดเป็น Floc มีปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ,คุณสมบัติของความขุ่น ,ชนิดของสารเคมีช่วยตกตะกอน ,อุณหภูมิและการกวน (ณรงค์ วุฑฒเสถียร , 2540)

ตัวช่วยตกตะกอน (Coagulant)

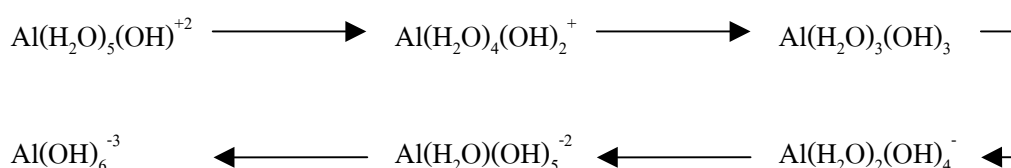
โดยทั่วไปตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้กันมากจะแบ่งเป็น 2 ประเภท (Bratby , 1980) คือ ประเภทที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และประเภทที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ตัวช่วยตกตะกอนที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Aluminium sulfate , Aluminium chloride , Polyaluminium chloride และ Sodium aluminate ส่วนตัวช่วยตกตะกอนที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Ferric sulfate , Ferrous sulfate และ Ferric chloride การที่ใช้ตัวช่วยตกตะกอนเป็นสารที่มีองค์ประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมเนื่องจากเป็นตัวช่วยตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพและมีราคาไม่แพง ประสิทธิภาพของตัวช่วยตกตะกอนเหล่านี้ในน้ำ เกิดจากความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ Alum , Ferrous sulfate และ Polyaluminium chloride

Aluminium sulfate (Alum) และ Ferrous sulfate (FeSO₄•7H₂O)

Alum และ Ferrous sulfate จะเกิดปฏิกิริยาในลักษณะเดียวกัน เมื่อละลายน้ำจะมีการแตกตัวให้อิออนบวกและลบ (มั่นสิน ตันทุลเวศน์ , 2538) ซึ่งอธิบายได้ในกรณีของสารส้มอิออนบวกจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ ซึ่งเป็นอิออนที่ประกอบด้วยโลหะและน้ำเรียกว่า Aquametal ion อิออนนี้จะมีคุณสมบัติเป็นกรดที่ไร้เสถียรภาพพร้อมจะให้อิออนบวกของ Hydrogen (H⁺) แก่น้ำ ดังสมการ



และเกิด Hydrolysis ต่อไปจนกลายเป็นประจุลบ ดังนี้



สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเรียก Monomeric hydroxo complex ซึ่งเป็นไอออนที่มี Aluminum เพียงอะตอมเดียว และเมื่อสารประกอบเชิงซ้อนนี้มารวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มี Aluminum หลายอะตอม จะเรียกว่า Polymeric hydroxo complex สารเชิงซ้อนของ Aluminum ในสภาวะปกติของระบบประปาจะมี 4 ชนิด คือ Al^{+3} , Al(OH)^{+2} , $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ และ Al(OH)_4^-

Alum หรือ Ferrous sulfate สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนเกิดการตกตะกอนได้ด้วยกลไกหลัก 2 ประการ ขึ้นกับปริมาณตัวช่วยตกตะกอนและพีเอชของน้ำ กลไกดังกล่าว คือ กลไกแบบดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าและกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึก

กลไกแบบดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้านั้น Alum จะแตกตัวเป็น Al(OH)^{+2} และ $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ ซึ่งสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และทำลายประจุลบของคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและพร้อมที่จะรวมตัวกันหลายๆอนุภาคจนกลายเป็น Floc กลไกแบบนี้จะเกิดต่อเมื่อผลคูณของ (Al^{+3}) และ $(\text{OH})^{-3}$ ต่ำกว่า K_{sp} และพีเอชไม่สูงหรือต่ำเกินไป ไอออนเชิงซ้อนที่มีประจุบวกต่างๆ ต้องดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ภายในเวลา 10^{-4} - 1 วินาที มิฉะนั้นไอออนเชิงซ้อนจะไฮโดรไลซ์ต่อไปจนเกิดผลึก Al(OH)_3 ทำให้เกิดกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึก

กลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึก จะสร้างผลึก Al(OH)_3 ซึ่งมีลักษณะคล้ายเป็นปูย เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก Al(OH)_3 ก็จะเกาะตัวจับอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นมากๆจะได้ Floc ขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย

Polyaluminium chloride (PAC)

เป็นสารเคมีที่มีลักษณะเป็น โมเลกุลยาวเรียงต่อกัน มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี ช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยากว้างประมาณ 6 - 9 เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ Al^{+3} เช่นเดียวกับสารส้ม (Bratby, 1980) กลไกการเกิดปฏิกิริยาจึงน่าจะใกล้เคียงกับสารส้ม

Polyaluminium chloride มีอำนาจในการสร้างตะกอนและการรวมตัวของตะกอนสูง และการตกตะกอนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม การใช้ PAC เป็นตัวช่วยตกตะกอนจะให้ผลคล้ายกับการใช้สารส้มร่วมกับ Polyelectrolyte กรณีการกำจัดความขุ่นจะใช้ปริมาณ PAC เพียงครึ่งหนึ่งของสารส้ม แต่ถ้าเป็นการกำจัดสี อาจใช้ PAC ในปริมาณมากหรือน้อยกว่าสารส้มก็ได้ (Bratby, 1980)

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation)

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียอิเล็กตรอน (Electron) ของอะตอม ดังนั้นโดยอาศัยหลักการนี้ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีนี้จึงเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสภาพของมลสารที่อยู่ในน้ำจากมลสารประเภทมีพิษมากไปเป็นมลสารประเภทมีพิษน้อยหรือไม่มีพิษ (เกรียงศักดิ์, 2539) และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ ยังสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพ หรือถูกกำจัดโดย adsorption ได้ดีขึ้นด้วย

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (USEPA, 1991) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารหลายประเภท เช่น Inorganic cyanide, Dissolved organic compound บางตัว และ Sulfide ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็น Carbon dioxide, น้ำ, เกลือ, Simple organic acid และสารที่มี Valence สูงขึ้น แต่ละลายน้ำได้น้อยลง เช่น Arsenite ถูกออกซิไดซ์ Arsenate

Marco (1997) พบว่า กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี กลไกของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ โมเลกุลจะแตกออกเป็นโครงสร้างที่เล็กกลง และเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในโมเลกุลจะสูงขึ้น นอกจากนี้การเกิดออกซิเดชันทางเคมี จะขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถออกซิไดซ์ได้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวออกซิไดซ์และสารอินทรีย์ และสภาวะทางเคมี ได้แก่ พีเอช

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการออกซิเดชัน โดยปกติการเลือกบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการนี้จะมีข้อจำกัดอย่างมากในเรื่องของค่าใช้จ่ายของสารเคมี ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดสำหรับการเลือกตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสม (Jorgensen, 1979) คือ

1. ลักษณะน้ำเสียที่ต้องการกำจัดสารพิษ
2. ประสิทธิภาพการบำบัดต้องสูง
3. ราคาของสารเคมีต่ำ

4. การใช้งานควรจะง่าย

ซึ่งสารเคมีที่สอดคล้องกับข้อกำหนดข้างต้น คือ

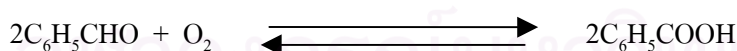
1. อากาศ หรือ ออกซิเจน
2. โอโซน
3. Potassium permanganate
4. Hydrogen peroxide
5. Chlorine , Chlorine dioxide หรือพวก Hypochlorite

สำหรับลักษณะของตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นดังนี้

อากาศ หรือ ออกซิเจน

ออกซิเจน สามารถถูกใช้ในรูปของอากาศได้ ใช้สำหรับกำจัด Volatile gas เช่น Methane , Hydrogen sulfide และ Carbon dioxide หรือแม้แต่สารประกอบอินทรีย์บางตัวที่มีจุดเดือดต่ำ นอกจากนี้ยังถูกใช้สำหรับออกซิเดชันของ Divalent Iron และ Manganese

สารประกอบอินทรีย์บางตัว รวมถึง Phenol สามารถถูกออกซิไดซ์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น Oxide ของ Copper , Nickle , Cobalt , Zinc , Chromium , Iron , Magnesium , Platinum และ Palladium (Jorgensen , 1979) ตัวอย่างปฏิกิริยาของการใช้ออกซิเจนในการกำจัดสารอินทรีย์ของ C_6H_5CHO คือ

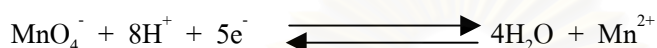


Potassium permanganate

Potassium permanganate เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงและถูกใช้อย่างกว้างขวางในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน สำหรับควบคุมรสและกลิ่น กำจัดเหล็กและแมงกานีส นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวออกซิไดซ์สำหรับกำจัด Impurities เช่น Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-} , CN^- และ Phenol ที่มีอยู่ในน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วย

Potassium permanganate เมื่อถูกเติมลงในน้ำจะเกิดสีม่วงขึ้นและสีม่วงจะหายไปเมื่อเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงของสีนี้เป็น Indicator ของการออกซิเดชันได้ (Liptak , 1974)

การออกซิเดชันด้วย Potassium permanganate (Jorgensen , 1979) ในสารละลายที่เป็นกรดอย่างแรง permanganate สามารถรับได้ถึง 5 e⁻ ดังนี้



ขณะที่ในช่วงพีเอช 3 – 12 สามารถรับ e⁻ และเกิด Manganese dioxide ที่ไม่ละลายน้ำ



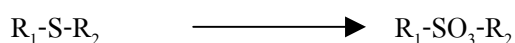
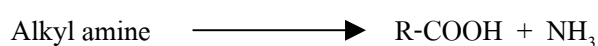
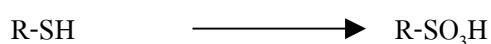
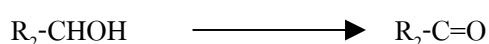
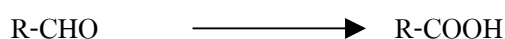
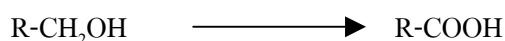
permanganate ยังสามารถออกซิไดซ์ manganese (II) ได้ ดังนี้

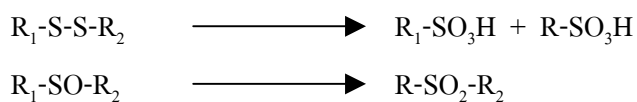


การออกซิไดซ์ Hydrogen sulfide ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



สำหรับการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



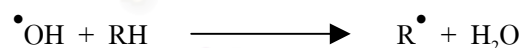
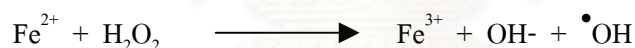


Hydrogen peroxide

Hydrogen peroxide ถูกใช้เป็นตัวออกซิไดซ์สำหรับ Sulfide ในน้ำ ความสามารถในการออกซิไดซ์นี้ ถูกใช้เพื่อควบคุมกลิ่นและการกัดกร่อนในน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียอุตสาหกรรม (Jorgensen , 1979) ปฏิกิริยาของ Hydrogen peroxide กับ Sulfide เกิดดังนี้



สำหรับกรณี Hydrogen peroxide มีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วย จะเกิด Hydroxyl radical ($\cdot OH$) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (Eckenfelder , 1989) ดังนี้

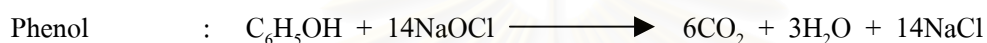
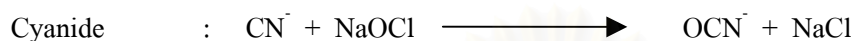


Chlorine หรือ Hypochlorite

Chlorine หรือ Hypochlorite เป็นที่รู้จักกันว่าเป็นสารฆ่าเชื้อโรคในการบำบัดน้ำเสีย แต่ยังสามารถเป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพด้วย สารที่ใช้จะเป็นพวก Sodium hypochlorite , Calcium

hypochlorite , Chlorine gas หรือบางครั้งใช้ Chlorine dioxide ซึ่งสามารถออกซิไดซ์สารประกอบ Hydrogen sulfide , Nitrite , Divalent manganese , Iron และ Cyanide ได้

สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Cyanide , Phenol และ Sulfide จากการใช้ Sodium hypochlorite (USEPA , 1991) คือ



กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกหนัง

การฟอกหนังเป็นการเปลี่ยนหนังสัตว์ไปเป็นหนังฟอก หนังสัตว์ในส่วนที่เป็น Dry matter เกือบทั้งหมดจะเป็น Protein ซึ่ง 85 % ของ Protein จะเป็น Collagen นอกจากนี้หนังสัตว์ยังประกอบด้วย lipid , albumin , globulin และ carbohydrate ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีในปริมาณน้อย (Nemerow , 1978) หนังสัตว์หลังจากกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการแล้ว เช่น ไขมัน จะถูกแปรสภาพด้วยสารเคมี เพื่อให้ Cross-link ของเส้นใย Collagen มีความทนทานและมีเสถียรภาพ หลังการฟอกหนัง หนังฟอกจะถูกนำไปผ่านขบวนการต่างๆตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การตกแต่งหนัง การย้อมสี

ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกหนังส่วนใหญ่ในประเทศไทย พบว่า หนังสัตว์ดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมฟอกหนัง คือ หนังโคและกระบือ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย,2540) วัตถุดิบรองที่สำคัญของอุตสาหกรรมฟอกหนัง คือ เคมีภัณฑ์ หนังดิบที่ใช้ในกระบวนการฟอก จะต้องผ่านการเก็บรักษา โดยใช้เกลือในการดึงน้ำออกจากหนัง (Dehydration) เพื่อหยุด Proteolytic enzyme degradation และปกติจะมีการใช้ยาฆ่าแมลง เพื่อป้องกันการรบกวนของแมลงระหว่างการเก็บรักษา ยาฆ่าแมลงที่ใช้ เช่น Pyrethum , Permethrin , p-dichloro-benzene , Sodium silico-fluoride และ borax

กระบวนการฟอกหนัง โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ การเตรียมหนังก่อนฟอก (beamhouse process) การฟอก (tanning process) ขั้นตอนหลังการฟอก (finishing process) มีรายละเอียด (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) ดังนี้

1. การเตรียมหนังก่อนการฟอก

เป็นกรรมวิธีการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากหนังดิบ คั้นความชื้นให้กับหนังและปรับสภาพหนังให้พร้อมสำหรับฟอก กรรมวิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ

การล้างแช่น้ำ (Soaking) โดยจะทำในถังหรือในบ่อ เพื่อคั้นความชื้นให้กับหนัง และกำจัดสิ่งสกปรกและเลือดออกไป สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ (UNEP, 1991) ได้แก่ Sodium hydroxide, Sodium Sulfide, Sodium hypochlorite, emulsifier, surfactant และ enzyme

การแช่น้ำปูนและกัศชน (Liming and Unhairing) จะใช้ปูนและ Sodium sulfide ทำปฏิกิริยาเพื่อกำจัดขน และหนังกำพร้า ในระหว่างการแช่น้ำ หนังจะดูดน้ำเข้าไปทำให้พองและนุ่มขึ้น จากนั้นจะนำหนังที่แช่น้ำแล้วมาขูดฟัด และผ่าแบ่งหนังออกเป็น 3 ชั้น หนังสองชั้นบนจะนำไปฟอกโครม ส่วนหนังชั้นล่างจะฟอกหรือไม่ฟอกก็ได้ ขั้นสุดท้ายนำไปทำลายฤทธิ์ปูนก่อนนำไปผลิตอาหารสุนัข

การทำลายฤทธิ์ปูน (Deliming) เพื่อไม่ให้รบกวนต่อขั้นตอนการฟอกหนัง สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ Sulfuric acid หรือ Hydrochloric acid, acidic salt, Ammonium chloride หรือ Ammonium sulfate, Sodium bisulfite

การบ่มหนัง (Bating) การบ่มหนังเพื่อลดการโป่งพองของหนัง ย่อยเส้นใยให้หนังเรียบ และช่วยให้หนังมีคุณภาพดีขึ้น สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ wood flour, Ammonium chloride และ pancreatic enzyme

การดองกรด (Pickling) เพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาการฟอกหนัง และช่วยลดการตกตะกอนของโครเมียม สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ Sodium chloride หรือ Sodium sulfate, กรดต่างๆ เช่น Sulfuric acid, Hydrochloric acid, Acetic acid หรือ Formic acid

2. การฟอกหนัง

เป็นการเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงสร้างส่วนที่เป็น Collagen ของหนัง โดยการใช้สารเคมี โดยทั่วไป การฟอกหนังที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

การฟอกโครม (Chrome tanning) จะใช้สารเคมีพวก basic trivalent chromium sulfate hydrated complexes เป็นตัวฟอก โดยทั่วไปแล้วประมาณร้อยละ 70 ของโครเมียมที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับหนัง ที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะถูกปล่อยทิ้งไปกับน้ำเสีย การตรึงโครมให้อยู่กับหนังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับพีเอช ดังนั้นระหว่างการฟอกโครมจึงต้องมีการเติม Sodium carbonate ลงไปที่ละน้อยซ้ำๆ เพื่อปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 4.5 หนังที่ผ่านการฟอกโครมแล้ว เรียก หนัง wet-blue

การฟอกฝาด (Vegetable tanning) จะใช้แทนนิน ซึ่งสกัดจากเปลือกไม้พวกยูคาลิปตัส ต้นควิบบาค และอื่นๆมาเป็นสารฟอก น้ำที่ใช้ฟอกแล้วจะนำมาใช้ซ้ำได้อีก ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การล้างฝาดส่วนเกินครั้งที่ 1 และ 2 โดยใช้กรดออกซาลิก ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพหนังอย่างมาก หนังสำเร็จรูปที่เกิดจากการฟอกฝาดจะมีน้ำหนักมากกว่าการฟอกโครม และมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าการฟอกโครม

3. ขั้นตอนหลังการฟอก

หลังการฟอกแล้วหนังจะถูกส่งผ่านขั้นตอนต่างๆ เพื่อรอจำหน่ายหรือแปรรูป ขั้นตอนที่สำคัญในการดำเนินการหลังการฟอก ได้แก่

การฟอกซ้ำ (Retanning) มักจะทำกับหนังที่ได้จากการฟอกโครม เพื่อปรับปรุงคุณภาพหนังให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาด ในขั้นตอนนี้สารเคมีที่ใช้อาจเป็น โครเมียม แทนนิน หรือ Syntan ก็ได้ ในขั้นตอนนี้มักจะมีการฟอกจากสีหนังโดยใช้ Sodium bicarbonate และ Sulfuric acid

การย้อมสี ให้น้ำมันและตกแต่งหนัง การย้อมสีจะทำตามที่ตลาดต้องการหรืออาจไม่ย้อมสีก็ได้ ขั้นตอนของการย้อมสีแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสีที่ใช้ย้อม ปกติจะใช้ Formic acid ปรับสภาพก่อนการย้อมด้วยสี และการตรึงให้สีติดหนัง ซึ่งต้องอาศัยอุณหภูมิสูง มักใช้น้ำมาทำให้หนังและน้ำย้อมร้อนขึ้น หนังที่จะนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีความอ่อนนุ่ม อยู่ตัว ดังนั้นจำเป็นต้องมีการทาน้ำมันให้แก่หนังที่ฟอกแล้ว การทาน้ำมันอาจทำพร้อมกับการฟอกซ้ำ หรือการย้อมสี หรืออาศัยการทำต่างหากก็ได้

หนังที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะนำไปผ่านการฟันทึ พิมพ์ลาย และอื่นๆเพื่อให้ตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป

ขั้นตอนต่างๆในกระบวนการฟอกหนัง ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 4

ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

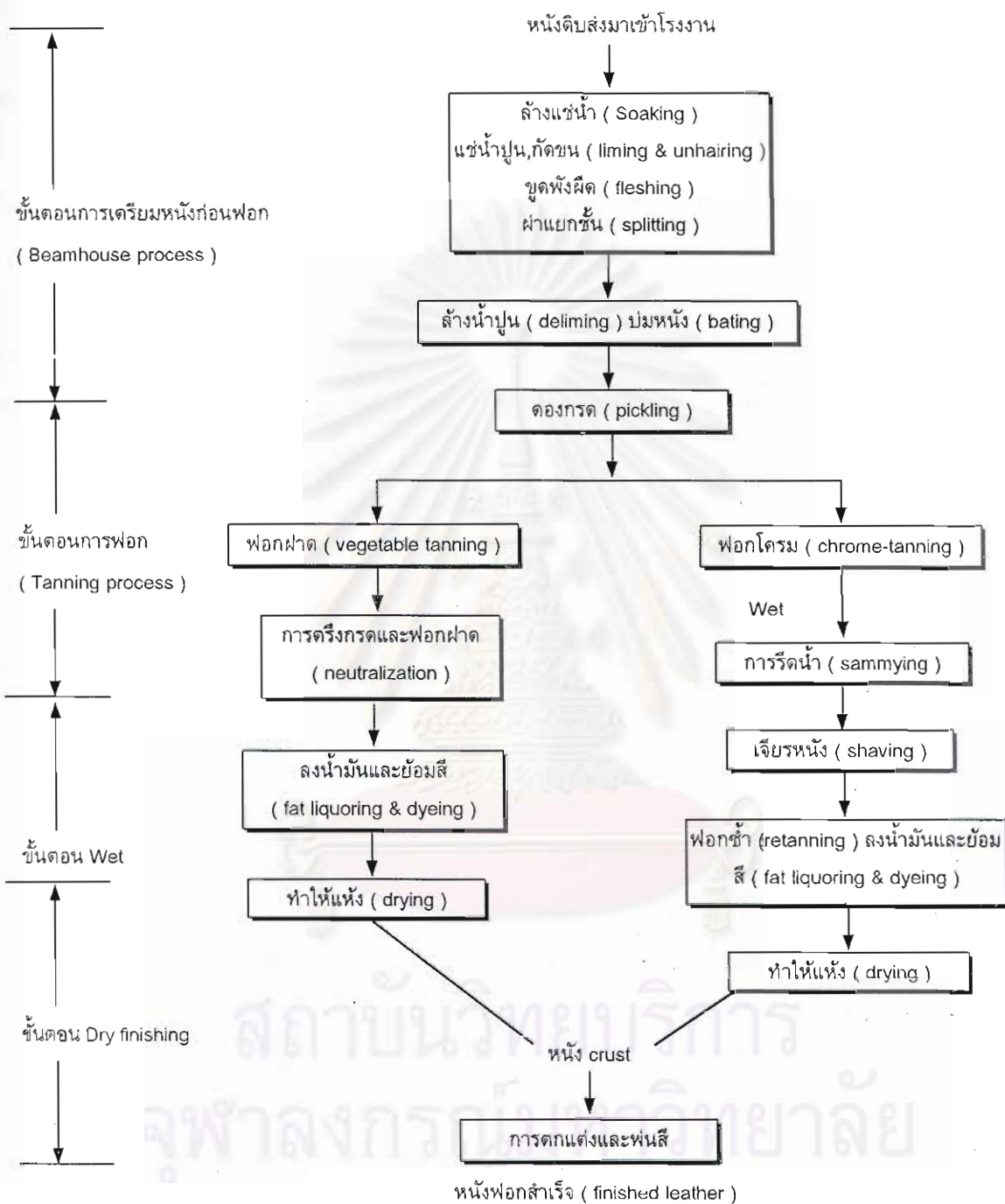
อุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำและสารเคมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้นจึงประกอบด้วย น้ำเสียและกากของเสียต่างๆ น้ำเสียที่ทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะมีปริมาณมาก องค์ประกอบและความเข้มข้นของน้ำเสียจะขึ้นกับขบวนการผลิตหนังฟอก ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ผลกระทบสุดท้ายและน้ำคืบที่ใช่ ในแต่ละขั้นตอนการผลิตจะให้น้ำเสียที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน คุณสมบัติของน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนการผลิตหลักๆ (Thorstensen , 1993) สรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการล้างและแช่น้ำหนัง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ และนำกลับคืนน้ำที่สูญเสียไปจากการเก็บรักษาหนัง น้ำเสียนี้จะประกอบด้วย Soluble protein , Proleolytic , ไขมัน , เลือด , ขน , เกลือ ยาฆ่าแมลง , ตะกอนดิน น้ำเสียจะสกปรกมาก มีสีน้ำตาลมึนและมีกลิ่น Hydrogen sulfide ที่สังเกตได้ง่าย ทั้งหมดนี้มีผลทำให้น้ำเกิดมลภาวะอย่างรุนแรง

2. ขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกัดขน

น้ำเสียจะมีลักษณะเป็นสีขีวมืด และมีกลิ่นเน่า มีความเป็นด่างสูง องค์ประกอบของน้ำเสียได้แก่ Calcium compound , Sodium sulfide , Potassium sulfide , Albuminous substance , เศษขน , เศษเนื้อ และไขมัน นอกจากนี้ Sulfide ส่วนใหญ่ในน้ำเสียจะมาจากขั้นตอนนี้ และ บีโอดีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้มีประมาณ 50 % ของบีโอดีทั้งหมดจากโรงฟอกหนัง



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนต่างๆในกระบวนการฟอกหนัง
ที่มา : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย , 2540

3. ขั้นตอนการชุคฟุ้งสี (fleshing) และการผ่าแยกชั้น (Splitting)

ในขั้นตอนนี้จะเกิดน้ำเสียในปริมาณน้อย และมีลักษณะเหมือนน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่น้ำปูน แต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

4. ขั้นตอนการล้างทำลายฤทธิ์ปูนและการบ่มหนัง (Deliming and Bating)

มีการเติม Ammonium chloride หรือ Ammonium sulfate เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับปูนและเติม เอนไซม์หรือเบต เพื่อช่วยย่อยเส้นใยหนังให้เรียบ นุ่ม น้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงประกอบด้วย กลือ Ammonium , Soluble protein , Suspended solid , กลือ และอาจมีก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้นด้วย

5. ขั้นตอนการดองกรดและการฟอกโครม (Pickling and Chrome tanning)

น้ำเสียจะประกอบไปด้วย Trivalent chromium , Suspended solid , Dissolved solid , Sodium chloride , Mineral acid และฟิเอชมีค่าต่ำ

6. ขั้นตอนการฟอกฟาด

น้ำเสียจะมี Suspended solid และ Dissolved solid สูง องค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารฟอก และสารอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ , กลือและ กลืออนินทรีย์ สีของน้ำเสียจะเป็นสีน้ำตาลแดง และฟิเอชต่ำกว่า 5 Flaherty (1962) กล่าวถึงลักษณะสำคัญของน้ำเสียในขั้นตอนนี้ คือ สีที่เข้มและกำจืดยาก ถ้าถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำที่มีเหล็กสูง จะทำให้เกิดสีในช่วงกว้างจากน้ำเงินเข้มถึงเขียว ซึ่งการฟอกโครมจะมีข้อดีกว่า คือ น้ำทิ้งไม่เกิดสีที่รุนแรงกับแหล่งน้ำที่รองรับ

7. ขั้นตอนการลงน้ำมันและย้อมสี (Fat liquoring and Dyeing)

น้ำเสียจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลมืดถึงดำ ประกอบด้วย ไขมัน , Mineral oil , สีย้อมและสารเคมีอื่นๆ น้ำเสียนี้จะมี Suspended solid สูง

Callely (1977) บรรยายถึงวัตถุประสงค์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ สิ่งปนเปื้อนจากน้ำเสีย โดยทั่วไปจะเป็นพวกที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ และเป็นสาเหตุของบีโอดีใน

น้ำเสีย สารเคมีที่ใช้มีทั้ง สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ มีผลต่อ Total solid , pH , และ COD โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจมี Sulfide และ Chromium (III) ในปริมาณมาก นอกจากนี้ได้แสดงองค์ประกอบน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง ตามตารางที่ 1 และในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนัง ขั้นตอน Pretreatment ที่จำเป็น ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง (Neutralisation) , การทำให้ตกตะกอน (Sedimentation) , การกรอง (Filtration) และการออกซิเดชันของซัลไฟด์ (Sulfide Oxidation) โดยการเติมอากาศ (aeration) และมี Manganese เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งหลังผ่านขั้นตอน Pretreatment ที่เหมาะสมแล้ว น้ำเสียจำเป็นต้องบำบัดโดยขบวนการทางชีวภาพ เพื่อให้ค่า SS และ BOD อยู่ในมาตรฐาน

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง แยกตามขั้นตอนใหญ่ และลักษณะน้ำเสียรวม

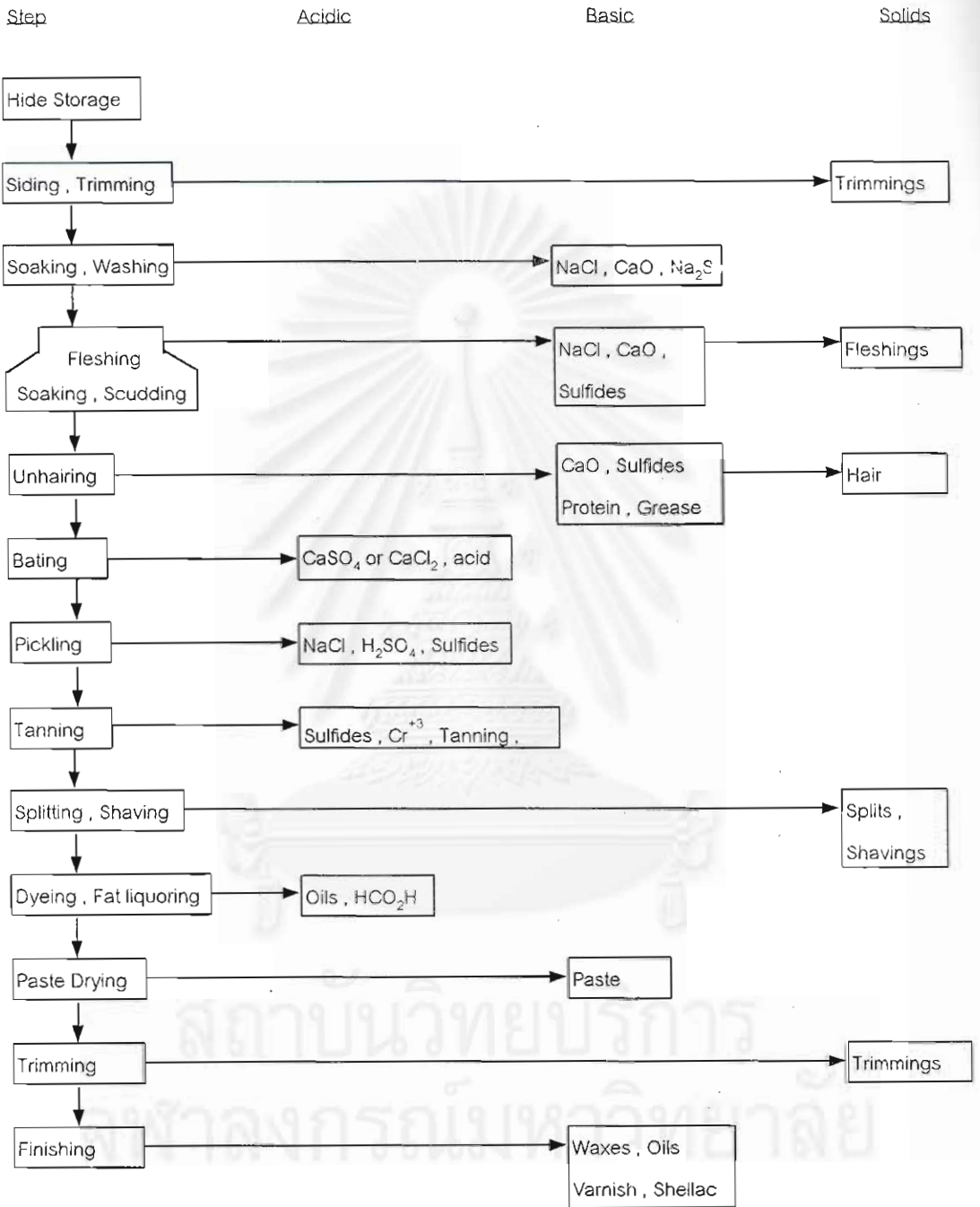
Source	pH	Total solids mg/l	Suspended solids mg/l	BOD5 mg/l	Sulfide (as S) mg/l
Pre-tanning	10-12	5,000-20,000	200-2,000	1,000-5,000	500-2,000
Vegetable tanning	3-5	5,000-20,000	200-1,000	500-5,000	-
Chrome tanning	3-6	2,000-10,000	50-5,000	250-2,000	-
Mixed : Vegetable tanning	8-12	5,000-20,000	100-1,000	500-5,000	200-1,000
Mixed : Chrome tanning	7-11	2,000-10,000	50-500	250-2,500	100-500

Nemerow (1978) กล่าวถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำเสียที่ทิ้งจากโรงงานฟอกหนังจะมีประมาณ 8,000 - 12,000 แกลลอนต่อปอนด์หนังฟอก น้ำเสียมีองค์ประกอบคือ

Total solid	8,000 ppm.	Volatile (organic) solid	1,500 ppm.
Protein	1,000 ppm.	NaCl	300 ppm.
Total hardness	1,600 ppm.	Sulfide	1,000 ppm.
Chromium	40 ppm.	Ammonium nitrogen	60 ppm.
BOD	1,000 ppm.		

Sell (1981) กระบวนการฟอกหนังทำให้เกิดของเสียทั้งของแข็งและของเหลว ของเสียที่เป็นของเหลวมีทั้งที่เป็นกรดและด่าง น้ำทิ้งที่เป็นด่างจะมาจากขั้นตอนการผลิต คือ Soaking , Washing , Fleshing , De-hairing , Paste drying และ Finishing น้ำทิ้งที่เป็นกรดจะมาจากขั้นตอน Bating , pickling , Tanning , Dyeing และ Fat liquoring ตามรูปที่ 5

Wastes



รูปที่ 5 แสดงลักษณะของเสียที่เป็นกรดและด่าง และของเสียที่เป็นของแข็งและของเหลวจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ

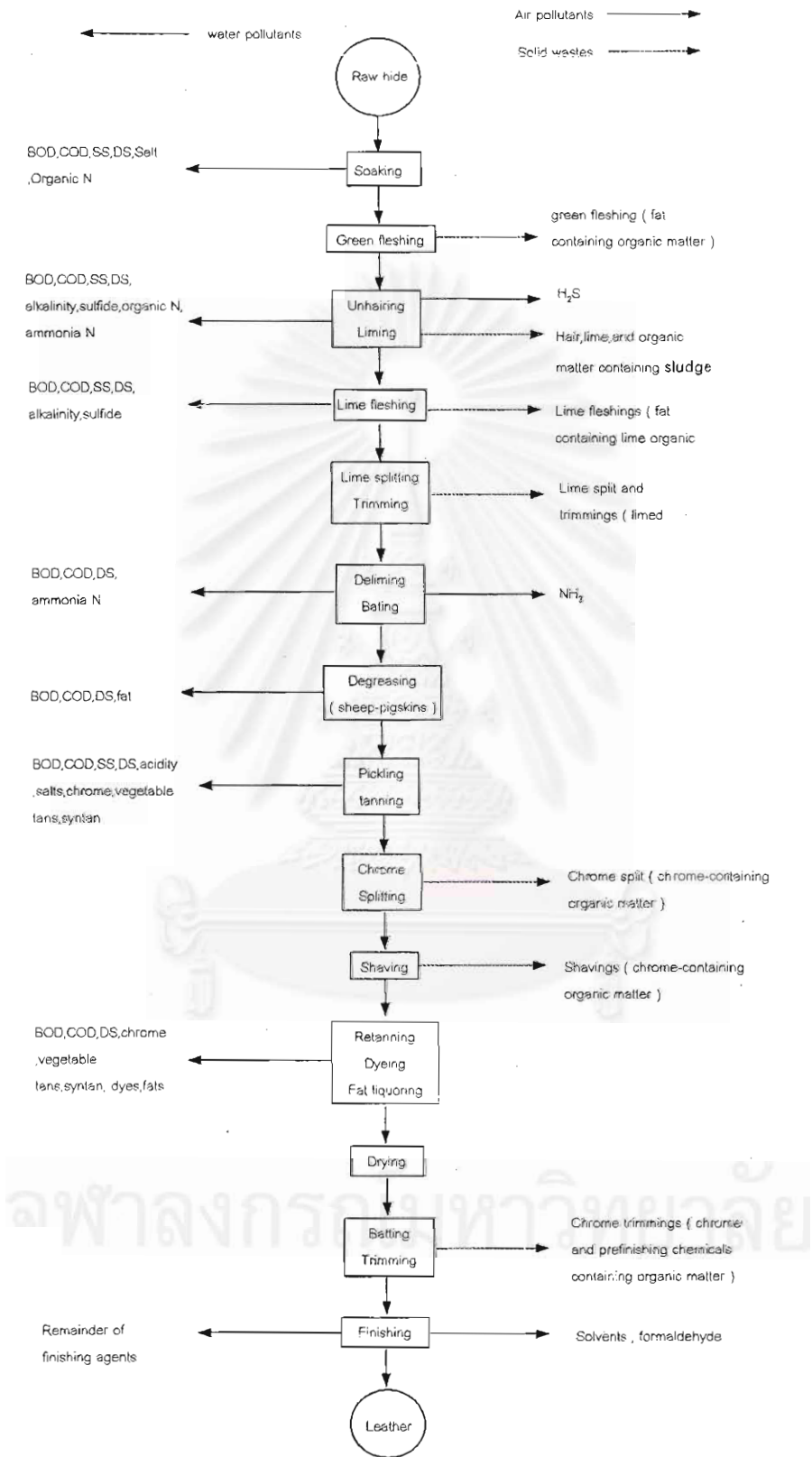
ที่มา: Sell, 1981

UNEP (1991) ได้สรุปขั้นตอนการผลิต น้ำเสียและของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตไว้ตามรูปที่ 6

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2540) ได้จำแนกชนิดของของเสียตามขั้นตอนการผลิตและวิธีการกำจัดและการนำไปใช้ประโยชน์ตามตาราง 2

ตารางที่ 2 แสดงชนิดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต วิธีการกำจัดและวิธีการนำไปใช้ประโยชน์

ขั้นตอนการผลิต	ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต	วิธีการกำจัด/การนำไปใช้ประโยชน์
1. กระบวนการก่อนฟอก		
- การเก็บรักษาหนัง	เกลือเม็ด	ชะล้างลงบ่อบำบัด
- การล้างและแช่น้ำหนัง	น้ำเสีย (BOD,COD,เกลือ,ยาฆ่าแมลงและยาระงับเชื้อ,เศษเนื้อ,ขน,หนัง,ตะกอนดิน)	ลงบ่อบำบัด
- การแช่น้ำปูนและกัดขน	น้ำเสีย (BOD ,COD ,เกลือ ,ซัลไฟด์ยาฆ่าแมลงและยาระงับเชื้อ, แอมโมเนีย,ด่าง,สารแขวนลอย) ก๊าซไข่เน่า ขน ปูนขาว และตะกอนดิน เศษหนัง เศษฟุ้งสี	ลงบ่อบำบัด
- การขูดฟุ้งสีและการผ่าแยกชั้น	น้ำเสียเช่นเดียวกับการแช่น้ำปูน แต่เข้มข้นต่ำกว่า	ลงบ่อบำบัด
- การล้างปูนออก (เฉพาะบางโรงงาน)	น้ำเสีย (BOD , COD , เกลือ , ซัลไฟด์ แอมโมเนียม, ด่าง,สารแขวนลอย,คลอไรด์)	ลงบ่อบำบัด
- การล้างด่างและการบ่มหนัง	น้ำเสีย (BOD , COD , เกลือ , ซัลไฟด์ แอมโมเนียม, ด่าง,สารแขวนลอย,คลอไรด์) ก๊าซแอมโมเนีย	ลงบ่อบำบัด
2. กระบวนการฟอกหนัง		
- การฟอกโครม	น้ำเสีย (BOD,COD,กรด,เกลือ ,สารแขวนลอย,โครเมียม,เศษตะกอนลอย)	ลงบ่อบำบัด
- การฟอกฟาด	น้ำเสีย (เช่นเดียวกับการฟอกโครม) กรด แทนนิน ไนมัน	ลงบ่อบำบัด
3. กระบวนการหลังฟอก		
- การรีดน้ำ	น้ำเสีย , เศษตะกอน	ลงบ่อบำบัด
- คัดเจียรหนัง	เศษหนังเจียรที่มีโครเมียม สำหรับการฟอกโครม	เผา/ถมที่ดิน/ว่าจ้างสุขาภิบาล
	เศษหนังที่ได้จากการฟอกแทนนิน	เผา/ถมที่ดิน/ว่าจ้างสุขาภิบาล
- การปรับสภาพ	น้ำเสียที่มีโครเมียม , BOD , COD , เศษตะกอน	ลงบ่อบำบัด
- การตกแต่งหนัง	น้ำเสีย สี น้ำมัน	ลงบ่อบำบัด
การย้อมสี/ทาน้ำมัน	ฝุ่นละออง	ฟุ้งกระจายในอากาศ หรือบางครั้งใช้เครื่องพ่นน้ำเพื่อจับฝุ่นละออง



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการผลิต น้ำเสีย และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต
ที่มา : UNEP , 1991

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540) ได้สรุปลักษณะสมบัติน้ำเสียรวมจากอุตสาหกรรม ฟอกหนังของไทย ดังนี้

Parameter	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด-สูงสุด
pH	8.15	6.67 - 8.64
BOD (mg/l)	1,535	958 - 4,200
COD (mg/l)	4,150	2,433 - 8,100
TKN (mg/l)	394	215 - 644
SS (mg/l)	2,097	1,027 - 4,361
TS (mg/l)	13,857	9,118 - 21,881
Cr (mg/l)	77.68	18 -204.4

ผลกระทบจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

ผลกระทบหลักจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ไม่มีการบำบัดของเสีย คือ ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำและอากาศ ปัจจุบันอุตสาหกรรมฟอกหนังมีการใช้สารเคมีสังเคราะห์เพิ่มขึ้น เช่น ยาฆ่าแมลง สารละลายต่างๆ สีย้อม และ finishing agent พอๆกับการใช้ขบวนการผลิตใหม่ๆ สารเหล่านี้จะเป็นพิษและย่อยสลายยาก มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่ต้องอาศัยความระมัดระวังและทักษะในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม การประเมินศักยภาพของน้ำเสียที่จะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ สามารถประเมินได้จากพารามิเตอร์หลายตัว ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวสามารถส่งผลกระทบในทางลบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้ (Venkatachalam , 1967) ดังนี้

พีเอช โดยทั่วไปพีเอชของน้ำที่ทิ้งลงแหล่งน้ำควรอยู่ระหว่าง 6-8 น้ำทิ้งที่มีพีเอชต่ำจะกัดกร่อนโลหะ และสามารถยับยั้งกิจกรรมของ microbial ได้ เป็นการลดความสามารถในการบำบัดตัวเองของแหล่งน้ำ

BOD ใช้เป็นพารามิเตอร์บอกศักยภาพในการเกิดมลพิษของน้ำเสีย บอกความสามารถในการลดออกซิเจนของแหล่งน้ำ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังมี BOD สูง มีความต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนี้ BOD สูงยังบ่งบอกว่ามีสารอินทรีย์สูงด้วย ถ้าน้ำเสียมี BOD สูงถูกทิ้งลงแหล่งน้ำ มีผลทำให้เกิด fungus ปกคลุมชั้นน้ำ ขัดขวางการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ทำให้แหล่งน้ำที่รองรับเสื่อมโทรมเร็ว

COD ใช้วัดการลดลงของ Dissolved oxygen ในแหล่งน้ำ แต่จะคำนึงถึงมลสารที่มีเสถียรภาพมากขึ้น ค่า COD สามารถชี้ให้เห็นผลกระทบระยะยาวได้ดีกว่า BOD (UNEP, 1991)

Suspended solid ค่า Suspended solid สูง ทำให้เกิด Sludge bank ในแหล่งน้ำได้ สภาพไร้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นในชั้นของ Sludge ทำให้เกิดกลิ่นเน่า และอนุภาค Sludge สีดำจะลอยขึ้นสู่พื้นผิวลำธารรบกวนความสามารถในการบำบัดตัวเองของแหล่งน้ำ (Reoxygenation) และรบกวนความสามารถในการสังเคราะห์แสงของ Plankton และพืชน้ำ

Sulfide ในตัวกลางที่เป็นกรดจะปลดปล่อยก๊าซ Hydrogen sulfide Sulfide จะเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ และสามารถลดปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำได้อย่างมาก นอกจากนี้ Flaherty (1962) ยังพบว่าถ้า Sulfide ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังถูกปล่อยทิ้งลงในแหล่งน้ำที่มีเหล็กอยู่จะทำให้เกิดตะกอนสีดำได้

Chloride ถ้าเข้มข้นสูงจะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำจืด

Chromium เป็นโลหะหนักที่คงทน Chromium ในรูป trivalent จะมีพิษน้อยกว่า Hexavalent เกือบ Chromium สามารถยับยั้งกิจกรรมของปลาและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในแหล่งน้ำได้ นอกจากนี้ น้ำที่มี Chromium อยู่ยังไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นได้

Grease and Fat ทำให้เกิด scum ในระบบบำบัด ถ้าอยู่ในแหล่งน้ำจะลอยบนผิวน้ำ ขัดขวางการส่งผ่านของออกซิเจนและแสง

ผลกระทบของอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อสิ่งแวดล้อม (UNEP, 1991) มีดังนี้

1. ผลกระทบต่อน้ำผิวดิน

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ยังไม่ได้ผ่านขบวนการบำบัด ถ้าทิ้งลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน จะทำให้คุณภาพน้ำเชิงกายภาพ เคมี และชีวภาพ เสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว น้ำเสียจะให้กลิ่นที่เป็นพิษจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ การย่อยสลายสารอินทรีย์จะทำให้ Dissolved Oxygen ในน้ำลดลง Dissolved Oxygen นั้นเป็นสิ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้ น้ำยังอาจเปลี่ยนเป็นน้ำที่มีความเค็มและความกระด้างมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากเกลืออนินทรีย์ในน้ำเสีย และน้ำผิวดินยังอาจเป็นพิษได้จาก

Chromium , Sulfide และ Ammonia ในน้ำเสีย การเกิดสารประกอบ Nitrogenous จะกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพ Eutrophication น้ำเสียยังทำให้เกิด micro-organism ที่ทำให้เกิดโรคได้ เช่น B. Anthraxes ยิ่งกว่านั้น ความขุ่นและสีจะขัดขวางขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหาร

2. ผลกระทบต่อดิน

ดินมีความสามารถที่จะ neutralize มลสารได้ น้ำเสียที่บำบัดแล้วสามารถใช้น้ำพืชได้ แต่ต้องบำบัดมลสารให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษ การบำบัดน้ำเสียโดยการทิ้งลงดิน จะทำให้โครงสร้างดินถูกทำลายนำไปสู่การสูญเสียความสามารถในการผลิตทางการเกษตร และช่วยเร่งให้เกิดการพังทลายของดิน ถ้าดินเสื่อมโทรมจะต้องใช้เวลานานในการฟื้นฟูกลับคืน สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะ ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียม , Sodium Absorption Ratio (SAR) และ Chrome content นอกจากนี้ บริเวณที่ตั้งโรงงาน ที่ตั้งระบบบำบัด พื้นที่เก็บวัสดุต่างๆ ถ้าไม่มีการระมัดระวังที่ดีพอ อาจทำลายดินที่อยู่เบื้องล่างได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้ที่ดินในภายหลัง และก่อให้เกิดมลภาวะต่อน้ำใต้ดิน

3. ผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน

การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจะเกิดเมื่อน้ำเสียและสารเคมีไหลซึมผ่านดินจากบ่อ, ท่อ หรือระบบระบายน้ำที่ไม่มีการปูวัสดุกันซึม น้ำใต้ดินจะใช้เวลานานในการบำบัดตัวเอง สำหรับอุตสาหกรรมฟอกหนัง มลสารสำคัญที่อาจปนเปื้อนได้ คือ Chloride , Tannin , Chromium , Sulfide , Sulphate , Trace organic chemical และ Solvent

4. ผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ

การย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และการปลดปล่อย Sulfide จะเป็นสาเหตุของกลิ่นที่น่ารังเกียจ และอาจเป็นปัญหาต่อสุขภาพได้

5. ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

อุตสาหกรรมฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก การสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีบางตัวจะเป็นสาเหตุของความเจ็บป่วยและตายได้ แม้จะได้รับเพียงเล็กน้อย แต่สามารถสะสมถึงระดับที่เป็นพิษได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด ได้แก่ ไอรยะเหยจจาก Finishing Solvent และฝุ่นหนัง ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง สามารถเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sengul และ Gurel (1993) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังด้วยกระบวนการ Catalytic Oxidation โดยใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์และมี Manganese เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อกำจัด Sulfide ตามด้วยการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้ Alum , FeSO₄ , FeCl₃ และ Lime เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ พบว่า Catalytic Oxidation สามารถกำจัด Sulfide ได้ 72 % การตกตะกอนทางเคมีจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด Sulfide เป็น 80-95 % และที่สภาวะ pH = 8.3 , FeCl₃ = 1,500 mg/l ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี คือ 76 % ขณะเดียวกันสามารถกำจัด Chromium ได้ด้วย

Karumyal (1994) ศึกษาผลกระทบจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังที่มีต่อการเพาะตัวของเมล็ด Oryza sativa , Acacia holosericea และ Leucaena leucocephala พบว่าการเพาะตัวของเมล็ดถูกยับยั้งเมื่อใช้น้ำทิ้ง ความเข้มข้น 25% และ 50% แต่เมื่อใช้น้ำทิ้งความเข้มข้น 75% และ 100% เมล็ดไม่สามารถเพาะตัวได้อีก ส่วนผลกระทบต่อ Leaf area , Biomass และ Chlorophyll content ของ Gossypium hirsutum , Vigna mungo , Vigna unguiculata และ Lycopersicon esculentum พบว่าเมื่อใช้น้ำทิ้ง 25% Leaf area , Biomass , Total protein และ Chlorophyll content จะเพิ่มมากกว่าตัวควบคุม และพบว่า ดินที่บำบัดด้วยน้ำทิ้งจะมี Mg , Mn , Fe , Na และ K ion มาก ความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 75% และ 100% สามารถทำให้พืชตายได้ มีเพียงความเข้มข้นน้ำทิ้ง 25% ที่เหมาะสำหรับใช้เป็นปุ๋ย

Talinli (1994) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังที่ตุรกี โดยวิธี Chemical Coagulation เปรียบเทียบตัวช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ Lime , Alum และ FeCl₃ พบว่ามีเพียง Lime ที่เป็นตัวช่วยตกตะกอนที่ดีที่สุดโดยสามารถลดซีโอดีได้ 63 % เมื่อใช้ Lime 2,000 mg/l Polyelectrolyte ประเภท non-ionic 2 mg/l ที่ pH = 11

Tunay , Orhon และ Kabdasli (1994) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยวิธี Physical - Chemical treatment พบว่า Sulfide Oxidation สามารถกำจัด Sulfide ได้ แต่ไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอไซด์และ TKN กระบวนการ Carbonation และ Protein Removal สามารถลด Total COD ได้ 20 % ส่วนการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ FeCl_3 1,500 mg/l และ Anionic Polyelectrolyte 10 mg/l ในสภาวะ pH = 8.3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ประมาณ 40 %

Garrote (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังในสเปน โดยกระบวนการ Coagulation/Flocculation โดยใช้ FeCl_3 เป็น Flocculating agent และ ใช้ Ca(OH)_2 เป็น Base/precipitant ทำการทดลองตกตะกอน 3 cycle พบว่า หลังจากตกตะกอน 2 cycle ค่าซีโอไซด์ของน้ำเสีย สามารถลดลงได้ 84 - 87 % น้ำหลังตกตะกอนจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มี Suspended solid ส่วน cycle ที่ 3 ไม่มีผลทำให้ซีโอไซด์ลดลงได้อีก

The International Environment Commission (IUE) Friedrich-shafen (1996) ได้คาดการณ์ความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีต่างๆตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธี Pretreatment , Primary treatment และ Biological treatment

Parameter % or mg/l	COD		BOD5		SS		Chromium		Sulfide		N(Kjeldahl)		Sludge production kg DS/ton raw hide
	%	mg/l	%	Mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	
Pretreatment													
Grease removal (dissolved air flotation)	20-40												
Sulfide Oxidation (liming and rinsing liquors)	10								10				
Chromium precipitation							5-10						
Primary treatment													
Mixing + Sedimentation	25-35		25-35		50-70		20-30			25-35			80
Mixing + Chemical treatment + Sedimentation	50-65		50-65		80-90		2-5		2-10	40-50			150-200
Mixing + Chemical treatment + flotation	55-75		55-75		80-95		2-5		2-5	40-50			150-200
Biological treatment													
Primary or chemical + Extended aeration	85-95	200-400	90-97	20-60	90-98	20-50	<1		<1	50	150		130-150
Primary or chemical + Extended aeration with nitrif. And denitrification	85-95	200-400	90-97	20-60	90-98	20-50	<1		<1	80-90	30-60		130-150
Primary or chemical + Aerated facultative lagooning	80-90	300-500	85-95	60-100	85-90	80-120	<1		<1	50	80		100-140
Anaerobic treatment (lagoon or UASB with 66% domestic sewage)	65-75	500-700	60-70	150-200	50-80	100-200	<2	0		20-30			60-100

Ates , Orhon และ Tunay (1997) ศึกษาการตกตะกอนทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยทำ Lab-scale Jar Test ใช้ Alum และ FeCl_3 ร่วมกับ Anionic Polyelectrolyte ที่ pH 7.0-9.0 พบว่า FeCl_3 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดีในช่วง 500-1,000 mg/l ส่วน Alum จะมีประสิทธิภาพดีในช่วง 250-600 mg/l และได้ศึกษาถึงสัดส่วนของซีโอดีทั้งหมด พบว่า 20 % เป็น Inert COD , 35 % เป็น Readily Biodegradable COD และ 45 % เป็น Slowly Biodegradable COD

Jochimsen และ Jekel (1997) ศึกษาผลของ Partial Oxidation จากการใช้ Ozone ที่มีต่อน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้ว โดยศึกษาจาก Parameter ต่างๆ คือ COD , DOC และ UV-absorbance พบว่า ปริมาณการใช้ Ozone ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการกำจัด COD , DOC เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ Ozonation จะทำให้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงแตกออก เกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำต่อการย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพ และลดปริมาณสารพิษในน้ำให้ต่ำลงด้วย

Jochimsen , Schenk et al. (1997) ศึกษาผลการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง โดยใช้ Aerobic Process ร่วมกับ Oxidation ด้วย Ozone พบว่า Primary Aerobic Process สามารถกำจัด COD ได้ 83 % เมื่อทำ Oxidation ด้วย Ozone ในปริมาณ 2.1 g O_3 /g DOC และตามด้วย Secondary Aerobic Process สามารถกำจัด COD เพิ่มขึ้นได้เป็น 95 % และ Ozonation ที่ pH = 7.0 ยังทำให้กระบวนการ Nitrification ใน Secondary Aerobic Process เกิดได้ดีขึ้นด้วย

Sreeram , Gayatri et al. (1998) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในอินเดีย โดยใช้ Hydrogen peroxide ในการลดค่าซีโอดี ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดค่าซีโอดีในน้ำเสียที่มีซีโอดีเริ่มต้น 894 mg/l คือ ใช้ Hydrogen peroxide 1.8 - 2.0 g/l มี Ferrous sulfate 3 mg/l เป็น Catalyst , pH = 8.0 - 8.5 และพบว่า หลังบำบัดด้วย Hydrogen peroxide แล้ว น้ำที่ได้ไม่มี Aromatic peroxide ที่เป็นพิษเกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) กระทำภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ

วัสดุอุปกรณ์

1. ตัวอย่างน้ำเสีย เป็นตัวอย่างน้ำเสียรวมก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30 ภายใต้สภาวะที่เก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง
2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีใช้สารเคมีมาตรฐานงานวิเคราะห์ (Analytical grade)
3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
 - pH meter
 - เครื่องจาร์เทสต์สำหรับการตกตะกอน
 - เครื่องกวนสำหรับการออกซิเดชัน
 - Test tube screw cap สำหรับวิเคราะห์ซีโอดีแบบ Close Reflux

วิธีดำเนินการทดลอง

1. ขั้นตอนในการศึกษา

- 1.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม. 30
- 1.2 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำเสีย โดยใช้วิธี Close Reflux , Titrimetric Method จาก Standard methods for the examination of water and wastewater , 19th Edition 1995
- 1.3 ศึกษาวิธีการตกตะกอนโดยใช้จาร์เทสต์ ซึ่งในการวิจัยจะประยุกต์จากวิธี Standard practice for coagulation-flocculation jar test of water ใน Annual book of ASTM standards, Vol 11.01 , 1992

2. ขั้นตอนการทดลอง

1. การทดสอบขั้นต้นก่อนทำการตกตะกอน

เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณสารเคมีที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยนำน้ำเสีย 1,000 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มล. ปรับพีเอชเป็น 6 เดิม อลูมิเนียมซัลเฟต (Alum) ลงไปจำนวนหนึ่ง กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ที่อัตราเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 20 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น ถ้าไม่เกิดตะกอนให้เพิ่มปริมาณ Alum ทำซ้ำจนสังเกตเห็นปริมาณตะกอนเกิดขึ้น นำค่าความเข้มข้นสารเคมีที่ก่อให้เกิดตะกอนไปใช้ในการวินิจฉัยเลือกความเข้มข้นสารเคมีในการทดลองขั้นต่อไป

2. ขั้นตอนการตกตะกอน

2.1 การหาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดี

2.1.1 วิเคราะห์ค่าซีโอดีเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำเสีย

2.1.2 นำตัวอย่างน้ำเสียใส่ในบีกเกอร์ จำนวน 6 ใบ เดิม Alum ในปริมาณความเข้มข้นที่หาได้จากการทดสอบขั้นต้น

2.1.3 ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 5 - 9 ตามลำดับ โดยใช้กรดซัลฟูริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.1.4 เดินเครื่องจาร์เทสต์ กวนน้ำในบีกเกอร์ที่อัตราเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วเปลี่ยนเป็นกวนช้าอัตราเร็ว 20 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอน เป็นเวลา 5 นาที

2.1.5 นำน้ำใสที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง แล้ววิเคราะห์ค่าซีโอดี

2.1.6 คำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ระดับพีเอชต่างๆ

2.1.7 ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวช่วยตกตะกอนจาก Alum เป็นโพลัลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) และ เฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ตามลำดับ

2.2 การหาปริมาณตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดี

2.2.1 วิเคราะห์ค่าซีโอดีเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำเสีย

2.2.2 นำตัวอย่างน้ำเสียใส่ในบีกเกอร์ จำนวน 6 ใบ เติม Alum ในปริมาณแตกต่างกัน ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.1

2.2.3 เดินเครื่องจาร์เทสต์ ทำการทดลองตามข้อ 2.1.4

2.2.4 นำน้ำใสที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง แล้ววิเคราะห์ค่าซีโอดี

2.2.5 คำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี ที่ระดับความเข้มข้นของ Alum แตกต่างกัน

2.2.6 ทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนตัวช่วยตกตะกอนจาก Alum เป็น PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ตามลำดับ

3. การทดสอบขั้นต้นก่อนทำการออกซิเดชัน

ทำการทดสอบโดยนำตัวอย่างน้ำเสียหลังตกตะกอนด้วยสารเคมีที่เหมาะสมมาทดลองเติม โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) จำนวนหนึ่ง เดินเครื่องกวน สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เติม KMnO_4 ทีละน้อย จนสังเกตเห็นสีม่วงแดงของ KMnO_4 นำค่าความเข้มข้นของ KMnO_4 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไปใช้วินิจฉัยเลือกความเข้มข้นของ KMnO_4 ในขั้นต่อไป จากนั้นทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนจาก KMnO_4 เป็นโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ตามลำดับ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อใช้วินิจฉัยเลือกความเข้มข้นของสารเคมีในขั้นต่อไป

4. ขั้นตอนการออกซิเดชัน

4.1 การหาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดี

4.1.1 วิเคราะห์ค่าซีโอดีเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำเสีย

4.1.2 ทำการตกตะกอนตัวอย่างน้ำตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2

4.1.3 นำตัวอย่างน้ำหลังตกตะกอนปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 5 - 9 ด้วย กรดซัลฟูริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์

4.1.4 เติม KMnO_4 ในปริมาณความเข้มข้นที่ได้จากการทดสอบขั้นต้น เดินเครื่องกวนเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 5 นาที

4.1.5 นำน้ำใสที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง แล้ววิเคราะห์ค่าซีโอดี

4.1.6 คำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีที่ระดับพีเอชต่างๆ

4.1.7 ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยน KMnO_4 เป็น NaOCl และ H_2O_2 ตามลำดับ

4.1.8 ทดลองซ้ำโดยไม่เติมสารเคมี แต่ใช้วิธีการเติมอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.2 การหาปริมาณตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีไอดี

4.2.1 วิเคราะห์ค่าซีไอดีเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำเสีย

4.2.2 ทำการตกตะกอนตัวอย่างน้ำตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2

4.2.3 นำตัวอย่างน้ำหลังตกตะกอนปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสมที่หาได้ใน

ข้อ 4.1 เติม KMnO_4 ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

4.2.4 เดินเครื่องกวนเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 5 นาที นำน้ำใสที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง แล้ววิเคราะห์ค่าซีไอดี

4.2.5 คำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี ที่ระดับความเข้มข้น KMnO_4 แตกต่างกัน

4.2.6 ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยน KMnO_4 เป็น NaOCl และ H_2O_2 ตามลำดับ

4.2.7 ทดลองซ้ำโดยไม่เติมสารเคมี แต่ใช้วิธีการเติมอากาศในเวลาที่แตกต่างกัน

5. การวิเคราะห์เชิงสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ในการตกตะกอนและออกซิเดชันด้วยสารเคมีต่างๆ ที่พีเอช 5 - 9 และที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อทดสอบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีที่พีเอชและความเข้มข้นต่างๆมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 หรือไม่ ถ้าแตกต่างกันจะทดสอบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีของสารเคมีที่พีเอชและความเข้มข้นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มอื่นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวิธีของ Duncan's new multiple range test

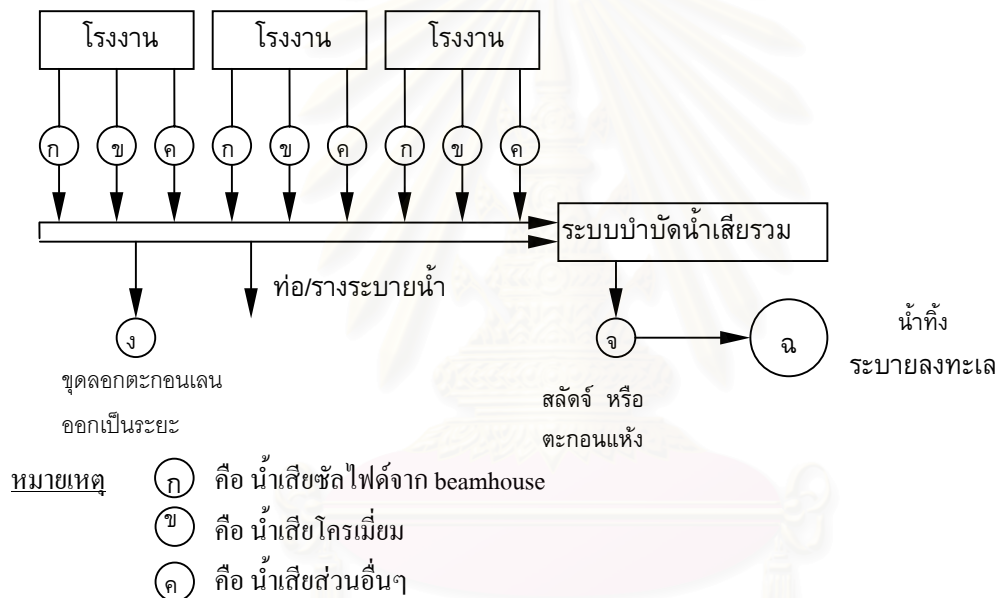
6. การเลือกสารเคมีและสภาวะที่เหมาะสม

จะเลือกตัวช่วยตกตะกอน , ตัวออกซิไดซ์ และสภาวะในการบำบัดค่าซีไอดี จากประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดี และค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการทดลองได้เริ่มต้นจากการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง และจากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกหนัง) พบว่า โรงงานฟอกหนังในประเทศส่วนใหญ่อยู่ร่วมกันเป็นกลุ่ม เช่น กลุ่ม กม. 30 และกลุ่ม กม. 34 จังหวัดสมุทรปราการ ใช้แนวคิดการบำบัดน้ำเสียร่วมกันเป็นแบบระบบบำบัดน้ำเสียรวม/ส่วนกลาง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางและตำแหน่งน้ำทิ้งและของเสียออกจากระบบ
ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม

คุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง กม.30 เป็นดังนี้

จุดที่ทำการตรวจวัด	ค่า Parameter (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)			
	พีเอช	บีโอดี (mg/l)	SS (mg/l)	Cr (mg/l)
ก่อนเข้าระบบบำบัด	7.5 - 10.5	1,100 - 3,800	378 - 2,400	6.545 - 19.4
หลังผ่านระบบบำบัด	6.7 - 8.1	16.4 - 69	37 - 120	0.1 - 0.58

ที่มา : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย , 2540

จะเห็นว่าจากข้อมูลของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดมีค่าต่ำ แต่ค่าสูงสุดของผลวิเคราะห์บางพารามิเตอร์ เช่นค่าบีโอดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 69 ยังเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยที่มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดค่าบีโอดีไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน , 2539) นอกจากนี้ยังไม่มีการรายงานถึงค่าซีโอดีซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ถูกควบคุมให้น้ำเสียที่จะปล่อยทิ้งได้ ต้องมีค่าซีโอดีไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด

ในการทดลองครั้งนี้จึงเน้นการบำบัดค่าซีโอดี โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง คือ บริเวณ Outlet Fine Screen เนื่องจากน้ำจากจุดนี้เป็นน้ำเสียรวมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดและมีการกั้นเศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่ออกไปแล้ว เหลือเพียงอนุภาคแขวนลอยที่ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการตกตะกอน และจากการเก็บตัวอย่างน้ำ ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง จะมีลักษณะเป็นสีเทาดำ มีความขุ่นสูง ตามรูปที่ 8 ลักษณะทางเคมีจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.8 - 8.4 มีค่าซีโอดีประมาณ 1,500 - 2,300 มิลลิกรัมต่อลิตร.

4.1 ผลการหาระดับพีเอช ที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการตกตะกอน

ในการทดสอบขั้นต้นมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าความเข้มข้นของสารเคมีให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงพีเอช ในการหาระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน การทดสอบนี้จะทำโดยนำน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอชเป็น 6 เดิมสารเคมีในปริมาณต่างๆ ทำการตกตะกอนโดยเครื่องจาร์เทสต์ ทิ้งให้ตกตะกอนและสังเกตลักษณะตะกอนและความขุ่นของน้ำหลังตกตะกอน โดยการสังเกตด้วยตาเปล่า (Visual Judgement) ผลการทดลองแสดงตามตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า Alum และ PAC เมื่อทดสอบขั้นต้นแล้วที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. และ 1,200 ppm. ปริมาณความขุ่นของน้ำใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายสารเคมี จึงเลือกความเข้มข้นของ Alum และ PAC ที่ 1,000 ppm. เป็นความเข้มข้นที่คงที่สำหรับทดลองหาระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน ส่วน $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นเท่าใด ผลที่ได้คือเกิดตะกอนสีดำเข้มไม่ตกตะกอนทำให้ลักษณะตัวอย่างน้ำโดยภาพรวมเป็นสีดำเข้ม ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ จึงกำหนดให้ความเข้มข้นที่ใช้ทดลองหาระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ใช้ความเข้มข้นเดียวกับความเข้มข้นของ Alum และ PAC คือ 1,000 ppm.

ตารางที่ 4 แสดงผลการตกตะกอนขั้นต้นของตัวอย่างน้ำด้วยสารเคมีที่มีความเข้มข้นต่างๆ

สารเคมี	คุณลักษณะ	ความเข้มข้นของสารเคมี					
		200 ppm.	400 ppm.	600 ppm.	800 ppm.	1000 ppm.	1200 ppm.
Alum	ลักษณะตัวอย่างน้ำ	Floc ละเอียดขนาดเล็ก ตัวอย่างน้ำมีสีเหลืองขุ่นมาก	Floc มีขนาดเล็กปริมาณน้อย ตัวอย่างน้ำมีสีเหลืองขุ่น			Floc มีขนาดปานกลาง ปริมาณ floc มีปานกลาง ตัวอย่างน้ำค่อนข้างเหลืองใส	
	ความขุ่น	+1	+2	+3	+4	+5	+5
PAC	ลักษณะตัวอย่างน้ำ	Floc ละเอียดขนาดเล็ก ตัวอย่างน้ำมีสีเหลืองขุ่นมาก	Floc มีขนาดเล็ก ปริมาณปานกลาง ตัวอย่างน้ำสีเหลืองขุ่น		Floc มีขนาดปานกลาง ปริมาณ floc ค่อนข้างมาก ตัวอย่างน้ำค่อนข้างเหลืองใส	Floc มีขนาดใหญ่ ปริมาณ floc มากตัวอย่างน้ำมีสีเหลืองใส	
	ความขุ่น	+1	+3	+4	+5	+6	+6
FeSO ₄ · 7H ₂ O	ลักษณะตัวอย่างน้ำ, ความขุ่น	เกิดตะกอนสีดำเข้ม เมื่อทิ้งไว้ 5 นาที ไม่เกิดการตกตะกอน ลักษณะตัวอย่างน้ำเป็นสีดำเข้ม					

หมายเหตุ ความขุ่น +1 คือ มีความขุ่นประมาณ 10 % ของน้ำดิบ (Raw Water)

ความขุ่น +2 คือ มีความขุ่นประมาณ 8 % ของน้ำดิบ (Raw Water)

ความขุ่น +3 คือ มีความขุ่นประมาณ 6 % ของน้ำดิบ (Raw Water)

ความขุ่น +4 คือ มีความขุ่นประมาณ 4 % ของน้ำดิบ (Raw Water)

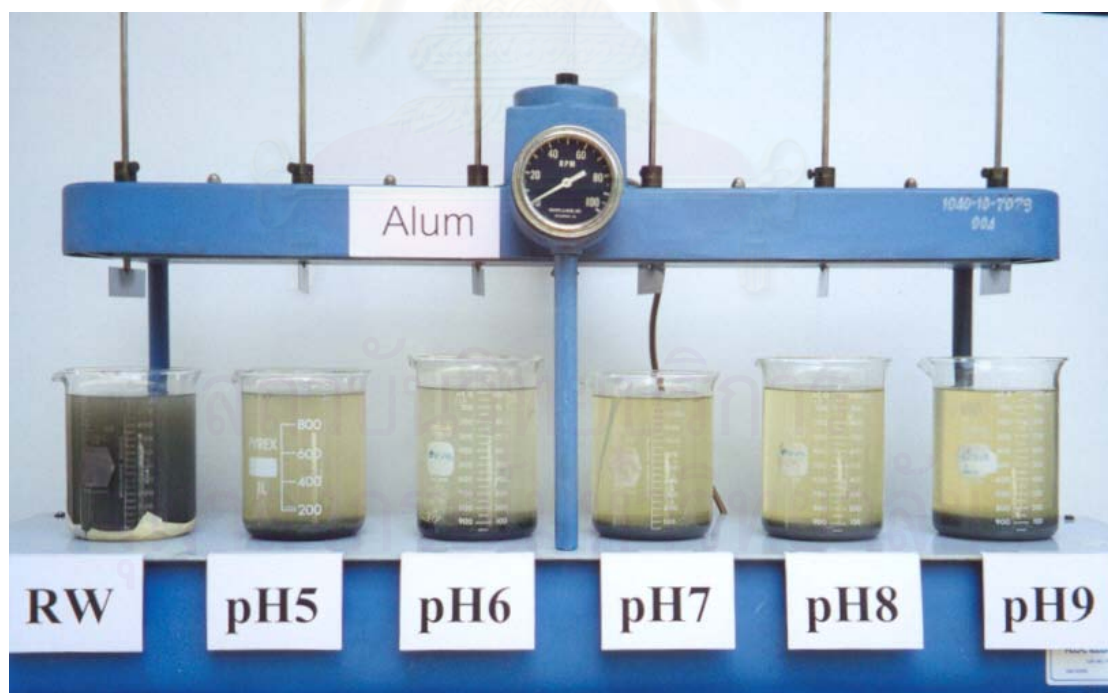
ความขุ่น +5 คือ มีความขุ่นประมาณ 1 % ของน้ำดิบ (Raw Water)

ความขุ่น +6 คือ มีความขุ่นประมาณ 0.5 % ของน้ำดิบ (Raw Water)

การทดลองหาระดับพีเอชที่เหมาะสมจะทดลองโดยแปรเปลี่ยนพีเอช ให้อยู่ในช่วง 5 - 9 เนื่องจากเป็นช่วงพีเอชที่สามารถปล่อยน้ำเสียทิ้งได้ ตามข้อกำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม หลังทำการตกตะกอนจะวิเคราะห์ค่าซีไอดี ก่อนและหลังการตกตะกอน ผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5 และคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ตามตารางที่ 6 ทั้งนี้ได้สรุปค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ไว้ในตารางที่ 7 และได้ทำการทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข้อ 1, 2 และ 3



รูปที่ 8 แสดงลักษณะของตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 9 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆเทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน (RW)

ตารางที่ 5 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง

สารเคมี	ทดลองครั้งที่	ค่าซีโอดีเริ่มต้น (ppm.)	ค่าซีโอดีหลังตกตะกอน (ppm.)				
			pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
Alum	1	1,492	928	855	874	1,001	1,110
	2	1,966	1,247	1,101	1,174	1,292	1,447
	3	1,869	1,246	1,090	1,063	1,246	1,356
PAC	1	1,492	928	837	783	965	1,101
	2	1,966	1,265	1,147	1,083	1,301	1,465
	3	1,869	1,237	1,118	1,026	1,227	1,328
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1	1,756	1,158	943	990	1,037	1,168
	2	1,869	1,246	1,044	1,118	1,182	1,301
	3	1,644	1,055	859	878	1,018	1,074

ตารางที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง

สารเคมี	ทดลองครั้งที่	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)				
		pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
Alum	1	37.80	42.68	41.50	32.93	25.60
	2	36.57	43.98	40.28	34.26	26.39
	3	33.33	41.67	43.14	33.33	27.45
	เฉลี่ย	35.90	42.78	41.64	33.51	26.48
PAC	1	37.80	43.90	47.56	35.37	26.22
	2	35.65	41.67	44.91	33.80	25.46
	3	33.82	40.20	45.10	34.31	28.92
	เฉลี่ย	35.76	41.92	45.86	34.49	26.87
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1	34.04	46.28	43.62	40.96	33.51
	2	33.33	44.12	40.20	36.76	30.39
	3	35.80	47.73	46.59	38.07	34.66
	เฉลี่ย	34.39	46.04	43.47	38.60	32.85

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการตกตะกอนด้วยสารเคมีที่พีเอชต่างๆ

สารเคมี	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%)				
	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
Alum	35.90 ^a	42.78 ^b	41.64 ^b	33.51 ^a	26.48 ^c
PAC	35.76 ^a	41.92 ^b	45.86 ^c	34.49 ^a	26.87 ^d
FeSO ₄ · 7H ₂ O	34.39 ^a	46.04 ^b	43.47 ^b	38.60 ^c	32.85 ^a

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละแถว หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

จากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ในตารางที่ 7 จะเห็นว่า สารส้มมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) สูงสุดที่พีเอช = 6 คือ 42.78 % และต่ำสุดที่พีเอช = 9 คือ 26.48 % และเมื่อทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ที่พีเอช = 6 และพีเอช = 7 ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มอื่น และ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ที่พีเอช = 5 และพีเอช = 8 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากกลุ่มอื่นเช่นกัน ส่วนค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ที่พีเอช = 9 จะแตกต่างจากทุกกลุ่ม และมีค่าต่ำที่สุด

เมื่อใช้ PAC เป็นตัวช่วยตกตะกอนตามตารางที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) สูงสุดที่พีเอช = 7 คือ 45.86 % และต่ำสุดที่พีเอช = 9 คือ 26.87 % และเมื่อทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ที่พีเอช = 5 และพีเอช = 8 ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มอื่น ส่วนที่พีเอช = 6, 7 และ 9 ค่าเฉลี่ยจะแตกต่างจากทุกกลุ่ม

ในการตกตะกอนด้วย Alum โดยแปรเปลี่ยนพีเอช ลักษณะการตกตะกอนเป็นไปตามรูปที่ 9 ส่วนการตกตะกอนด้วย PAC จะเป็นไปตามรูปที่ 10 กลไกการตกตะกอนของ Alum และ PAC น่าจะมีลักษณะคล้ายกัน เนื่องจากมีส่วนของประจุบวกเป็น Al³⁺ เหมือนกันและให้ผลการทดลองที่สังเกตได้ใน

ลักษณะเดียวกัน คือ ไม่ว่าจะปรับพีเอชเป็นเท่าใด เมื่อเติมสารเคมีความเข้มข้น 1000 ppm. จะเกิด Floc และมีการตกตะกอนอย่างรวดเร็ว หลังตกตะกอนตัวอย่างน้ำที่ได้มีลักษณะสีเหลืองใส ส่วนปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้ PAC จะมีปริมาณมากกว่า และขนาดของ Floc ที่เกิดขึ้นจากการใช้ PAC จะมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย

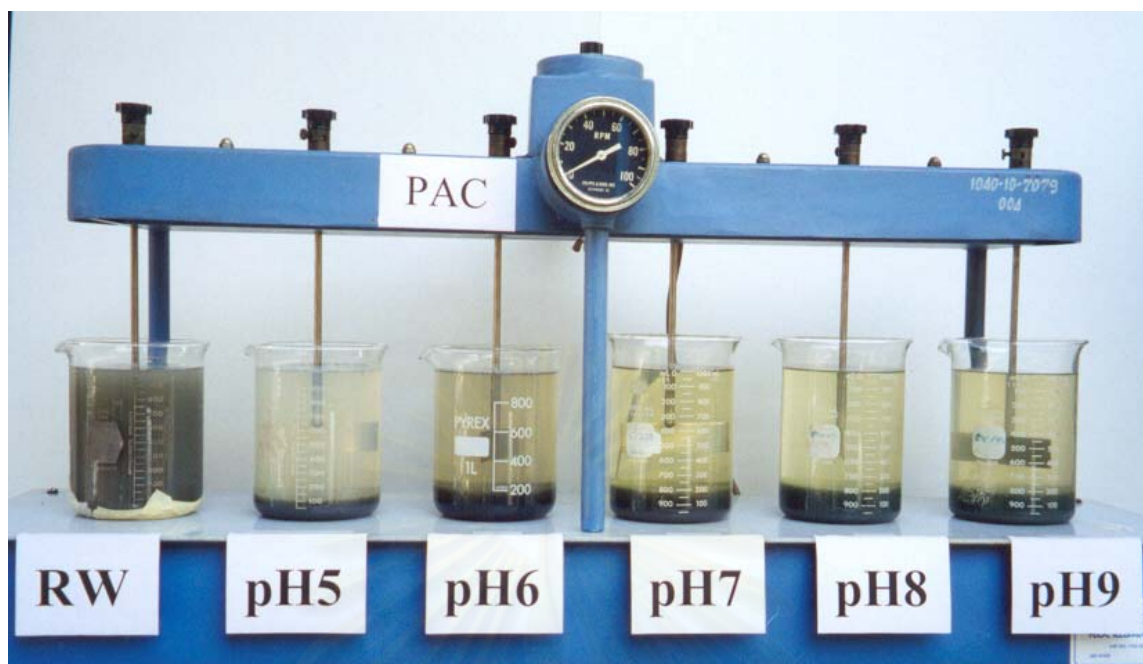
โดยทั่วไปน้ำเสียรวมจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง จะมีขนาดอนุภาคอยู่ในรูปคอลลอยด์ ต้องใช้เวลานานในการตกตะกอน การใช้สารเคมีจึงเป็นการช่วยให้ตกตะกอนเร็วขึ้น องค์ประกอบของน้ำเสียมีสารหลายประเภทอยู่รวมกัน ที่เห็นได้ชัด ได้แก่ Protein , Tannin , Chromium , Fat , Sulfide และอื่นๆ และเนื่องจากการวัดค่าซีโอตินั้น ไม่ได้ระบุถึงสารใดสารหนึ่งที่แน่นอน แต่จะหมายถึงสารทุกตัวที่สามารถถูกย่อยสลายได้ทั้งทางชีวภาพและทางเคมี ดังนั้นกลไกการตกตะกอนโดยตัวช่วยตกตะกอนอาจอธิบายได้จากตัวอย่างของการตกตะกอนของ Protein (Thorstensen , 1993) โดยใช้สารส้มเป็นตัวช่วยตกตะกอน Protein เป็นสารที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช Protein จะมี Carboxyl และ Amino group ซึ่งสามารถแตกตัวออกเป็นประจุบวกและลบได้ ที่สภาวะเป็นกรด อนุภาค Protein จะมีประจุเป็นบวก Carboxyl และ Amino group จะอยู่ในรูป COOH และ NH_3^+ ที่สภาวะเป็นกลาง (พีเอชประมาณ 5 - 7) Carboxyl และ Amino group จะอยู่ในรูปของ COO^- และ NH_3^+ และในสภาวะเป็นด่าง Carboxyl และ Amino group จะอยู่ในรูปของ COO^- และ NH_4OH ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง มีพีเอชในช่วง 7.8 - 8.4 ดังนั้น ประจุรวมบนพื้นผิวอนุภาค Protein จะเป็นลบ การเติมสารส้มจะสามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคได้ โดยสารส้มจะแตกตัวเป็น $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ และ $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ ซึ่งสามารถดูดซับบนผิวของอนุภาค และทำลายประจุลบของอนุภาคได้ทำให้อนุภาคสูญเสียเสถียรภาพ เมื่อมีการกวนช้าเกิดขึ้นอนุภาคจึงพร้อมที่จะรวมตัวกันหลายๆอนุภาคจนกลายเป็น Floc ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตกตะกอนได้ง่าย (ตามรูปที่ 11)

ผลการตกตะกอนโดยใช้ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ตามตารางที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอติ (%) สูงสุดที่พีเอช = 6 คือ 46.04 % และต่ำสุดที่พีเอช = 9 คือ 32.85 % และเมื่อทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอติ (%) ที่พีเอช = 5 และพีเอช = 9 ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มอื่นและ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอติ (%) ที่พีเอช = 6 และพีเอช = 7 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากกลุ่มอื่นเช่นกัน ส่วนค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอติ (%) ที่พีเอช = 9 จะแตกต่างจากทุกกลุ่ม และมีค่าต่ำที่สุด

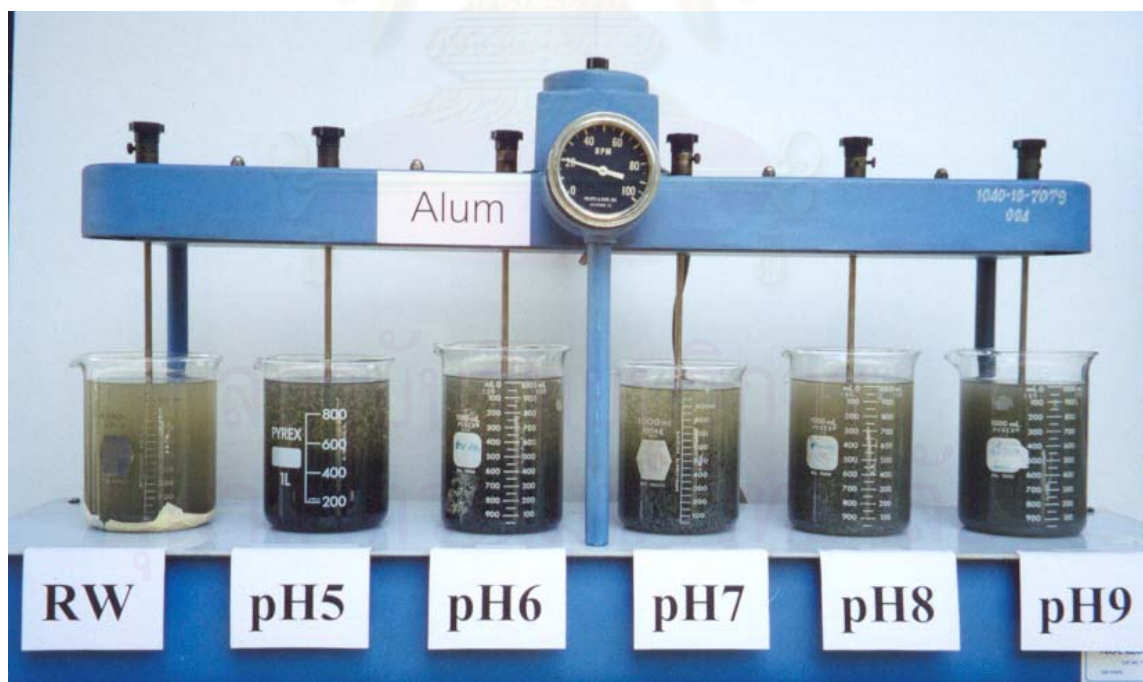
ในการตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ โดยแปรเปลี่ยนพีเอช ลักษณะการตกตะกอนเป็นไปตามรูปที่ 12 กลไกการเกิดตะกอนและลักษณะตะกอนที่ได้จะแตกต่างจากการใช้สารส้มและ PAC โดยลักษณะตะกอนจะเป็นสีดำ มีขนาดเล็ก และตกตะกอนช้า ทำให้สารละลายในภาพรวมเป็นสีดำ ในการทดลองเปลี่ยนแปลงพีเอชให้อยู่ในช่วง 5 – 9 ผลการทดลองที่ได้ คือ ไม่ว่าพีเอชจะเป็นเท่าใด หลังตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ แล้วจะเกิดเป็นตะกอนสีดำ และจากข้อมูลที่ว่าตะกอนและสีดำของน้ำเสียปกติจะเกิดจาก Hydrogen sulfide ร่วมกับเหล็กเกิดเป็น Ferrous sulfide (FeS) (Tchobanoglous , 1991) และ Ferrous sulfide (FeS) มีคุณสมบัติเป็น Granule มีสีน้ำตาลหรือดำ (Sax , 1991) ประกอบกับการสังเกตตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังซึ่งเก็บมาทดลองพบว่ามึกลิ่นเหม็นคล้ายกลิ่นของ Hydrogen sulfide และจากข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง (Thorstensen , 1993) ที่ว่าน้ำเสียมีองค์ประกอบหลายอย่างรวมถึง Hydrogen sulfide ด้วย ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าตะกอนสีดำที่เกิดขึ้นจากการทดลอง คือ FeS ซึ่งเกิดจาก $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ แยกตัวให้ Fe^{2+} และทำปฏิกิริยากับ Hydrogen sulfide ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสีย

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)จากการตกตะกอนด้วย Alum , PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆ ได้แสดงเปรียบเทียบตามกราฟรูปที่ 1

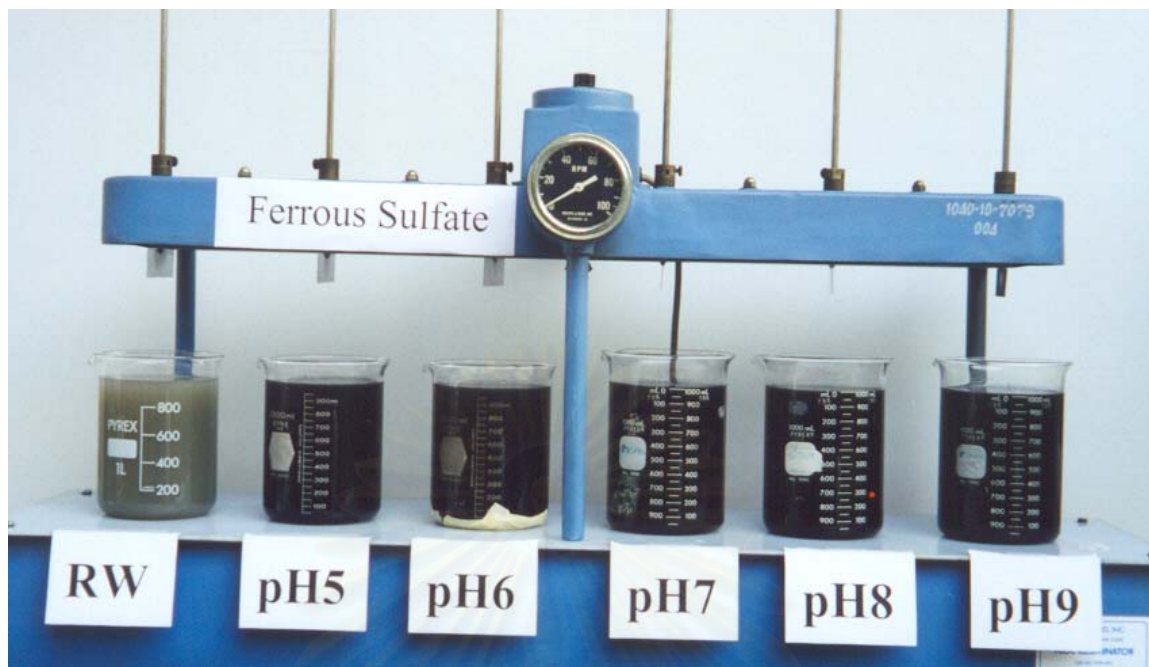
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



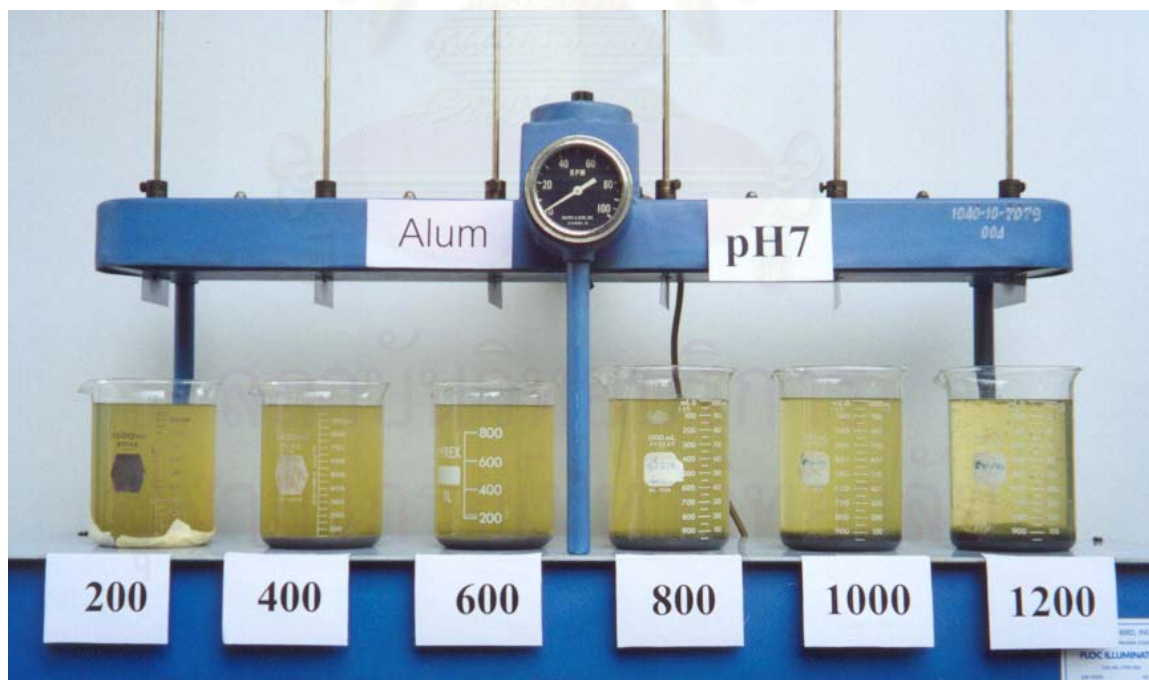
รูปที่ 10 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆ เทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน (RW)



รูปที่ 11 แสดงลักษณะการรวมตัวของอนุภาคเกิดเป็น Floc จากการใส่สารส้มและกวนช้าที่ 20 rpm.

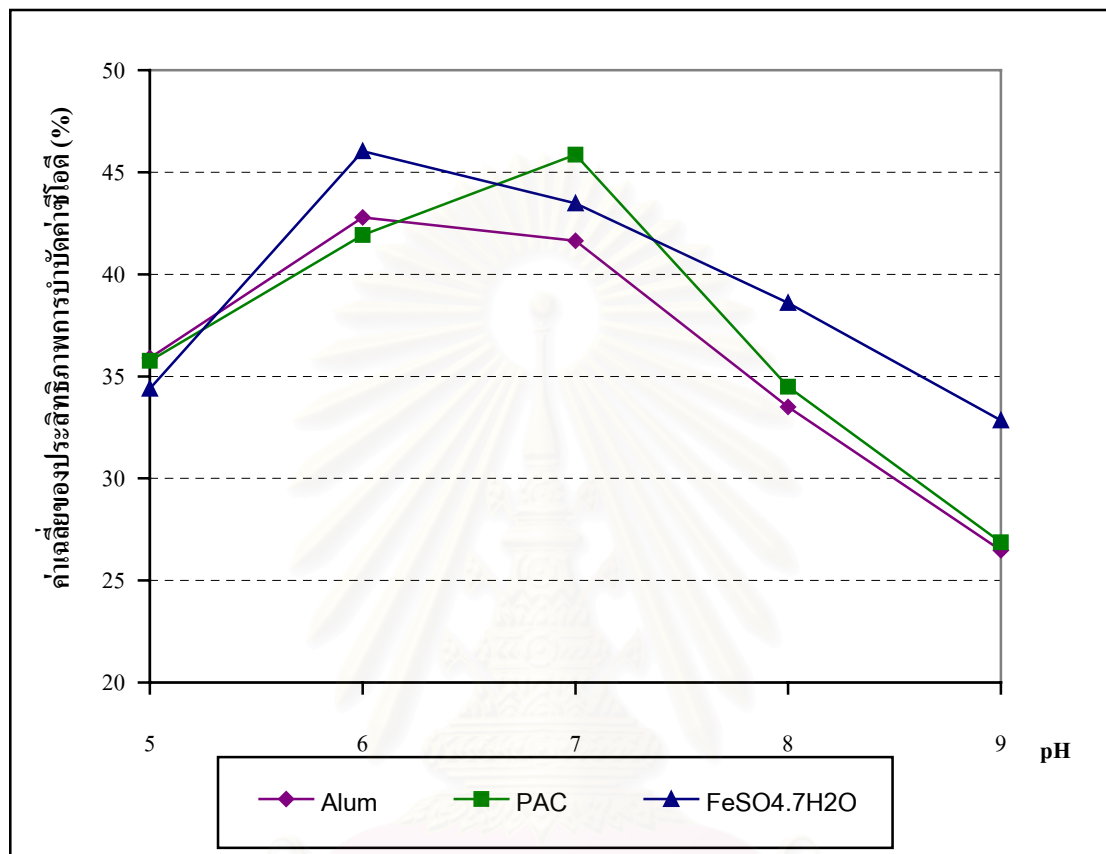


รูปที่ 12 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆเทียบกับตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน (RW)



รูปที่ 13 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้นต่างๆที่สภาวะพีเอช = 7

กราฟรูปที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี จากการตกตะกอนด้วย Alum , PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 1,000 ppm. ที่พีเอชต่างๆ



4.2 ผลการหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการตกตะกอน

จากผลการทดลองในข้อ 4.1 (ตารางที่ 7) เมื่อใช้ Alum และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีสูงสุดที่พีเอช = 6 แต่จากการทดสอบทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีของ Alum และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่พีเอช = 6 และพีเอช = 7 ไม่แตกต่างกัน การปรับพีเอชเป็น 6 จะใช้ปริมาณมากกว่าการปรับพีเอชเป็น 7 ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดจึงเลือกสถานะที่พีเอช = 7 เป็นสถานะควบคุมในการหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับสารส้มและ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

เมื่อใช้ PAC (ตารางที่ 7) ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีสูงสุด ที่พีเอช = 7 ดังนั้นจึงเลือกสถานะพีเอช = 7 เป็นสถานะควบคุมในการหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นการทดสอบเบื้องต้น พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 ppm. ผลการตกตะกอนทางกายภาพจากการสังเกตุด้วยตาเปล่า คือ ตัวอย่างน้ำหลังตกตะกอนยังขุ่นอยู่ และตะกอนเกิดขึ้นไม่มากนัก ดังนั้นจึงกำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีสำหรับทดลองหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม โดยเริ่มต้นที่ 200 ppm. และเพิ่มความเข้มข้นขึ้นครั้งละ 200 ppm. ปรับพีเอชเป็น 7 ทำการตกตะกอนและวิเคราะห์ค่าซีโอดี ก่อนและหลังการตกตะกอน ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดี แสดงในตารางที่ 8 และคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ตามตารางที่ 9 ทั้งนี้ได้สรุปค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ไว้ในตารางที่ 10 และได้ทำการทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข้อ 4, 5 และ 6



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 แสดงค่าซีโอไซด์ก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยสารเคมีต่างๆที่พีเอช = 7 ที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ซ้ำ

สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าซีโอไซด์ (ppm.)			สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าซีโอไซด์ (ppm.)			สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าซีโอไซด์ (ppm.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Alum	0	1,911	1,942	2,242	PAC	0	1,438	1,942	2,242	FeSO ₄ · 7H ₂ O	0	1,812	1,777	2,038
	200	1,328	1,319	1,569		200	880	1,324	1,700		200	1,224	1,182	1,401
	400	1,263	1,264	1,513		400	851	1,236	1,606		400	1,158	1,099	1,338
	600	1,198	1,227	1,420		600	822	1,206	1,476		600	1,083	1,044	1,256
	800	1,145	1,172	1,308		800	763	1,206	1,420		800	1,046	1,008	1,183
	1,000	1,101	1,136	1,308		1,000	734	1,177	1,326		1,000	990	953	1,119
	1,200	1,036	1,127	1,289		1,200	704	1,118	1,289		1,200	1,009	925	1,101

ตารางที่ 9 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วยสารเคมีต่างๆที่พีเอช = 7 ที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ชั้น

สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)				สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)				สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Alum	200	30.52	32.08	30.00	30.87	PAC	200	38.78	31.82	24.17	31.59	FeSO ₄ · 7H ₂ O	200	32.47	33.51	31.25	32.41
	400	33.91	34.91	32.50	33.77		400	40.82	36.36	28.33	35.17		400	36.08	38.14	34.38	36.20
	600	37.30	36.79	36.67	36.92		600	42.86	37.88	34.17	38.30		600	40.21	41.24	38.39	39.95
	800	40.10	39.62	41.67	40.46		800	46.94	37.88	36.67	40.50		800	42.27	43.30	41.96	42.51
	1,000	42.38	41.51	41.67	41.85		1,000	48.98	39.39	40.83	43.07		1,000	45.36	46.39	45.09	45.61
	1,200	45.77	41.98	42.50	43.42		1,200	51.02	42.42	42.50	45.31		1,200	44.33	47.94	45.98	46.08

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) จากการตกตะกอนด้วยสารเคมีต่างๆ ที่พีเอช = 7 โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้น

สารเคมี	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)					
	200 ppm.	400 ppm.	600 ppm.	800 ppm.	1000 ppm.	1200 ppm.
Alum	30.87 ^a	33.77 ^b	36.92 ^c	40.46 ^d	41.85 ^{de}	43.42 ^e
PAC	31.59 ^a	35.17 ^{ab}	38.30 ^{ab}	40.50 ^{ab}	43.07 ^b	45.31 ^b
FeSO ₄ · 7H ₂ O	32.41 ^a	36.20 ^b	39.95 ^c	42.51 ^d	45.61 ^e	46.08 ^e

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละแถว หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT
 - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มากกว่า 1 ตัวในแต่ละแถว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ผลการตกตะกอนโดยใช้ Alum ที่ความเข้มข้น 200 - 1,200 ppm. (ตารางที่ 10) เมื่อทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ของ Alum ความเข้มข้น 800 ppm. และ 1,000 ppm. ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มอื่น และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. และ 1,200 ppm. ไม่แตกต่างกัน และจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มอื่นด้วยเช่นกัน

ผลการตกตะกอนโดยใช้ PAC ที่ความเข้มข้น 200 - 1,200 ppm. (ตารางที่ 10) เมื่อทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ที่ความเข้มข้น 200 ppm. , 400 ppm. , 600 ppm. และ 800 ppm. ไม่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ที่ความเข้มข้น 400 - 1,200 ppm. ไม่แตกต่างกัน

ผลการตกตะกอนโดยใช้ FeSO₄ · 7H₂O ความเข้มข้น 200 - 1,200 ppm. (ตารางที่ 10) เมื่อทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. และ 1,200 ppm. ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มอื่น

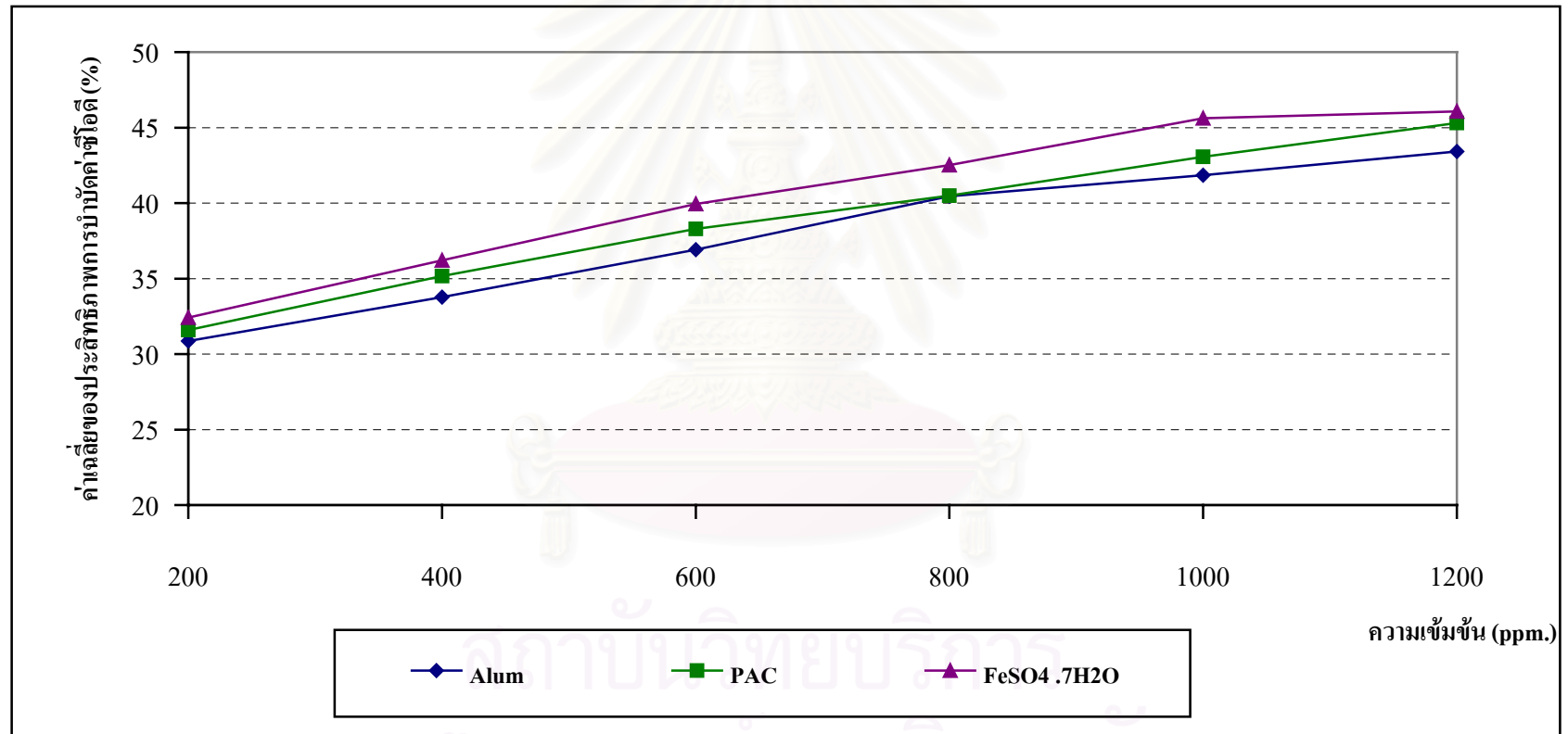
ในการตกตะกอนโดยการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารช่วยตกตะกอนทุกตัว โดยทดลองที่สถานะพีเอช = 7 ลักษณะการตกตะกอนของตัวอย่างน้ำโดยใช้ Alum , PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นไปตามรูปที่ 13 , 14 และ 15 ตามลำดับ

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่าสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนทุกตัว เมื่อใช้สารเคมีในปริมาณมากขึ้น จะสามารถบำบัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้น และสารเคมีแต่ละตัวมีความสามารถในการบำบัดค่าซีโอดีได้ใกล้เคียงกัน ถ้าเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี สารเคมีที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด คือ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ รองลงมา คือ PAC แต่จากลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นจากการทดลอง พบว่าหลังตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นเท่าใด ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำหลังตกตะกอนยังคงเหมือนเดิม คือ เกิดตะกอนสีดำแขวนลอยในน้ำ ใช้เวลานานในการตกตะกอน ดังนั้นถึงแม้ว่า $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดแต่ยังไม่ใช้สารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากการใช้ Alum และ PAC พบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกัน คือ เกิดตะกอนขึ้นและเป็นตะกอนที่สามารถจมตัวลงได้ค่อนข้างเร็ว ลักษณะของตะกอนจากการใช้ PAC จะให้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ และมีปริมาณมากกว่า Alum ในทุกความเข้มข้น ตัวอย่างน้ำหลังจากตกตะกอนด้วย PAC จะใสกว่าด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณตะกอนและลักษณะน้ำเสียในรูปที่ 16 - 21

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี จากการตกตะกอนด้วย Alum , PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่พีเอช = 7 โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้น ได้แสดงเปรียบเทียบตามกราฟรูปที่ 2

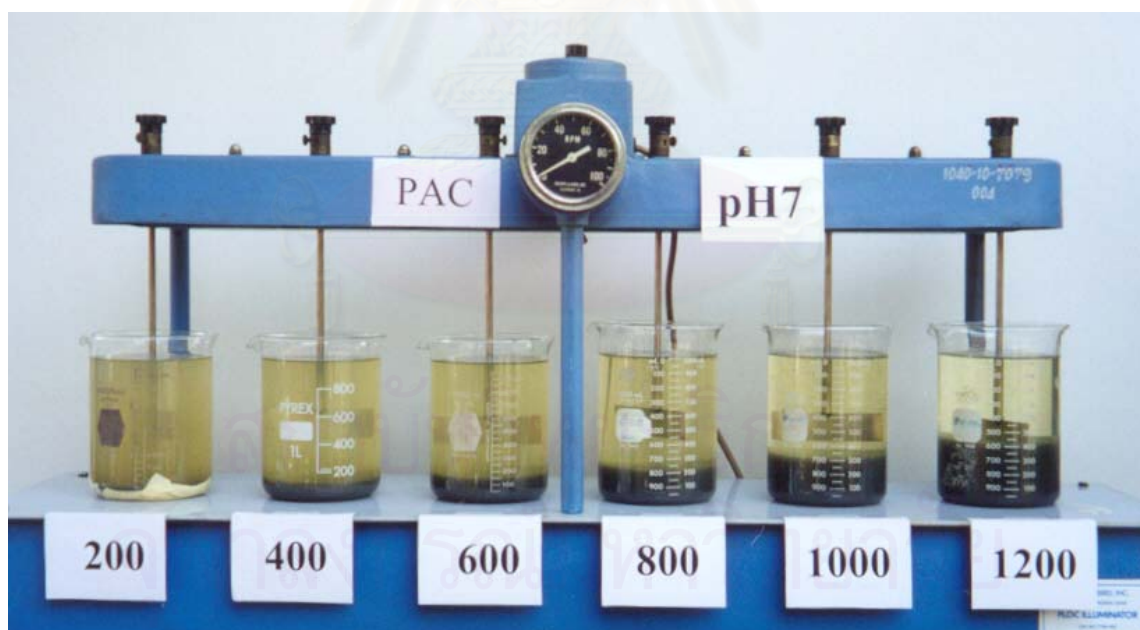
จากผลการทดลอง (ตารางที่ 10) จะเห็นว่า ตัวช่วยตกตะกอนทั้งสามชนิดให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีใกล้เคียงกัน ดังนั้น การจะเลือกใช้ตัวช่วยตกตะกอนความเข้มข้นเท่าใด และใช้ชนิดใดนั้น จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น โดยจะเลือกตัวช่วยตกตะกอนและสถานะการตกตะกอนที่จุดที่ให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

กราฟรูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการตกตะกอนด้วย Alum , PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่พีเอช = 7 โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้น





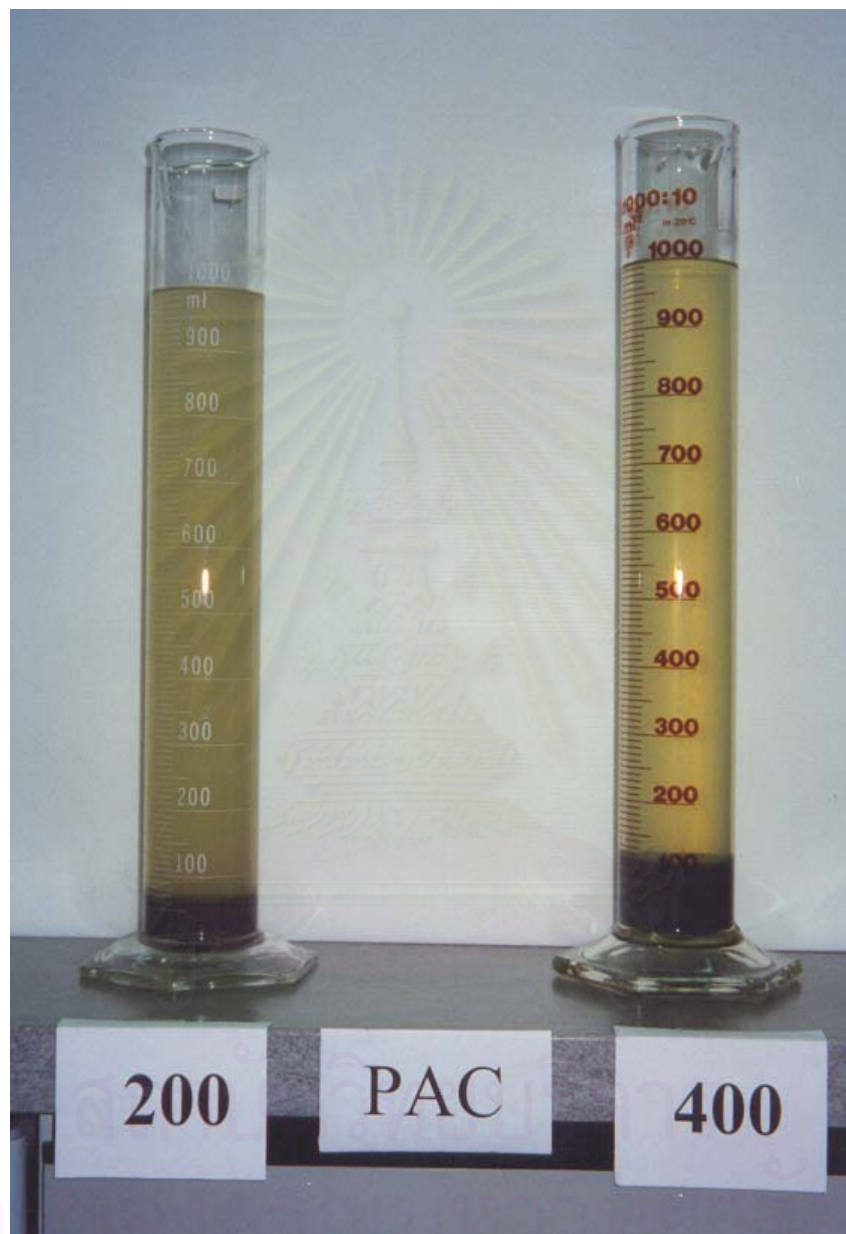
รูปที่ 14 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้นต่างๆที่สภาวะพีเอช = 7



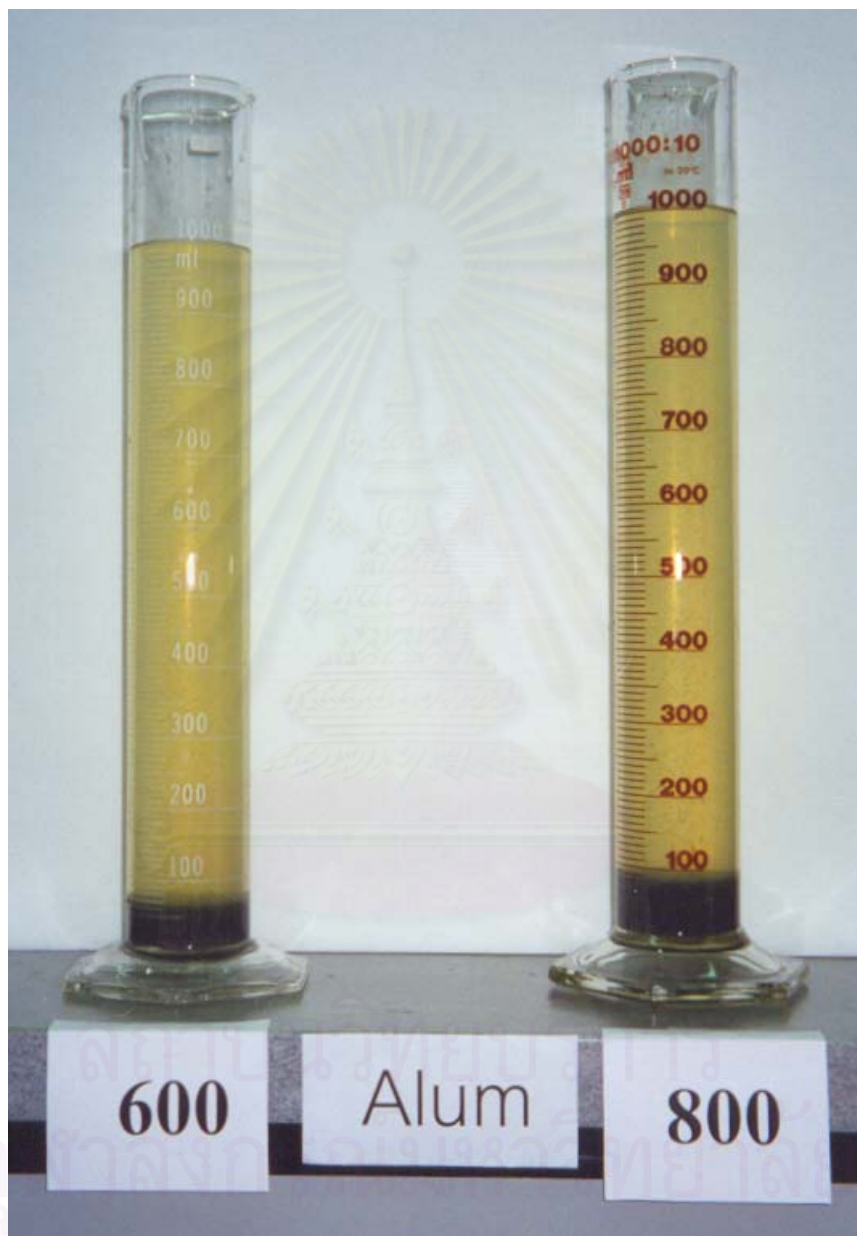
รูปที่ 15 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้นต่างๆที่สภาวะพีเอช = 7



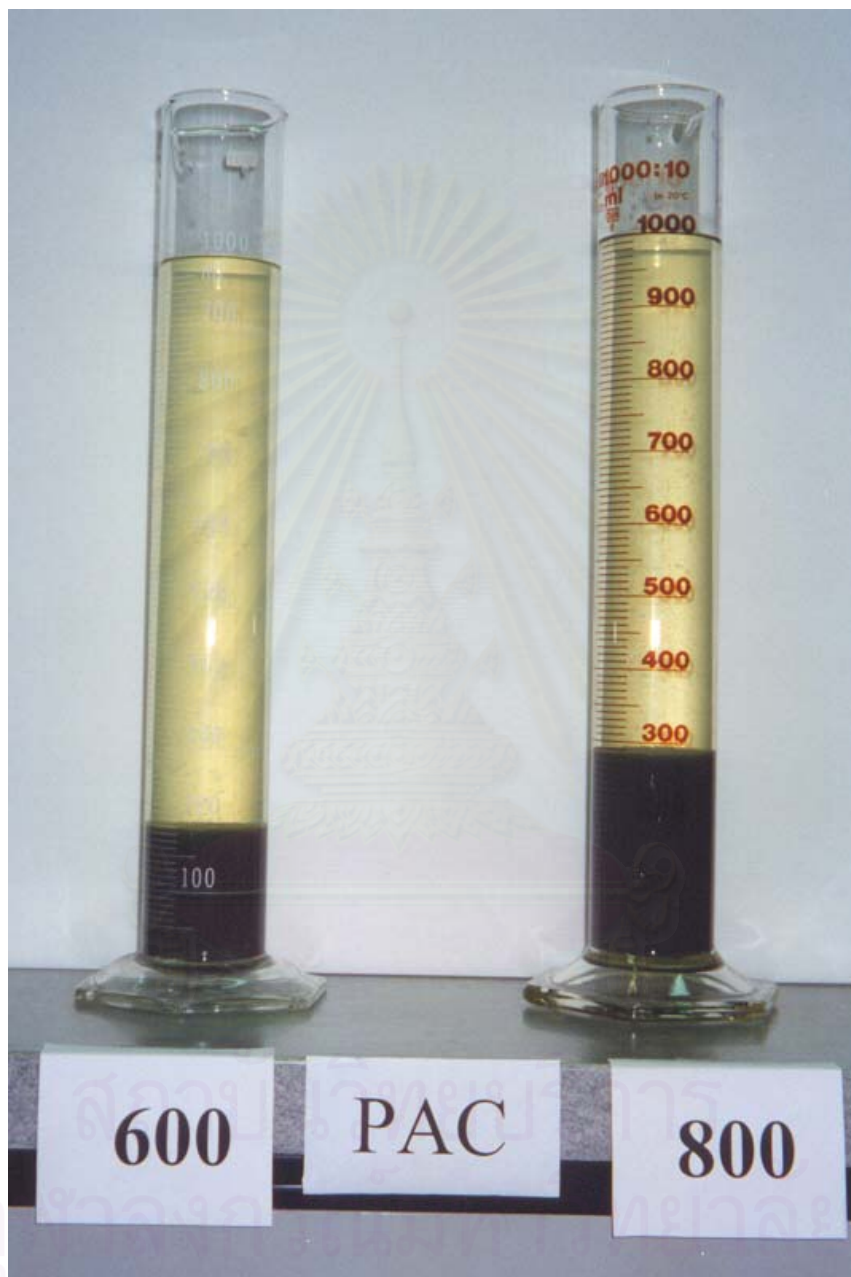
รูปที่ 16 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 200 และ 400 ppm.



รูปที่ 17 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 200 และ 400 ppm.



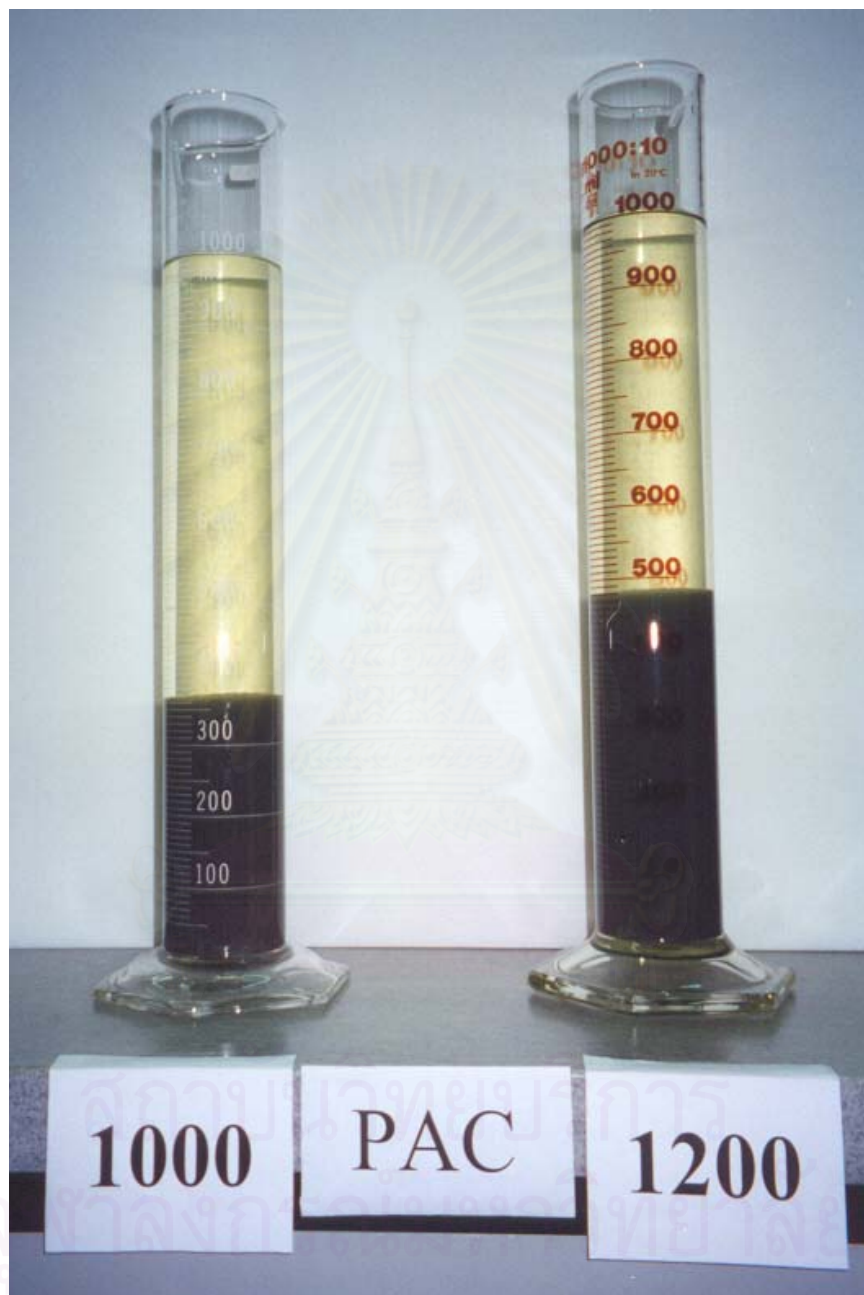
รูปที่ 18 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 600 และ 800 ppm.



รูปที่ 19 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 600 และ 800 ppm.



รูปที่ 20 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้น 1,000 และ 1,200 ppm.



รูปที่ 21 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำและปริมาณตะกอนหลังการตกตะกอนด้วย PAC ความเข้มข้น 1,000 และ 1,200 ppm.

การคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมีต่างๆ จะใช้ราคาสารเคมีคุณภาพเชิงพาณิชย์ (Commercial grade) จากบริษัท ซิกม่าไชนแอนทิฟิค ซึ่งเป็นราคา ณ วันที่ 24 พฤศจิกายน 2542 ราคาสารเคมีเป็นดังนี้

Sulfuric acid 98 %	=	220 บาท ต่อ 35 กิโลกรัม
Sodium hydroxide	=	450 บาท ต่อ 25 กิโลกรัม
Alum	=	350 บาท ต่อ 50 กิโลกรัม
PAC	=	750 บาท ต่อ 25 กิโลกรัม
FeSO ₄ · 7H ₂ O	=	176 บาท ต่อ 25 กิโลกรัม

ในการคำนวณจะคำนวณเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายที่ความเข้มข้น 200 ppm. และ 1,200 ppm. ของตัวช่วยตกตะกอน Alum และ PAC ส่วน FeSO₄ · 7H₂O เนื่องจากให้ผลการตกตะกอนทางกายภาพไม่เหมาะสม คือ เกิดตะกอนสีดำ และตกตะกอนช้า จึงไม่เลือก FeSO₄ · 7H₂O เป็นตัวช่วยตกตะกอน ส่วนการเลือกสภาวะพีเอชที่เหมาะสม จะคำนวณเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายที่พีเอช = 6 และพีเอช = 7 เนื่องจากเป็นพีเอชที่ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด (ตารางที่ 7) และกรดที่ใช้ในการปรับพีเอช คือ Sulfuric acid

ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมีในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง คิดราคาค่าใช้จ่าย บาทต่อลูกบาศก์เมตร เฉพาะตัวช่วยตกตะกอน คือ

Alum 200 ppm.	=	1.4	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
Alum 1,200 ppm.	=	8.4	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
PAC 200 ppm.	=	6	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
PAC 1,200 ppm.	=	36	บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ค่าใช้จ่ายของกรดและด่างในการปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างเป็นพีเอช = 6 และพีเอช = 7 โดยใช้ Alum และ PAC ความเข้มข้น 200 และ 1,200 ppm. แยกได้ดังนี้

Alum 200 ppm.	พีเอช=6 ค่าใช้จ่าย	=	5.78 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
Alum 200 ppm.	พีเอช=7 ค่าใช้จ่าย	=	2.08 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
Alum 1,200 ppm.	พีเอช=6 ค่าใช้จ่าย	=	4.63 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
Alum 1,200 ppm.	พีเอช=7 ค่าใช้จ่าย	=	1.23 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

PAC 200 ppm.	พีเอช=6 ค่าใช้จ่าย	= 6.94 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
PAC 200 ppm.	พีเอช=7 ค่าใช้จ่าย	= 3.24 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
PAC 1,200 ppm.	พีเอช=6 ค่าใช้จ่าย	= 5.97 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
PAC 1,200 ppm.	พีเอช=7 ค่าใช้จ่าย	= 2.31 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

และเมื่อคิดราคารวมของตัวช่วยตกตะกอนและกรดที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำ ในหน่วยบาทต่อลูกบาศก์เมตร จะสรุปได้ตามตาราง 11

จากการคำนวณราคา (ตารางที่ 11) จะเห็นว่า PAC จะมีค่าใช้จ่ายสารเคมีสูงกว่า Alum มากในทุกสภาวะ ส่วนค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของ Alum และ PAC ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะแตกต่างกันประมาณ 1 - 2 % (ตารางที่ 10) ดังนั้นตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมควรจะเป็น Alum และสภาวะพีเอชที่เหมาะสมควรจะเป็นพีเอช = 7 เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า และในทางสถิติค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ที่พีเอช = 6 และพีเอช = 7 ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 7)

เมื่อใช้ความเข้มข้นของ Alum ที่ 1,200 ppm. จะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าเมื่อใช้ Alum ที่ความเข้มข้น 200 ppm. ประมาณ 200 % (ตารางที่ 11) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ามาก ในขณะที่ Alum ที่ความเข้มข้น 1,200 ppm. สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้สูงขึ้นประมาณ 12 % (ตารางที่ 10) จะเห็นว่า Alum ที่ 1,200 ppm. สามารถบำบัดค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นจากการใช้ Alum 200 ppm. ไม่มากนัก แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นถึง 200 % และหลังทำการตกตะกอนแล้วจะทำการบำบัดต่อโดยการออกซิเดชัน ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย จึงเลือกความเข้มข้นของ Alum ที่ใช้ในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ 200 ppm.

ตารางที่ 11 แสดงค่าใช้จ่ายรวมเปรียบเทียบระหว่างการบำบัดโดยใช้ Alum และ PAC

ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าใช้จ่ายสำหรับ Alum (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)		ค่าใช้จ่ายสำหรับ PAC (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)	
	พีเอช = 6	พีเอช = 7	พีเอช = 6	พีเอช = 7
200	7.18	3.48	12.94	9.24
1,200	13.03	9.63	41.97	38.31

4.3 ผลการหาระดับฟิโฆที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้คลอรีน

ในการทดสอบเบื้องต้นเพื่อกำหนดค่าความเข้มข้นของสารเคมีให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงฟิโฆในการหาระดับฟิโฆที่เหมาะสมสำหรับการออกซิเดชัน การทดสอบนี้จะทำโดยนำตัวอย่างน้ำเสียหลังตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่ฟิโฆ = 7 มาทดลองเติมสารเคมีในปริมาณต่างๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการสังเกตด้วยตาเปล่า ผลการทดลองแสดงตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นของตัวอย่างน้ำหลังทำการออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่มีความเข้มข้นต่างๆ

สารเคมี	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อใช้สารเคมีความเข้มข้น					
	100 ppm.	300 ppm.	500 ppm.	700 ppm.	900 ppm.	1,100 ppm.
KMnO ₄	เกิดตะกอนสีขาวขุ่นแขวนลอยในน้ำ			เกิดตะกอนสีน้ำตาลเข้มตกตะกอน ตัวอย่างน้ำใส	เกิดตะกอนสีน้ำตาลเข้มตกตะกอน ตัวอย่างน้ำมีสีม่วงแดงอ่อนๆ	
NaOCl	เกิดตะกอนสีขาวขุ่นแขวนลอยในน้ำ					เกิดตะกอนตัวอย่างน้ำเป็นสีเหลืองขุ่น
H ₂ O ₂	ตัวอย่างน้ำมีลักษณะสีเหลืองขุ่น					

จากตารางที่ 12 จะเห็นว่า KMnO₄ ที่ความเข้มข้น 100 – 500 ppm. เกิดตะกอนขาวขุ่นแขวนลอย ตัวอย่างน้ำขุ่น จึงไม่เลือกความเข้มข้นในช่วงนี้ เมื่อใช้ KMnO₄ ที่ความเข้มข้น 700 – 900 ppm. เกิดตะกอนสีน้ำตาลเข้มและตัวอย่างน้ำใส ตะกอนที่เกิดขึ้นจมตัวอย่างรวดเร็ว ส่วนที่ความเข้มข้น 1,100 ppm. ตัวอย่างน้ำเริ่มมีสีม่วงแดงอ่อนๆ ซึ่งแสดงถึงว่า มี KMnO₄ มากเกินพอ ดังนั้นช่วงความเข้มข้นของ KMnO₄ ที่เป็นไปได้ในการเลือกใช้เพื่อทดลองหาระดับฟิโฆที่เหมาะสมจึงควรเป็นช่วง 700 – 900 ppm. แต่เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายจึงกำหนดปริมาณความเข้มข้นของ KMnO₄ ไว้ที่ 700 ppm.

ส่วนเมื่อใช้ NaOCl ทดสอบเบื้องต้น (ตารางที่ 12) ที่ความเข้มข้น 100 – 900 ppm. เกิดตะกอนสีขาวขุ่นแขวนลอย ทุกความเข้มข้นมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกัน ส่วนที่ความเข้มข้น 1,100 ppm. เกิดตะกอนตัวอย่างน้ำเป็นสีเหลืองขุ่นแขวนลอย และเนื่องจากลักษณะทางกายภาพเมื่อใช้ NaOCl ที่ความเข้มข้นต่างๆจะต่างกันน้อยมาก ดังนั้นจึงกำหนดปริมาณความเข้มข้นของ NaOCl ที่ใช้ทดลองหา

ระดับพีเอชที่เหมาะสมเป็น 700 ppm. เช่นเดียวกับเมื่อใช้ KMnO_4 และในทำนองเดียวกัน เมื่อใช้ H_2O_2 (ตารางที่ 12) ลักษณะทางกายภาพต่างกันน้อยมาก จึงกำหนดปริมาณ H_2O_2 สำหรับใช้ทดลองหาพีเอชที่เหมาะสมเป็น 700 ppm.

การทดลองเพื่อหาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีไอดีโดยการออกซิเดชัน จะแปรเปลี่ยนพีเอชให้อยู่ในช่วง 5 - 9 เนื่องจากเป็นช่วงพีเอชที่สามารถปล่อยน้ำเสียทิ้งได้ตามที่มาตรฐานน้ำทิ้งกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด และหลังจากทำการออกซิเดชันโดยการแปรเปลี่ยนพีเอชแล้วจะวิเคราะห์ค่าซีไอดีหลังทำการออกซิเดชัน ซึ่งผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 13 และคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ตามตารางที่ 14 ทั้งนี้ได้สรุปค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ไว้ในตารางที่ 15 และได้ทำการทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข้อ 7, 8 และ 9

ตารางที่ 13 แสดงค่าซีไอดีก่อนและหลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีไอดีหลังออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง

สารเคมี	ทดลองครั้งที่	ค่าซีไอดี (ppm.)		ค่าซีไอดีหลังการทำออกซิเดชัน (ppm.)				
		เริ่มต้น	หลังตกตะกอน	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
KMnO_4	1	2,121	1491	1,176	1,158	1,213	1,250	1,250
	2	2,185	1,482	1,037	963	1,074	1,111	1,037
	3	2,121	1,519	1,083	1,009	954	1,019	1,093
NaOCl	1	2,121	1,491	1,324	1,306	1,361	1,343	1,380
	2	2,185	1,482	1,259	1,296	1,278	1,278	1,333
	3	2,121	1,519	1,241	1,222	1,315	1,287	1,315
H_2O_2	1	2,121	1,491	1,491	1,509	1,546	1,491	1,491
	2	2,185	1,482	1,537	1,574	1,519	1,500	1,491
	3	2,121	1,519	1,509	1,546	1,519	1,537	1,519

ตารางที่ 14 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการใช้ออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง

สารเคมี	ทดลองครั้งที่	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)					
		หลังตกตะกอน	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
KMnO ₄	1	29.69	44.54	45.41	42.79	41.05	41.05
	2	32.20	52.54	55.93	50.85	49.15	52.54
	3	28.38	48.91	52.40	55.05	51.97	48.48
	เฉลี่ย	30.09	48.66	51.25	49.56	47.39	47.36
NaOCl	1	29.69	37.55	38.43	35.81	36.68	34.93
	2	32.20	42.37	40.68	41.53	41.53	38.98
	3	28.38	41.48	42.36	37.99	39.30	37.99
	เฉลี่ย	30.09	40.47	40.49	38.44	39.17	37.30
H ₂ O ₂	1	29.69	29.69	28.82	27.07	29.69	29.69
	2	32.20	29.66	27.97	30.50	31.36	31.78
	3	28.38	28.82	27.07	28.38	27.50	28.38
	เฉลี่ย	30.09	29.39	27.95	28.65	29.52	29.95

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่พีเอชต่างๆ หลังจากตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm.

สารเคมี	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)					
	หลังตกตะกอน	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
KMnO ₄	30.09	48.66 ^a	51.25 ^a	49.56 ^a	47.39 ^a	47.36 ^a
NaOCl	30.09	40.47 ^b	40.49 ^b	38.44 ^b	39.17 ^b	37.30 ^b
H ₂ O ₂	30.09	29.39 ^c	27.95 ^c	28.65 ^c	29.52 ^c	29.95 ^c

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละแถว หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 15) พบว่า KMnO_4 มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงกว่า NaOCl และ H_2O_2 ในทุกระดับพีเอชที่ทำการทดลอง KMnO_4 สามารถลดค่าซีโอดีลงได้ โดยที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีในแต่ละระดับพีเอชแตกต่างกันเล็กน้อย คือค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 47.36 - 51.25 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี จะสูงสุดที่พีเอช = 6 คือ 51.25 % และต่ำสุดที่พีเอช = 9 คือ 47.36 % เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทุกระดับพีเอชให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 15) เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำหลังออกซิเดชันด้วย KMnO_4 ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอช 5 - 9 พบว่า ในทุกพีเอชจะเกิดตะกอนสีน้ำตาลของ Manganese dioxide (MnO_2) ตกตะกอนได้เร็ว และน้ำที่เหลือจะใส (ตามรูปที่ 22)

และจากผลการทดลองในตารางที่ 15 เมื่อใช้ KMnO_4 เป็นตัวออกซิไดซ์จะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงขึ้น แสดงว่า KMnO_4 สามารถออกซิไดซ์สารที่มีอยู่ในน้ำได้ และหลังออกซิไดซ์มีลักษณะทางกายภาพที่น่าพอใจ คือ ตัวอย่างน้ำหลังออกซิไดซ์จะใส

เมื่อใช้ NaOCl ในการออกซิเดชัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีจะสูงกว่าเมื่อออกซิเดชันด้วย H_2O_2 และในแต่ละระดับพีเอชจะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 37.30 - 40.49 โดยที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี จะสูงสุดที่พีเอช = 6 และต่ำสุดที่พีเอช = 9 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทุกระดับพีเอชให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 15) ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำหลังออกซิเดชันด้วย NaOCl พบว่าจะมีลักษณะสีขาวขุ่น (ตามรูปที่ 23) คล้ายคอลลอยด์ หลังกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 ตัวอย่างน้ำ หลังกรองยังคงเป็นสีขาวขุ่น แสดงว่าอนุภาคที่แขวนลอยอยู่มีขนาดเล็กมาก และจากหลักพื้นฐานของการออกซิเดชันทางเคมี (USEPA , 1991) คือ การออกซิเดชันสามารถออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์บางตัวและ Sulfide ให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารที่มี Valence สูงขึ้น ส่วนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจะมีสารอินทรีย์และสารเคมีอยู่เป็นจำนวนมาก และเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าหลังตกตะกอนแล้วเหลือสารชนิดใดอยู่ในน้ำเสียบ้าง จากผลการทดลองในตารางที่ 15 จะเห็นว่าหลังออกซิเดชันด้วย NaOCl ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่า ซีโอดีหลังตกตะกอน แสดงว่า NaOCl สามารถออกซิไดซ์สารที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ และผลการออกซิเดชันบอกได้เพียงว่าเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นตะกอนขาวขุ่นคล้ายคอลลอยด์

ส่วนเมื่อทำการออกซิเดชันโดยใช้ H_2O_2 จะให้ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ยที่ได้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีหลังตกตะกอนโดยใช้ Alum 200 ppm. และในแต่ละระดับพีเอชจะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 27.95 - 29.95 โดยที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี จะสูงสุดที่พีเอช = 9 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทุกระดับพีเอชให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 15) ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำหลังออกซิเดชันด้วย H_2O_2 จะคล้ายกับตัวอย่างน้ำหลังออกซิเดชันด้วย NaOCl คือ มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นในช่วงพีเอช = 6 และพีเอช = 7 (ตามรูปที่ 24) ส่วนที่พีเอช = 5 , พีเอช = 8 และพีเอช = 9 จะมีลักษณะขุ่นและมีสีเหลืองอ่อนๆ

การออกซิเดชันโดย H_2O_2 (Eckenfelder , 1989) H_2O_2 จะสามารถออกซิไดซ์ Hydrogen sulfide ได้ทั้งในสภาวะกรด กลางและด่าง โดยให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น Sulfur หรือ Sulfate ส่วนสารอินทรีย์อื่นๆ จำเป็นต้องใช้ Catalyst ช่วยเร่งปฏิกิริยา จึงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น จากผลการทดลอง จะเห็นว่าไม่ว่าจะเป็นสภาวะใด ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีจากการออกซิเดชันด้วย H_2O_2 จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีหลังตกตะกอน หรืออาจจะกล่าวได้ว่าจากผลการทดลอง H_2O_2 ไม่สามารถลดค่าซีไอดีของตัวอย่างน้ำลงจากเดิมได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกได้ว่า H_2O_2 สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้หรือไม่ แต่สำหรับการทดลองนี้ H_2O_2 ไม่ใช่ตัวออกซิไดซ์ที่ดี

ในการทดลองทำการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ (Aeration) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่พีเอชต่างๆ ผลวิเคราะห์ค่าซีไอดีหลังออกซิเดชันแสดงในตารางที่ 16 และคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) ตามตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) สรุปรวมในตารางที่ 18 และได้ทำการทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวกข้อ 13 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี อยู่ในช่วงระหว่าง 32.47 - 36.22 โดยที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี จะสูงสุดที่พีเอช = 5 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทุกระดับพีเอชให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 18) ลักษณะตัวอย่างน้ำก่อนทำการเติมอากาศจะมีสีเหลืองขุ่น หลังทำการเติมอากาศแล้วตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นมีสีขาวขุ่น (ตามรูปที่ 25)

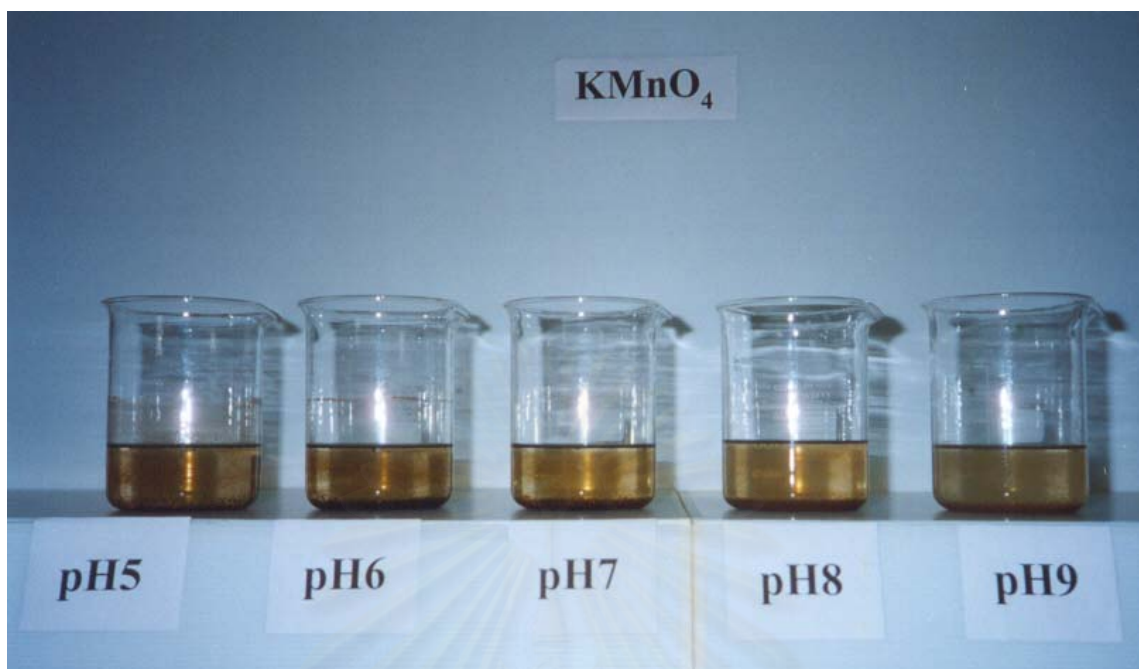
การ Aeration เป็นการเติมอากาศ หรือ ออกซิเจน ให้กับตัวอย่างน้ำ ซึ่งออกซิเจนที่เติมสามารถกำจัด Volatile gas ได้ (Jorgensen , 1979) โดยเฉพาะในตัวอย่างน้ำจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง มักจะมีองค์ประกอบของ Sulfide อยู่ ซึ่ง Sulfide เมื่ออยู่ในรูปของ Hydrogen sulfide จะสามารถใช้อากาศได้ ออกได้ และมีผลทำให้ค่าซีไอลดลง จากผลการทดลองจะเห็นว่า การเติมอากาศสามารถลดค่าซีไอได้ลงได้ในทุกระดับพีเอช แต่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ยังคงต่ำกว่าการออกซิเดชันโดย $KMnO_4$ และ $NaOCl$ อาจเนื่องมาจากการเติมอากาศในการทดลองนี้เป็นเพียงการไล่ Volatile gas และ สารประกอบอินทรีย์บางตัวที่มีจุดเดือดต่ำออกจากตัวอย่างน้ำ ส่วนสารอินทรีย์อื่นๆที่มีอยู่ในน้ำเสีย ถ้าต้องการกำจัด อาจจำเป็นต้องใช้ Catalyst ที่เหมาะสมช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่ง Catalyst ตัวใดที่เหมาะสมกับการเติมอากาศจะต้องมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 16 แสดงค่าซีไอดีก่อนและหลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีไอดี หลังออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ ที่พีเอชต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจำนวน 3 ชั่วโมง

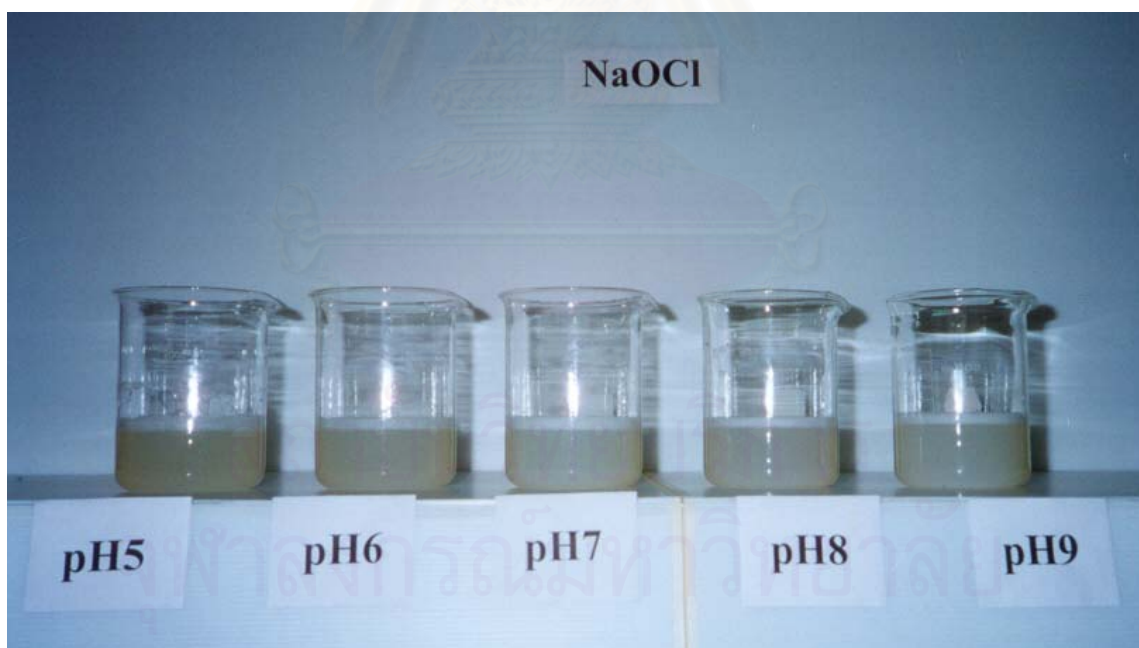
ทดลอง ครั้งที่	ค่าซีไอดี (ppm.)		ค่าซีไอดีหลังการออกซิเดชัน (ppm.)				
	เริ่มต้น	หลังตกตะกอน	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
1	1,810	1,270	1,148	1,166	1,209	1,218	1,209
2	2,075	1,423	1,276	1,294	1,331	1,368	1,368
3	2,148	1,519	1,426	1,426	1,482	1,463	1,500

ตารางที่ 17 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) หลังการทำออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ ที่พีเอชต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจำนวน 3 ชั่วโมง

ทดลอง ครั้งที่	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%)					
	หลังตกตะกอน	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9
1	29.81	36.54	35.58	33.17	32.69	33.17
2	31.42	38.50	37.61	35.84	34.07	34.07
3	29.31	33.62	33.62	31.03	31.90	30.17
เฉลี่ย	30.18	36.22	35.60	33.35	32.89	32.47



รูปที่ 22 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย KMnO_4 ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 23 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย NaOCl ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ

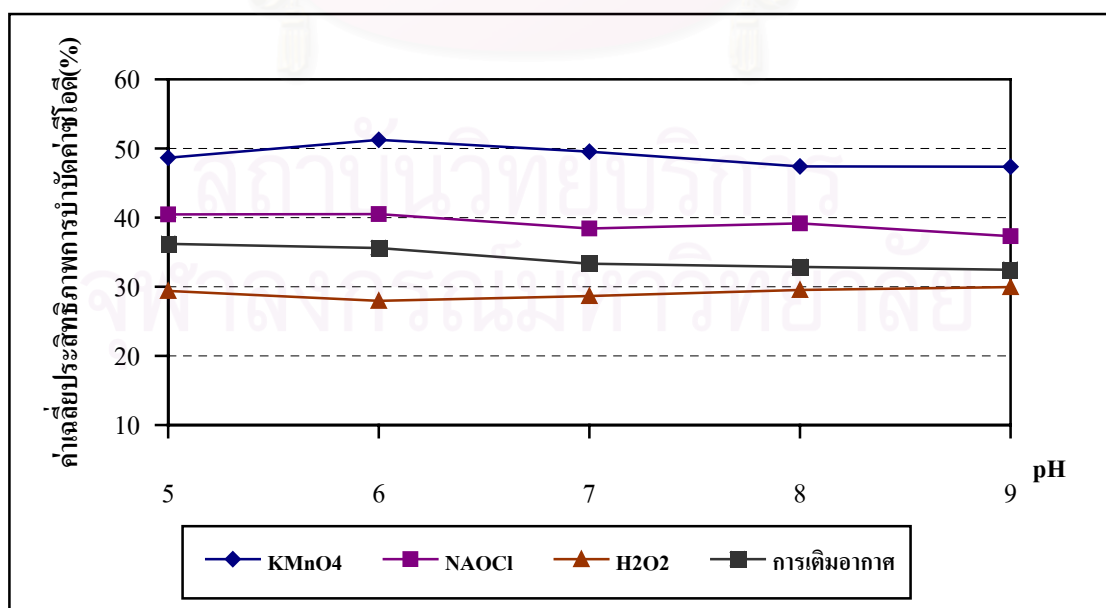
ตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศที่พีเอชต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm.

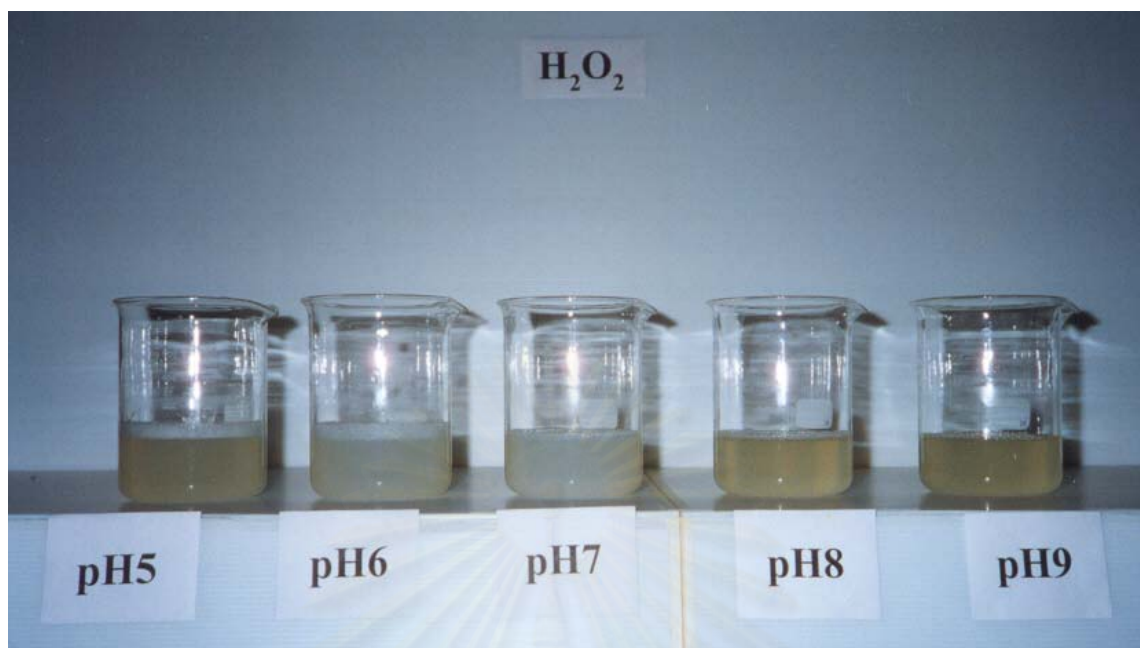
พีเอชของการเติมอากาศ	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%)
pH 5	36.22 ^a
pH 6	35.60 ^a
pH 7	33.35 ^a
pH 8	32.89 ^a
pH 9	32.47 ^a

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

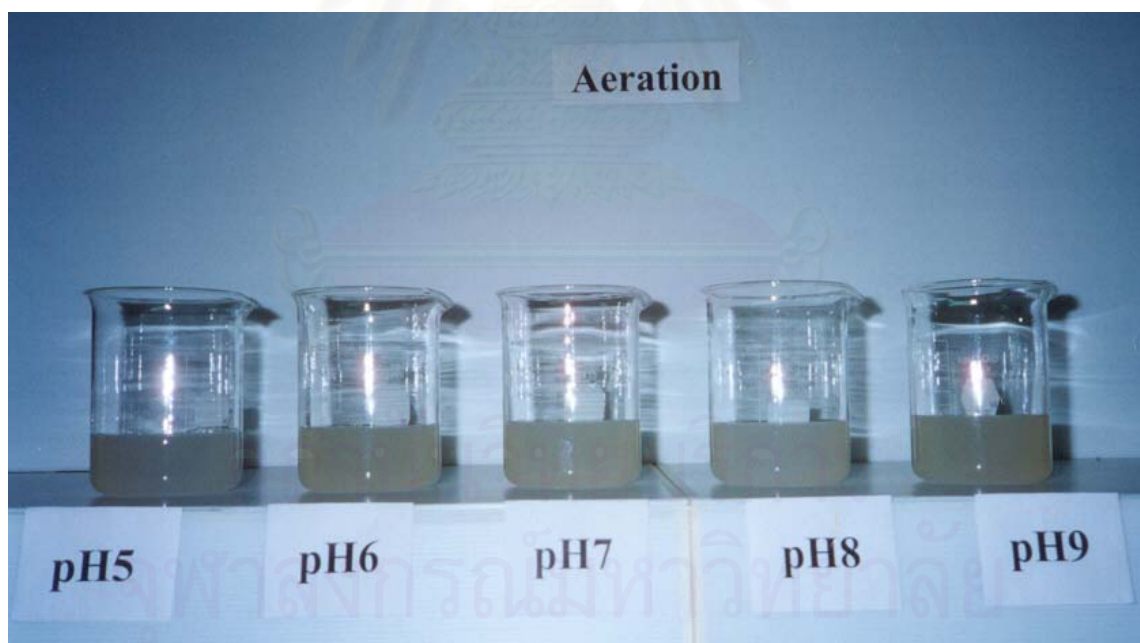
ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วย KMnO_4 , NaOCl และ H_2O_2 ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ และการเติมอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่พีเอชต่างๆได้แสดงเปรียบเทียบตามกราฟรูปที่ 3

กราฟรูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วย KMnO_4 , NaOCl และ H_2O_2 ความเข้มข้น 700 ppm. และการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่พีเอชต่างๆ





รูปที่ 24 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย H_2O_2 ความเข้มข้น 700 ppm. ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 25 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่พีเอชต่างๆ

4.4 ผลการหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดีโดยการออกซิเดชัน

จากผลการออกซิเดชัน เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชในช่วง 5 - 9 และทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 15 และตารางที่ 18) ดังนั้นในการทดลองแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารเคมี เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม จึงสามารถใช้พีเอชของน้ำหลังตกตะกอนเป็นพีเอชของการออกซิเดชันได้ แม้ว่าการทดสอบทางสถิติจะแสดงให้เห็นว่าผลไม่แตกต่างกัน แต่เพื่อให้มองเห็นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีได้ชัดเจนในการหาปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้นจึงเลือกทำการทดลองที่พีเอชที่ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี สูงสุด คือ ใช้สภาวะพีเอช = 6 สำหรับการหาปริมาณที่เหมาะสมของ KMnO_4 และ NaOCl ส่วน H_2O_2 ที่พีเอช = 8 และ 9 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี คือ 29.52 % และ 29.95 % ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างกันของตัวเลขน้อยมาก จึงเลือกทำการทดลองที่พีเอช = 8 หลังทำการออกซิเดชันโดยการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารเคมี ได้ทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดี แสดงในตารางที่ 19 และคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ตามตารางที่ 20 ส่วนค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) สรุปรวมในตารางที่ 21 และได้ทำการทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวกข้อ 10, 11 และ 12

ในการออกซิเดชันโดยใช้ตัวออกซิไดซ์ 3 ชนิด คือ KMnO_4 , NaOCl และ H_2O_2 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี จะเห็นว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากัน KMnO_4 จะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงกว่า NaOCl และ H_2O_2 (ตารางที่ 21) ผลการทำออกซิเดชันโดยใช้ KMnO_4 ระหว่าง 200 - 1,200 ppm. พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี มีค่าระหว่าง 45.61 - 54.10 % โดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุดที่ความเข้มข้น 1,000 ppm. เมื่อทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ที่ความเข้มข้น 200 ppm. และ 1,200 ppm. ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากกลุ่มอื่น ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ที่ความเข้มข้น 400 ppm. และ 600 ppm. ไม่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีที่ความเข้มข้น 800 ppm. และ 1,000 ppm. ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 19 แสดงค่าซีโอติก่อนและหลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีโอติหลังออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างๆจำนวน 3 ซ้ำ

สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าซีโอติ (ppm.)			สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าซีโอติ (ppm.)			สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ค่าซีโอติ (ppm.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Alum	0	2,019	1,983	2,075	Alum	0	2,019	1,983	2,075	Alum	0	2,019	1,983	2,075
	200	1,398	1,349	1,423		200	1,398	1,349	1,423		200	1,398	1,349	1,423
KMnO ₄	200	1,065	1,028	1,102	NaOCl	200	1,241	1,175	1,248	H ₂ O ₂	200	1,583	1,496	1,607
	400	1,009	955	1,028		400	1,195	1,148	1,221		400	1,546	1,487	1,570
	600	1,009	936	1,010		600	1,158	1,102	1,175		600	1,509	1,450	1,533
	800	972	900	973		800	1,195	1,138	1,212		800	1,472	1,395	1,496
	1,000	954	881	955		1,000	1,176	1,157	1,230		1,000	1,500	1,423	1,524
	1,200	1,102	1,065	1,138		1,200	1,278	1,212	1,285		1,200	1,519	1,487	1,542

ตารางที่ 20 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการออกซิเดชันด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 3 ชั่วโมง

สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)				สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)				สารเคมี	ความเข้มข้น (ppm.)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
		1	2	3				1	2	3				1	2	3	
Alum	200	30.73	31.94	31.42	31.36	Alum	200	30.73	31.94	31.42	31.36	Alum	200	30.73	31.94	31.42	31.36
KMnO ₄	200	47.25	48.15	46.90	47.43	NaOCl	200	38.53	40.74	39.82	39.70	H ₂ O ₂	200	21.56	24.54	22.57	22.89
	400	50.00	51.85	50.44	50.76		400	40.83	42.13	41.15	41.37		400	23.39	25.00	24.34	24.24
	600	50.00	52.78	51.33	51.37		600	42.66	44.44	43.36	43.49		600	25.23	26.85	26.11	26.06
	800	51.83	54.63	53.10	53.19		800	40.83	42.59	41.59	41.67		800	27.06	29.63	27.88	28.19
	1,000	52.75	55.56	53.98	54.10		1,000	41.74	41.67	40.71	41.37		1,000	25.69	28.24	26.55	26.83
	1,200	45.41	46.30	45.13	45.61		1,200	36.70	38.89	38.05	37.88		1,200	24.77	25.00	25.66	25.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วยสารเคมีต่างๆ โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้น

สารเคมี	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%)					
	200 ppm.	400 ppm.	600 ppm.	800 ppm.	1000 ppm.	1200 ppm.
KMnO ₄	47.43 ^a	50.76 ^b	51.37 ^{bc}	53.19 ^{cd}	54.10 ^d	45.61 ^a
NaOCl	39.70 ^a	41.37 ^b	43.49 ^c	41.67 ^b	41.37 ^b	37.88 ^d
H ₂ O ₂	22.89 ^a	24.24 ^{ab}	26.06 ^{bc}	28.19 ^d	26.83 ^{cd}	25.14 ^{bc}

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละแถว หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มากกว่า 1 ตัวในแต่ละแถว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความ

แตกต่างจาก a และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

การออกซิเดชันโดยใช้ KMnO₄ พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้น ที่ความเข้มข้น 200 ppm. และ 400 ppm. หลังออกซิเดชันแล้วตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นมีลักษณะสีขาวขุ่น ตัวอย่างน้ำหลังกรองยังเป็นสีขาวขุ่นอยู่ แสดงว่า หลังปฏิกิริยาเกิดอนุภาคขาวขุ่นที่มีขนาดเล็กมาก เมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นเป็น 600 ppm. ตัวอย่างน้ำจะกลับกลายเป็นใสไม่มีสีและเกิดตะกอนสีน้ำตาลเข้ม เมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นขึ้นเป็น 800 ppm. และ 1,000 ppm. พบว่า ปริมาณตะกอนสีน้ำตาลเข้มมีเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 1,200 ppm. ตะกอนสีน้ำตาลเข้มมีปริมาณสูงสุดและน้ำเริ่มมีสีม่วงแดงอ่อนๆ จะเห็นได้จากรูปที่ 26 (ที่ความเข้มข้น 600 – 1,200 ppm. จะมีตะกอนสีน้ำตาลเข้มเกาะข้างบีกเกอร์ แต่หลังจากกรองแล้วตัวอย่างน้ำที่ใช้ KMnO₄ 600 – 1,000 ppm. จะใสไม่มีสี ส่วนที่ 1,200 ppm. เป็นสีม่วงแดงอ่อนๆ)

จากการที่สามารถใช้ KMnO₄ ซึ่งมีสีม่วงแดงเป็นอินดิเคเตอร์ (Indicator) หาจุดยุติของการออกซิเดชันได้ (Liptak, 1974) สอดคล้องกับการที่ลักษณะทางกายภาพและผลวิเคราะห์ทางเคมีในรูปของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 1,000 ppm. ปริมาณ KMnO₄ ไม่เพียงพอสำหรับการทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นจาก 600 ppm. เป็น 800 ppm. และ 1,000 ppm. ปริมาณตะกอนจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ รวมถึงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ก็เพิ่มมากขึ้นด้วย (ตารางที่ 21) และที่ความเข้มข้น

1,200 ppm. ตัวอย่างน้ำมีสีม่วงแดงอ่อนๆ ซึ่งเป็นสีเดียวกับสีของ KMnO_4 จึงเป็นไปได้ว่า KMnO_4 ที่ความเข้มข้น 1,200 ppm. เป็นปริมาณความเข้มข้นที่มากเกินไป หลังเกิดปฏิกิริยายังคงเหลือ KMnO_4 ส่วนหนึ่งอยู่ในน้ำ ทำให้เกิดสีม่วงแดงอ่อนๆขึ้น ดังนั้นสำหรับ KMnO_4 แล้ว ปริมาณที่ใช้ในการบำบัดค่าซีโอดีให้ลดลงได้มากที่สุด คือ ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm.

การออกซิเดชันโดยใช้ NaOCl จะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงกว่า H_2O_2 ในทุกความเข้มข้น (ตารางที่ 21) ผลการออกซิเดชันโดยใช้ NaOCl พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี อยู่ระหว่าง 37.88 – 43.49 % โดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุดที่ความเข้มข้น 600 ppm. เมื่อทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ที่ความเข้มข้น 400 ppm. , 800 ppm. และ 1,000 ppm. ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากกลุ่มอื่น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ พบว่า ที่ความเข้มข้น 200 – 800 ppm. ตัวอย่างน้ำหลังปฏิกิริยามีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ส่วนที่ความเข้มข้น 1,000 – 1,200 ppm. ตัวอย่างน้ำมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น (ตามรูปที่ 27) ตัวอย่างน้ำทั้งหมดหลังผ่านการกรองยังคงขุ่นอยู่ แสดงว่าอนุภาคที่เกิดขึ้นหลังเกิดปฏิกิริยามีขนาดเล็กมาก ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนกระทั่งถึงความเข้มข้น 600 ppm. และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นต่อไป ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีจะลดลง และตัวอย่างน้ำมีสีเหลืองเข้มขึ้น ดังนั้นสำหรับการออกซิเดชันด้วย NaOCl ในการทดลองนี้ ความเข้มข้นที่ใช้ในการบำบัดค่าซีโอดีให้ลดลงได้มากที่สุด คือ 600 ppm.

สำหรับการออกซิเดชันโดย H_2O_2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้น (ตามรูปที่ 28) คือ มีเกิดตะกอนและตัวอย่างน้ำมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่นในทุกความเข้มข้น

ผลการทดลองที่ได้จะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีจากการตกตะกอน ไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นเท่าใด ดังนั้นสำหรับการทดลองนี้ H_2O_2 จึงไม่ใช่ตัวออกซิไดซ์ที่ดี

สำหรับการทดลองทำการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในเวลาที่แตกต่างกัน จะทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างน้ำหลังตกตะกอนแล้วมาเติมอากาศ โดยใช้เวลา 10 นาที 20 นาที 30 นาที 60 นาที 90 นาที และ 120 นาที และเนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติของการเติมอากาศที่พีเอชต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นหลังตกตะกอนจึงไม่ได้ทำการปรับพีเอช หลังทำการเติมอากาศได้วิเคราะห์ค่าซีโอดีแสดงในตารางที่ 22 และคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) ตาม

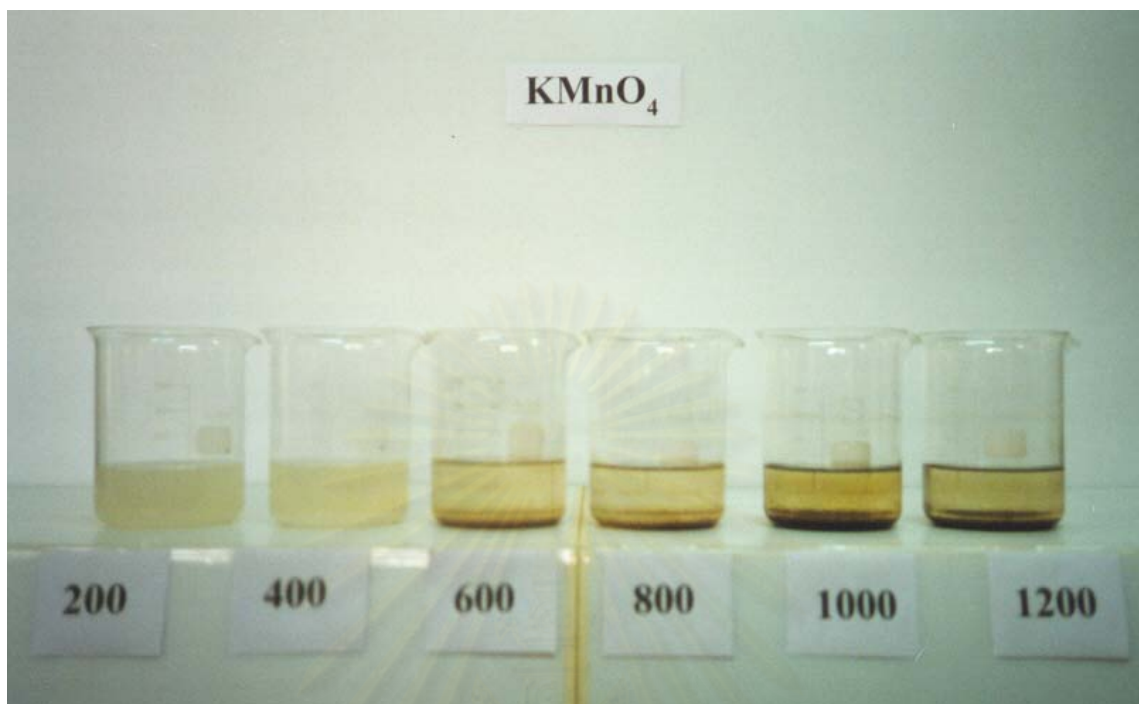
ตารางที่ 23 ส่วนค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) สรุปรวมในตารางที่ 24 และได้ทำการทดสอบทางสถิติถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข้อ 14 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี จากการเติมอากาศ (ตารางที่ 24) อยู่ในช่วงระหว่าง 33.16 - 38.06 % โดยค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ที่เวลา 10 - 30 นาที จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีที่เวลา 30 - 120 นาที มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และเมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ช่วงเวลา 10 นาที และ 20 นาที ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีไม่แตกต่างกัน และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ที่ 20 - 120 นาที ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากกลุ่มอื่น

ลักษณะตัวอย่างน้ำก่อนการเติมอากาศจะมีสีเหลืองขุ่น หลังทำการเติมอากาศแล้วที่เวลา 10 นาที และ 20 นาที ตัวอย่างน้ำยังคงมีสีเหลืองเล็กน้อย ส่วนหลังทำการเติมอากาศที่เวลา 30 , 60 , 90 และ 120 นาที ตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นมีสีขาวขุ่น (ตามรูปที่ 29)

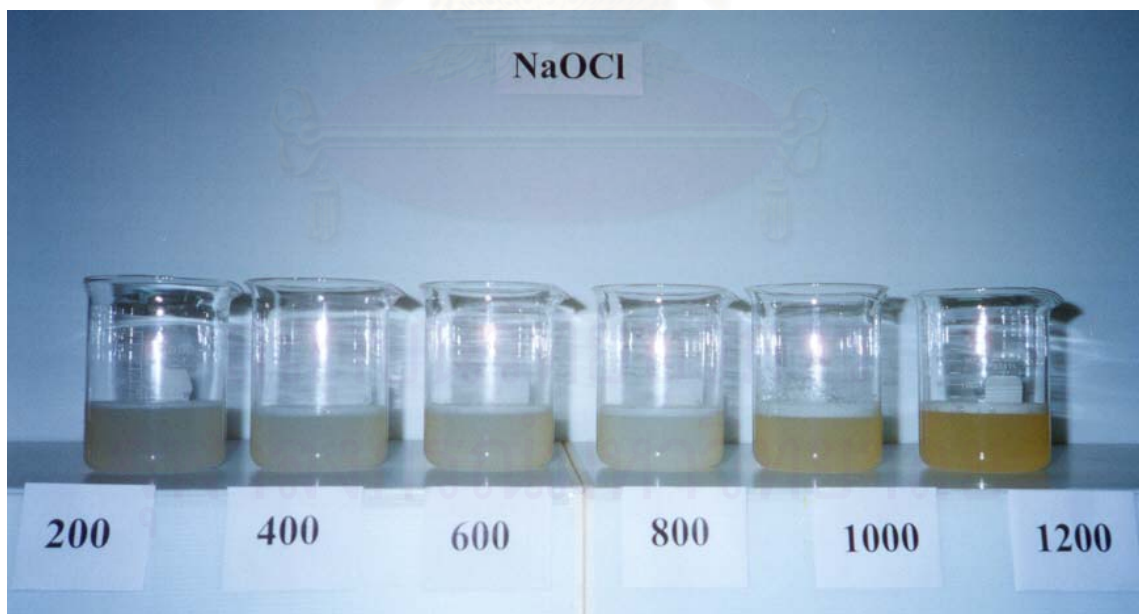
จากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี และลักษณะทางกายภาพของการออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศจะเห็นว่าช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการเติมอากาศเพื่อให้ค่าซีไอดีลดลงได้ต่ำสุด คือ ช่วง 30 นาที

ตารางที่ 22 แสดงค่าซีไอดีก่อนและหลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และค่าซีไอดี หลังออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ ที่เวลาต่างๆจำนวน 3 ชั่วโมง

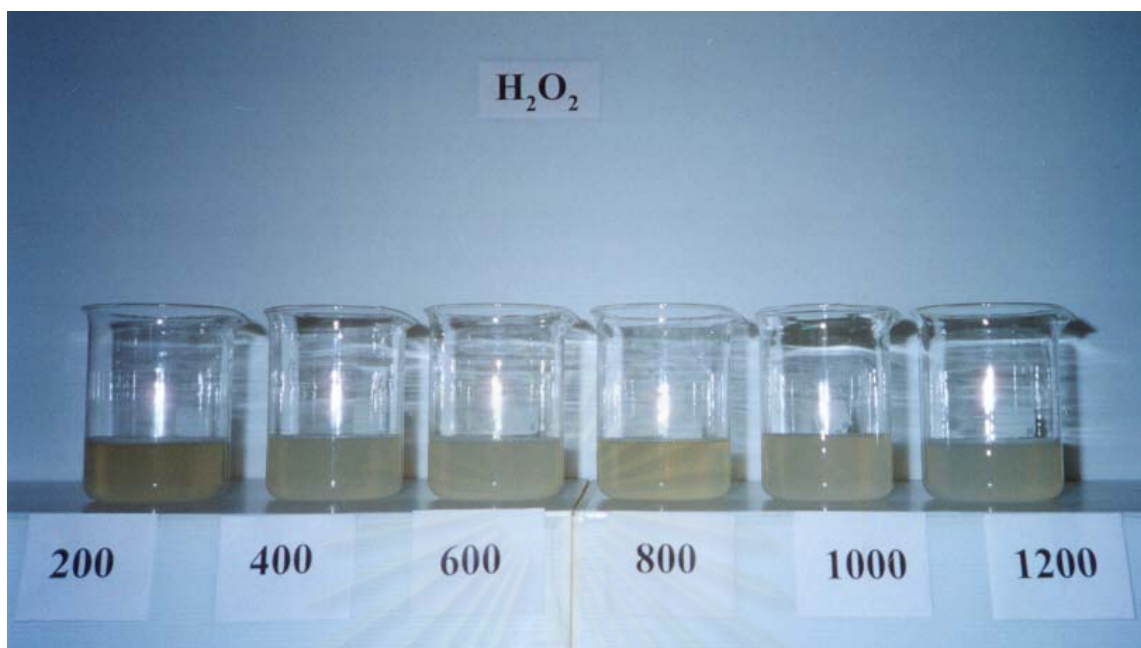
ความเข้มข้น Alum (ppm.)	เวลา (นาที)	ค่าซีไอดี (ppm.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0		1,566	1,697	1,444
200		1,096	1,175	966
	10	1,079	1,140	931
	20	1,061	1,105	914
	30	992	1,044	879
	60	1,009	1,035	887
	90	1,009	1,027	879
	120	992	1,035	887



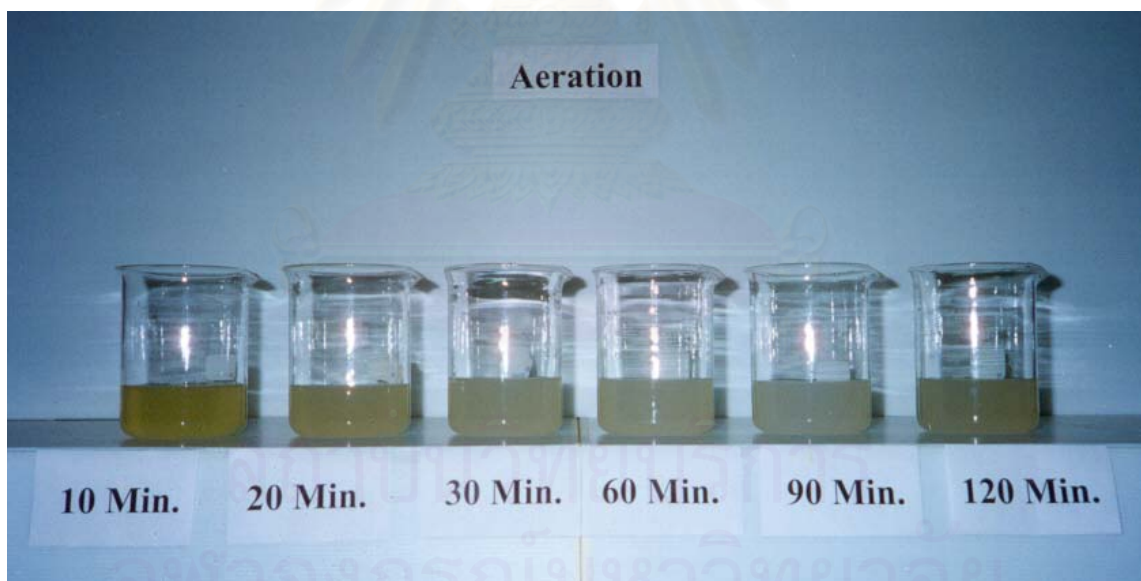
รูปที่ 26 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชั่นด้วย KMnO_4 ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช =6



รูปที่ 27 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชั่นด้วย NaOCl ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช =6



รูปที่ 28 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันด้วย H_2O_2 ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะพีเอช = 8



รูปที่ 29 แสดงลักษณะตัวอย่างน้ำจากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ ในเวลาแตกต่างกัน

ตารางที่ 23 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. ที่พีเอช = 7 และประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) หลังการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ ที่เวลาต่างๆ จำนวน 3 ชั่วโมง

ความเข้มข้น Alum (ppm.)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
200		30.00	30.77	33.13	31.30
	10	31.11	32.82	35.54	33.16
	20	32.22	34.87	36.75	34.61
	30	36.67	38.46	39.16	38.10
	60	35.56	38.97	38.55	37.69
	90	35.56	39.49	39.16	38.07
	120	36.67	38.97	38.55	38.06

ตารางที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%) จากการออกซิเดชันโดยการเติมอากาศในเวลาที่แตกต่างกัน

ช่วงเวลาของการเติมอากาศ	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)
10 นาที	33.16 ^a
20 นาที	34.61 ^{ab}
30 นาที	38.10 ^b
60 นาที	37.69 ^b
90 นาที	38.07 ^b
120 นาที	38.06 ^b

หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกัน หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มากกว่า 1 ตัว เช่น ab หมายความว่า ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างจาก a

และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีจากการออกซิเดชันด้วย KMnO_4 , NaOCl และ H_2O_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ และการเติมอากาศในช่วงเวลาต่างๆ ได้แสดงเปรียบเทียบตามกราฟรูปที่ 4 และกราฟรูปที่ 5

จากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่า ตัวออกซิไดซ์ทั้ง 4 ชนิดให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีแตกต่างกันพอสมควร ส่วนการจะเลือกใช้ตัวออกซิไดซ์ตัวใดและที่ความเข้มข้นเท่าใด นั้น จะใช้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประกอบการพิจารณา

จากค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (ตารางที่ 21) และลักษณะทางกายภาพในการทดลองนี้ พบว่า H_2O_2 นอกจากจะให้ค่าเฉลี่ยต่ำแล้ว ลักษณะทางกายภาพหลังออกซิเดชันยังมีลักษณะที่ไม่ดีนัก คือมีความขุ่นสูง ดังนั้น H_2O_2 จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวออกซิไดซ์สำหรับตัวอย่างน้ำจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับการออกซิเดชันจะคำนวณจากการใช้ตัวออกซิไดซ์ คือ KMnO_4 และ NaOCl ส่วนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำการเติมอากาศ จะคำนวณโดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง 1.0826 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และอุปกรณ์สำหรับการเติมอากาศใช้ไฟฟ้า 2.5 วัตต์ต่อชั่วโมง

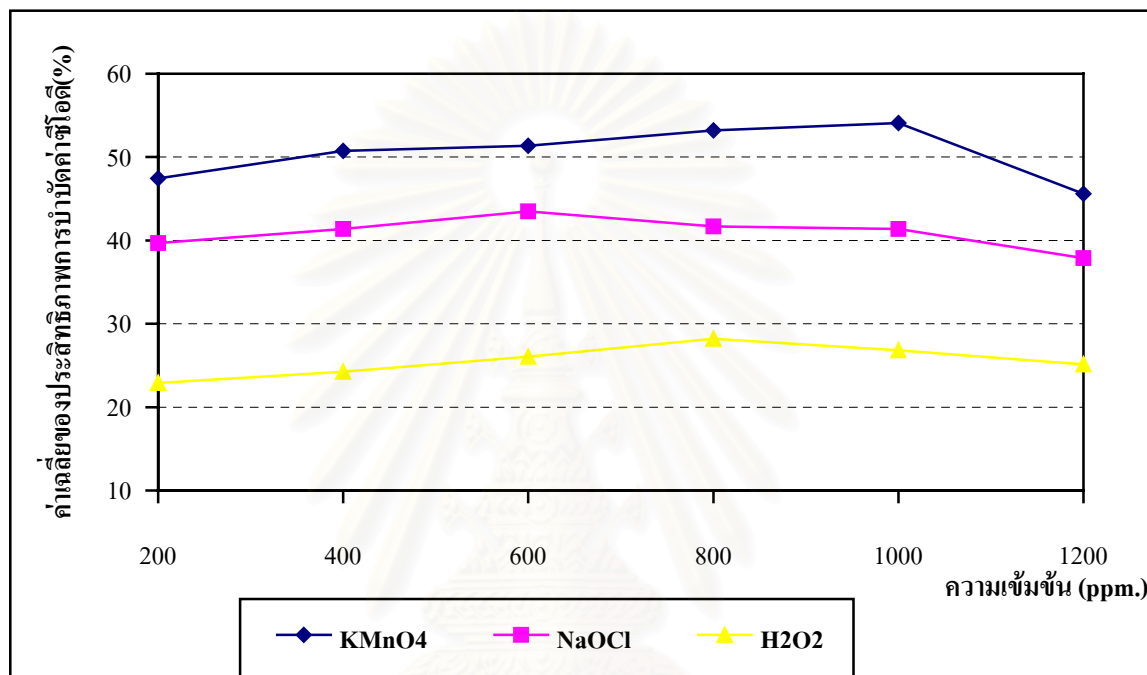
การคำนวณค่าใช้จ่ายสารเคมีต่างๆ จะใช้ราคาสารเคมีคุณภาพเชิงพาณิชย์ (Commercial grade) จากบริษัท ชิกม่าไซแอนทิฟิก ซึ่งเป็นราคา ณ วันที่ 24 พฤศจิกายน 2542 ราคาสารเคมีเป็นดังนี้

KMnO_4	=	3,750 บาท ต่อ 50 กิโลกรัม
NaOCl	=	130 บาท ต่อ 20 กิโลกรัม

การคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจะคำนวณจากปริมาณสารเคมี 600 ppm. เนื่องจากที่ความเข้มข้น 600 ppm. สำหรับ NaOCl แล้ว ทำให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด และเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน จึงใช้ความเข้มข้น 600 ppm. สำหรับคำนวณค่าใช้จ่ายของ KMnO_4 ด้วย และสำหรับ KMnO_4 ที่ความเข้มข้น 200 และ 400 ppm. หลังออกซิเดชันแล้วตัวอย่างน้ำมีลักษณะสีขาวขุ่น ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทิ้งลงแหล่งน้ำ ดังนั้นแม้ว่า KMnO_4 ที่ความเข้มข้น 200 และ 400 ppm. จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 600 ppm. ยังคงไม่เหมาะสมที่จะเลือกใช้ ส่วน KMnO_4 ที่ความเข้มข้น 600 ppm. เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่เกิดตะกอนแล้วน้ำใส ส่วนค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศจะเลือกช่วงเวลาทำการเติมอากาศ คือ 30 นาที เนื่องจากเป็นค่าเริ่มต้นที่เมื่อเพิ่มเวลาในการเติมอากาศแล้ว ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีมีแนวโน้ม

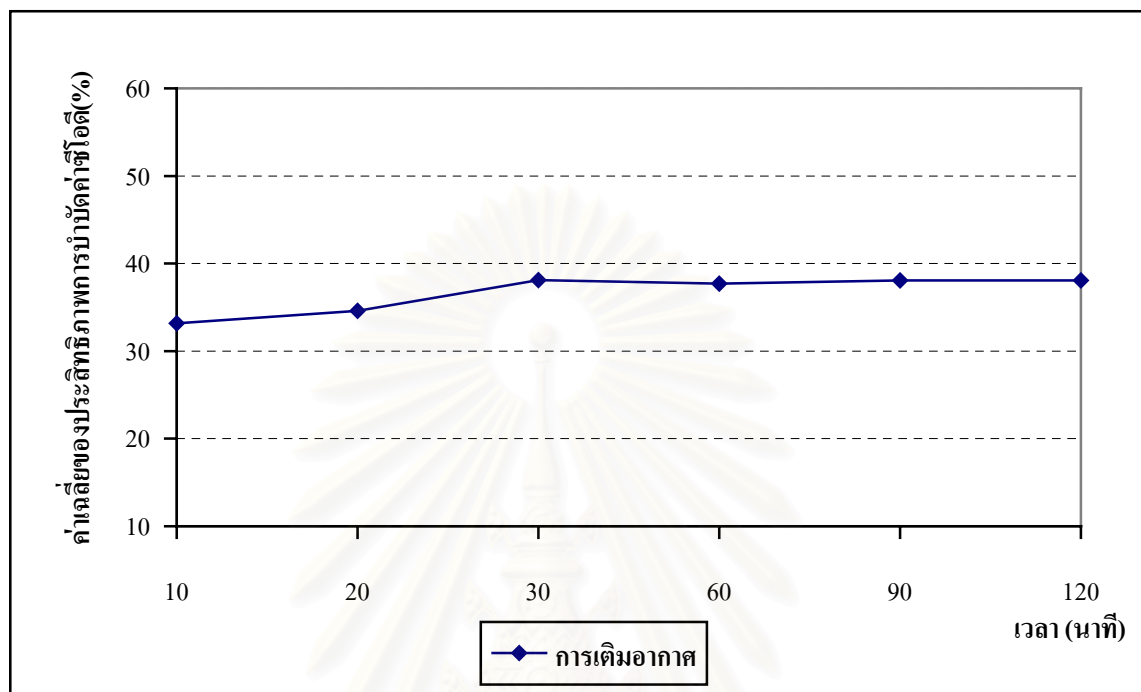
จะคงที่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นและค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ได้คำนวณเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 25

กราฟรูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วย KMnO_4 , NaOCl และ H_2O_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟรูปที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศที่เวลาต่างๆ



ตารางที่ 25 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นและค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี (%) จากการออกซิเดชันด้วยสารเคมีต่างๆ และการเติมอากาศเป็นเวลา 30 นาที

การออกซิเดชัน	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการ บำบัดค่าซีไอดี (%)
KMnO ₄ 600 ppm.	45.00	51.37
NaOCl 600 ppm.	49.50	43.49
การเติมอากาศ 30 นาที	6.77	38.10

จากราคาค่าใช้จ่ายที่คำนวณจะเห็นว่า NaOCl เสียค่าใช้จ่ายสูงที่สุด ขณะเดียวกันสามารถบำบัดค่าซีไอดีได้ปานกลาง และลักษณะทางกายภาพ คือ ตัวอย่างน้ำมีความขุ่น ตัวอย่างน้ำนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการออกซิเดชัน ส่วนการเติมอากาศ ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด แต่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดีก็ต่ำที่สุดด้วย และตัวอย่างน้ำหลังออกซิเดชันมีลักษณะขุ่น ดังนั้นจึงไม่เลือกวิธีออกซิเดชันโดยการเติมอากาศ การออกซิเดชันโดยใช้ KMnO₄ แม้จะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง แต่ยังคงต่ำกว่า NaOCl และสามารถบำบัดค่าซีไอดีได้ในเกณฑ์ที่ดีกว่า NaOCl คือ มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ

การบำบัดค่าซีโอดี เท่ากับ 51.37 % และลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำ คือ เกิดตะกอนที่สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย ดังนั้นสำหรับการทดลองนี้ KMnO_4 จึงเป็นตัวออกซิไดซ์ที่เหมาะสมและความเข้มข้นที่ใช้ คือ 600 ppm.

ในการทดลองครั้งนี้เมื่อตกตะกอนด้วย Alum ความเข้มข้น 200 ppm. พีเอช = 7 สามารถบำบัดซีโอดีได้ เหลือ 30.87 % และเมื่อออกซิเดชันต่อด้วย KMnO_4 600 ppm. สามารถบำบัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้นเป็น 51.37 % ส่วนงานวิจัยของ Sengul และ Gurel ซึ่งได้ทดลองโดยทำ Catalytic Oxidation โดยใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ และ Manganese เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา วัตถุประสงค์ของ Catalytic Oxidation เพื่อกำจัด Sulfide และสามารถกำจัด Sulfide ได้ถึง 72% ในขั้นตอน Catalytic Oxidation ไม่ได้ศึกษาถึงความสามารถในการบำบัดซีโอดี แต่ได้ทำการทดลองต่อโดยการตกตะกอนทางเคมี ในขั้นตอนการตกตะกอนทางเคมีนั้น ตัวช่วยตกตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงสุด คือ FeCl_3 1,500 ppm. และสามารถบำบัดซีโอดีได้ 76 % ส่วน Alum 800 ppm. สามารถบำบัดซีโอดีได้ประมาณ 23.4 % โดยมีค่าซีโอดีเริ่มต้นก่อนตกตะกอน 3,000 ppm. หลังตกตะกอนแล้วซีโอดีมีค่า 2,300 ppm. เมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองครั้งนี้กับงานวิจัยของ Sengul และ Gurel พบว่า การตกตะกอนโดย Alum สามารถบำบัดซีโอดีได้ใกล้เคียงกัน ดังนี้

รายละเอียด	ผลการทดลองครั้งนี้	งานวิจัยของ Sengul และ Gurel
1. ค่าซีโอดีเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอน	1,500 – 2,300 ppm.	3,000 ppm.
2. ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)		
- หลังตกตะกอนด้วย Alum	30.87 %	-
- หลังทำ Catalytic Oxidation แล้วตกตะกอน	-	23.4 %

เมื่อทำการทดลองต่อไป โดยทำการออกซิเดชันด้วย KMnO_4 700 ppm. ก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm. พบว่า ผลการบำบัดค่าซีโอดีต่ำกว่าเมื่อเริ่มต้นด้วยการตกตะกอนตามด้วยการออกซิเดชันมาก ดังนี้

วิธีการ	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (%)
<u>วิธีที่ 1</u>	
1. ตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm.	30.87 %
2. ออกซิเดชั่นด้วย KMnO_4 600 ppm.	51.37 %
<u>วิธีที่ 2</u>	
1. ออกซิเดชั่นด้วย KMnO_4 700 ppm.	27.07 %
2. ตกตะกอนด้วย Alum 200 ppm.	30.57 %

ดังนั้นวิธีการออกซิเดชั่นด้วยสารเคมีก่อนแล้วจึงทำการตกตะกอน จึงไม่ใช่วิธีที่ดี สำหรับตัวอย่างน้ำจากอุตสาหกรรมฟอกหนังซึ่งใช้ในการทดลองนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและเสนอแนะ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นน้ำเสียที่มีพารามิเตอร์ต่างๆที่ก่อให้เกิดมลภาวะในเกณฑ์สูง จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดที่ดี น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะสีเทาดำ ความขุ่นสูงและมีค่าซีโอดีประมาณ 1,500 - 2,300 ppm. การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดค่าซีโอดี โดยกระบวนการออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ ได้แก่ Alum , PAC และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ โดยที่ Alum และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุดที่พีเอช = 6 ส่วน PAC ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุดที่พีเอช = 7 เมื่อใช้ตัวช่วยตกตะกอน Alum และ PAC ที่ความเข้มข้นต่างๆจะเกิด Floc ซึ่งมีปริมาณสูงขึ้นตามความเข้มข้นของตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ และลักษณะของ Floc ที่เกิดจากการใช้ PAC จะมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อใช้ Alum เป็นตัวช่วยตกตะกอน ส่วนเมื่อใช้ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นตัวช่วยตกตะกอนจะเกิดตะกอนสีดำมีขนาดเล็ก ตกตะกอนช้า และแยกออกจากน้ำตัวอย่างได้ยาก

เมื่อใช้ตัวช่วยตกตะกอนต่างๆที่ความเข้มข้น 200 - 1,200 ppm. Alum มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ระหว่าง 30.87 - 43.42 % PAC มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี อยู่ระหว่าง 31.59 - 45.31 % ส่วน $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี อยู่ระหว่าง 32.41 - 46.08 % ซึ่งค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีทั้งหมดที่ได้จากตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นและผลที่ได้จากการบำบัดค่าซีโอดีของตัวช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด สำหรับการทดลองนี้แล้ว Alum จะเป็นตัวที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ Alum 200 ppm. ที่สภาวะพีเอช = 7 และให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี 30.87 %

จากสภาวะการตกตะกอนและตัวช่วยตกตะกอนดังกล่าว ตัวอย่างน้ำหลังตกตะกอนจะทำออกซิเดชันต่อโดยใช้ KMnO_4 , NaOCl , H_2O_2 และอากาศ ผลการทำออกซิเดชัน พบว่า ที่ระดับพีเอช = 5 - 9 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การออกซิเดชันโดย KMnO_4 ทุกระดับพีเอชจะเกิดตะกอนสีน้ำตาล ส่วน NaOCl , H_2O_2 หรือ การเติมอากาศจะทำให้ตัวอย่างน้ำมีลักษณะเป็นสีขาวหรือเหลืองขุ่น

เมื่อใช้ตัวออกซิไดซ์ต่างๆที่ความเข้มข้น 200 - 1,200 ppm. KMnO_4 มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ระหว่าง 45.61 - 53.19 % NaOCl มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี อยู่ระหว่าง 37.88 - 43.49 % H_2O_2 ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 22.89 - 28.19 % ส่วนการเติมอากาศเป็นเวลา 10 - 120 นาที ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี อยู่ระหว่าง 33.16 - 38.10 % KMnO_4 ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีสูงสุด และ H_2O_2 ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้น และผลที่ได้จากการบำบัดค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำทั้งหมดสำหรับการทดลองนี้ KMnO_4 จะเป็นตัวที่เหมาะสมที่สุด โดยหลังทำการตกตะกอนในสถานะข้างต้นแล้ว จึงออกซิเดชันต่อด้วย KMnO_4 ที่ความเข้มข้น 600 ppm.

ข้อเสนอแนะ

1. ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลองได้จากจุด Outlet fine screen ของระบบ ซึ่งตัวอย่างน้ำนี้มีความขุ่น และซีโอดีสูง ควรทดลองใช้ตัวอย่างน้ำจากจุดต่างๆของระบบบำบัดนำมาทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกัน เพื่อหาจุดที่สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดลดลง และประสิทธิภาพที่ได้จากการบำบัดสูงขึ้น

2. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการตกตะกอนจะต่ำกว่าค่าใช้จ่ายจากการออกซิเดชันมาก ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดหลังตกตะกอนและออกซิเดชันมีค่าโดยประมาณ 50 % ดังนั้น อาจทำการทดลองโดยหลังตกตะกอนแล้ว ทำการตกตะกอนซ้ำอีก และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการตกตะกอนซ้ำกับการออกซิเดชันว่าวิธีใดจะให้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า โดยที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่า

3. ผลการทดลองที่ได้สำหรับการทดลองนี้ เป็นเพียงแนวทางที่จะบอกว่าตัวอย่างน้ำเสียประเภทนี้ ควรใช้ตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์ชนิดใด ส่วนการจะนำไปใช้งานจริงควรมีการศึกษารายละเอียดในรูปแบบของโรงงานจำลอง (Pilot Plant) สำหรับตัวช่วยตกตะกอนและตัวออกซิไดซ์ที่เลือก เนื่องจากว่าสภาวะที่เหมาะสมกับการตกตะกอนและออกซิเดชัน นอกจากพีเอชแล้ว ความเร็วหรือการออกแบบระบบอาจมีผลเกี่ยวข้อง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์. :
หน้า 126 - 137
- จรินทร์ เจริญศรีวัฒนกุล , สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2539. รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง คู่
ทางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจากการมีเขตการค้าเสรีอาเซียน (สำหรับอุตสาหกรรม
ฟอกหนังและอุตสาหกรรมผลิตเครื่องหนัง). กรุงเทพมหานคร. : หน้า i - iv
- ณรงค์ วุทธเสถียร. 2540. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-
ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ประชาชน. : หน้า 71 - 89
- ปธาน บรรจงปรุ. 2536. ศักยภาพของมลพิษจากอุตสาหกรรมฟอกหนังในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2538. วิศวกรรมประปาเล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. : หน้า 147 - 172
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. : หน้า 115 - 126
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540. การประยุกต์ใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ใน
การจัดการมลพิษโรงงาน. กรุงเทพมหานคร. : หน้า (4-9) – (4-18)
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม
อุตสาหกรรมฟอกหนัง. กรุงเทพมหานคร. : หน้า (3-1) – (3-9) , (7-1)-(7-2)

ภาษาอังกฤษ

- Ates , E. , Orhon , D. , Tuney , O. 1997. Characterization of tannery wastewaters for pretreatment -
Select case studies. Water Science and Technology 36:2-3:217-223
- APHA-AWWA-WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th
Edition. Washinton DC : APHA Publication Office. : pp. (5-12) – (5-16)
- Bratby , J. 1980. Coagulation and Flocculation. England : Uplands press LTD. : pp. 54 - 62
- Callely , A.G. , Forster , C.F. , Stafford , D.A. 1977. Treatment of industrial effluents. London :
Hodder and stoughton. : pp. 235 - 243

- Eckenfelder , W.W. 1989. Industrial water pollution control. 2nd Edition. Singapore : McGraw-Hill book company. : pp. 84 – 98 , 300 - 311
- Flahertyl , F.O. , William , T.R. , Lollar , R.M. 1962. The chemistry and technology of leather. New York : Reinhold publishing corporation. : pp. 461 - 484
- Garrote , J.I. , Bao , M. , Castro , P. , Bao , M.J. 1995. Treatment of tannery effluents by a two step Coagulation / Flocculation Process. Water Research. 29:11:2605-2608
- IUE. 1996. Pollution values generated from leather manufacture and typical performance of different forms of tannery wastewater treatment. World Leather 9:7: p.13
- Jochimsen , J.C. , Jekel , M.R. 1997. Partial oxidation effects during the combined oxidative and biological treatment for separated streams of tannery wastewater. Water Science and Technology 35:4:337-345
- Jochimsen , J.C. , Schenk , H. , Jekel , M.R. , Hegemann , W. 1997. Combined oxidative and biological treatment for separated streams of tannery wastewater. Water Science and Technology 36:2-3:209-216
- Jorgensen , S.E. 1979. Industrial waste water management. New York : Elsevier Scientific Publishing Company. : pp. 97 – 112 , 309 - 312
- Karunyal , S. , Renuga , G. , Paliwai , K. 1994. Effects of tannery effluent on seed germination , leaf area , biomass and mineral content of some plants. Bioresource Technology. 47:3:215-218
- Liptak , B.G. 1974. Environmental Engineers' Handbook Vol.1 Water Pollution. Pennsylvania : Chilton Book Company. : pp. 1204 - 1211
- Macro , A. , Esplugas , S. , Saum , G. 1997. How and why combine chemical and biological processes for wastewater treatment. Water Science and Technology 35:4:321-327
- Meyhoefer , B. 1992. Seminar on the profitability of clean technology in the leather tanning industries. Treatment of wastewater in the leather tanning industry. Samutprakarn , Thailand. : pp. 1 - 20
- Nemerow , N.L. 1978. Origins , Characteristics and Treatment. Industrial water pollution. Addison - Wesley publishing company. : pp. 334 - 340
- Sax , N.I. , Lewis , R.J. 1987. Hawley's Condensed Chemical Dictionary. 11th Edition. New York : Van Nostrand Reinhold Company. : p.518
- Sengul , F. , Gurel , O. 1993. Pollution profile of leather industries ; waste characterization and pretreatment of pollutants. Water Science and Technology 28:2:87-96

- Sell , N.J. , 1981. Industrial Pollution Control. Issues and techniques. New York : Van Nostrand Reinhold Company. : pp. 295 - 304
- Sharphouse , J.H. 1971. Leather technician's handbook. London : Leather Producer's association. : pp. 452 - 464
- Sendic , M.V. 1995. Strategies in agroindustrial wastewater treatment. Water Science and Technology 32:12:113-120
- Sreeram , K.J. , Gayatri , R. , Rao , J.R. , Nair , B.U. , Ramasami , T. 1998. Use of hydrogen peroxide for tannery wastewater treatment. Journal of scientific & Industrial Research 57:2:64-69
- Talinli , I. 1994. Pretreatment of tannery wastewaters. Water Science and Technology 29:9:175-178
- Tchobanoglous , G. , Burton , F.L. 1991. Wastewater Engineering. 3rd Edition. Singapore : McGraw-Hill book company. : pp. 301 - 306
- Tunay , O. , Orhon , D. , Kabdasli , I. 1994. Pretreatment requirements for leather tanning industry wastewaters. Water Science and Technology 29:9:121-128
- Thorstensen , T.C. 1993. Practical leather technology. 4th Edition. Florida : Krieger publishing company. : pp. 84 – 138
- Thorstensen , T.C. Fundamentals of pollution control for the leather industry. : pp. 75 - 94
- UNEP IE/PAC. 1991. Tanneries and the environment (A technical guide to reducing the environment impact of tannery operations) , Technical Report series No. 4 Franch : pp. 16 - 33
- USEPA. 1991. Treatment Technologies. Second Edition. Government Institute , Inc. : pp. 17 - 24
- Venkatachalam , P.S. 1967. Lecture notes on leather. Central Leather Research Institute. India. : pp. 362 - 384

ภาคผนวก

1. การทดสอบทางสถิติของการตกตะกอนด้วย Alum ที่ pH ต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction from Alum

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5	3	35.9000	2.3091	1.3332	30.1639	41.6361	33.33	37.80
6	3	42.7767	1.1580	.6686	39.9000	45.6534	41.67	43.98
7	3	41.6400	1.4351	.8286	38.0749	45.2051	40.28	43.14
8	3	33.5067	.6824	.3940	31.8116	35.2018	32.93	34.26
9	3	26.4800	.9283	.5359	24.1740	28.7860	25.60	27.45
Total	15	36.0607	6.2326	1.6093	32.6092	39.5122	25.60	43.98

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction from Alum

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.541	4	10	.263

ANOVA

% Reduction from Alum

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	523.715	4	130.929	65.075	.000
Within Groups	20.120	10	2.012		
Total	543.834	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from Alum

Duncan^a

Adjust pH Alum	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
9	3	26.4800		
8	3		33.5067	
5	3		35.9000	
7	3			41.6400
6	3			42.7767
Sig.		1.000	.066	.350

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

2. การทดสอบทางสถิติของการตกตะกอนด้วย PAC ที่ pH ต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction from PAC

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5	3	35.7567	1.9921	1.1502	30.8079	40.7054	33.82	37.80
6	3	41.9233	1.8630	1.0756	37.2955	46.5512	40.20	43.90
7	3	45.8567	1.4782	.8534	42.1846	49.5287	44.91	47.56
8	3	34.4933	.8009	.4624	32.5038	36.4829	33.80	35.37
9	3	26.8667	1.8184	1.0498	22.3495	31.3838	25.46	28.92
Total	15	36.9793	6.9009	1.7818	33.1577	40.8009	25.46	47.56

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction from PAC

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.565	4	10	.694

ANOVA

% Reduction from PAC

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	639.574	4	159.893	58.904	.000
Within Groups	27.145	10	2.714		
Total	666.718	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from PAC

Duncan^a

Adjust pH PAC	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	3	26.8667			
6	3		34.4933		
7	3		35.7567		
8	3			41.9233	
9	3				45.8567
Sig.		1.000	.370	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

3. การทดสอบทางสถิติของการตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่ pH ต่างๆ

One-way

Descriptives

% Reduction from FeSO_4

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5	3	34.3900	1.2717	.7342	31.2310	37.5490	33.53	35.80
6	3	46.0433	1.8166	1.0488	41.5307	50.5560	44.12	47.73
7	3	43.4700	3.1976	1.8462	35.5266	51.4134	40.20	46.59
8	3	38.5967	2.1490	1.2407	33.2584	43.9350	36.76	40.96
9	3	32.8533	2.2094	1.2756	27.3648	38.3419	30.39	34.66
Total	15	39.0707	5.5778	1.4402	35.9818	42.1595	30.39	47.73

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction from FeSO_4

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.533	4	10	.715

ANOVA

% Reduction from FeSO_4

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	386.282	4	96.571	19.595	.000
Within Groups	49.283	10	4.928		
Total	435.566	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from FeSO_4

Duncan^a

Adjust pH FeSO_4	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
9	3	32.8533		
5	3	34.3900		
8	3		38.5967	
7	3			43.4700
6	3			46.0433
Sig.		.416	1.000	.186

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

4. การทดสอบทางสถิติของการตกตะกอนด้วย Alum ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction of COD (Alum)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
200	3	30.8667	1.0825	.6250	28.1777	33.5557	30.00	32.08
400	3	33.7733	1.2108	.6991	30.7655	36.7811	32.50	34.91
600	3	36.9200	.3345	.1931	36.0890	37.7510	36.67	37.30
800	3	40.4433	1.0385	.5996	37.8636	43.0231	39.62	41.61
1000	3	41.8533	.4631	.2674	40.7030	43.0037	41.51	42.38
1200	3	43.4167	2.0546	1.1862	38.3128	48.5205	41.98	45.77
Total	18	37.8789	4.7060	1.1092	35.5387	40.2191	30.00	45.77

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction of COD (Alum)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.967	5	12	.057

ANOVA

% Reduction of COD (Alum)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	359.958	5	71.992	52.270	.000
Within Groups	16.528	12	1.377		
Total	376.485	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction of COD (Alum)

Duncan^a

Conc. of Alum	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
200	3	30.8667				
400	3		33.7733			
600	3			36.9200		
800	3				40.4433	
1000	3				41.8533	41.8533
1200	3					43.4167
Sig.		1.000	1.000	1.000	.167	.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

5. การทดสอบทางสถิติของการตกตะกอนด้วย PAC ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Oneway

Descriptives

%Reduction of COD(PAC)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
200	3	31.5900	7.3077	4.2191	13.4366	49.7434	24.17	38.78
400	3	35.1700	6.3295	3.6543	19.4467	50.8933	28.33	40.82
600	3	38.3033	4.3604	2.5175	27.4714	49.1353	34.17	42.86
800	3	40.4967	5.6128	3.2405	26.5537	54.4396	36.67	46.94
1000	3	43.0667	5.1715	2.9857	30.2200	55.9133	39.39	48.98
1200	3	45.3133	4.9423	2.8534	33.0360	57.5906	42.42	51.02
Total	18	38.9900	6.7580	1.5929	35.6293	42.3507	24.17	51.02

Test of Homogeneity of Variances

%Reduction of COD(PAC)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.195	5	12	.958

ANOVA

%Reduction of COD(PAC)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	386.093	5	77.219	2.374	.102
Within Groups	390.304	12	32.525		
Total	776.397	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%Reduction of COD(PAC)

Duncan^a

Conc. of PAC	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
200	3	31.5900	
400	3	35.1700	35.1700
600	3	38.3033	38.3033
800	3	40.4967	40.4967
1000	3		43.0667
1200	3		45.3133
Sig.		.101	.070

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

6. การทดสอบทางสถิติของการตกตะกอนด้วย $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction of COD(FeSO_4)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
200	3	32.4100	1.1312	.6531	29.6000	35.2200	31.25	33.51
400	3	36.2000	1.8829	1.0871	31.5227	40.8773	34.38	38.14
600	3	39.9467	1.4431	.8332	36.3617	43.5316	38.39	41.24
800	3	42.5100	.7015	.4050	40.7674	44.2526	41.96	43.30
1000	3	45.6133	.6860	.3961	43.9091	47.3175	45.09	46.39
1200	3	46.0833	1.8072	1.0434	41.5940	50.5727	44.33	47.94
Total	18	40.4606	5.1965	1.2248	37.8764	43.0447	31.25	47.94

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction of COD(FeSO_4)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.708	5	12	.629

ANOVA

% Reduction of COD(FeSO_4)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	436.784	5	87.357	47.066	.000
Within Groups	22.272	12	1.856		
Total	459.057	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction of COD(FeSO_4)

Duncan^a

Conc. of FeSO_4	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
200	3	32.4100				
400	3		36.2000			
600	3			39.9467		
800	3				42.5100	
1000	3					45.6133
1200	3					46.0833
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.680

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

7. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันด้วย $KMnO_4$ ที่ pH ต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction from $KMnO_4$

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5	3	48.6633	4.0057	2.3127	38.7126	58.6140	44.54	52.54
6	3	51.2467	5.3540	3.0911	37.9466	64.5467	45.41	55.93
7	3	49.5633	6.2305	3.5972	34.0860	65.0406	42.79	55.05
8	3	47.3900	5.6688	3.2729	33.3080	61.4720	41.05	51.97
9	3	47.3567	5.8268	3.3641	32.8821	61.8312	41.05	52.54
Total	15	48.8440	4.8637	1.2558	46.1506	51.5374	41.05	55.93

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction from $KMnO_4$

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.225	4	10	.918

ANOVA

% Reduction from $KMnO_4$

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31.947	4	7.987	.267	.893
Within Groups	299.231	10	29.923		
Total	331.179	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from $KMnO_4$

Duncan^a

Adjust pH $KMnO_4$	N	Subset for alpha = .05
5	3	47.3567
8	3	47.3900
5	3	48.6633
7	3	49.5633
6	3	51.2467
Sig.		.439

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

8. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันด้วย NaOCl ที่ pH ต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction from NaOCl

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5	3	40.4667	2.5648	1.4808	34.0953	46.8380	37.55	42.37
6	3	40.4900	1.9719	1.1385	35.5916	45.3884	38.43	42.36
7	3	38.4433	2.8868	1.6667	31.2721	45.6146	35.81	41.53
8	3	39.1700	2.4276	1.4016	33.1395	45.2005	36.68	41.53
9	3	37.3000	2.1113	1.2190	32.0552	42.5448	34.93	38.98
Total	15	39.1740	2.4001	.6197	37.8449	40.5031	34.93	42.37

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction from NaOCl

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.180	4	10	.944

ANOVA

% Reduction from NaOCl

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.546	4	5.586	.958	.471
Within Groups	58.303	10	5.830		
Total	80.648	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from NaOCl

Duncan^a

Adjust pH NaOCl	N	Subset for alpha = .05
9	3	37.3000
7	3	38.4433
8	3	39.1700
5	3	40.4667
6	3	40.4900
Sig.		.167

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

9. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันด้วย H₂O₂ ที่ pH ต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction from H2O2

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
5	3	29.3900	.4939	.2851	28.1632	30.6168	28.82	29.69
6	3	27.9533	.8751	.5053	25.7794	30.1272	27.07	28.82
7	3	28.6500	1.7309	.9993	24.3503	32.9497	27.07	30.50
8	3	29.5167	1.9358	1.1177	24.7078	34.3255	27.50	31.36
9	3	29.9500	1.7148	.9901	25.6901	34.2099	28.38	31.78
Total	15	29.0920	1.4362	.3708	28.2966	29.8874	27.07	31.78

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction from H2O2

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.049	4	10	.430

ANOVA

% Reduction from H2O2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.492	4	1.873	.876	.512
Within Groups	21.388	10	2.139		
Total	28.879	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from H2O2

Duncan^a

Adjust pH H2O2	N	Subset for alpha = .05
6	3	27.9533
7	3	28.6500
5	3	29.3900
8	3	29.5167
9	3	29.9500
Sig.		.155

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

10. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันด้วย KMnO₄ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction of KMnO₄

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
200	3	47.4333	.6449	.3723	45.8314	49.0352	46.90	48.15
400	3	50.7633	.9665	.5580	48.3625	53.1641	50.00	51.85
600	3	51.3700	1.3904	.8028	47.9160	54.8240	50.00	52.78
800	3	53.1867	1.4020	.8095	49.7039	56.6695	51.83	54.63
1000	3	54.0967	1.4086	.8133	50.5974	57.5959	52.75	55.56
1200	3	45.6133	.6109	.3527	44.0957	47.1310	45.13	46.30
Total	18	50.4106	3.2346	.7624	48.8020	52.0191	45.13	55.56

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction of KMnO₄

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.520	5	12	.757

ANOVA

% Reduction of KMnO₄

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	162.649	5	32.530	25.660	.000
Within Groups	15.213	12	1.268		
Total	177.862	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction of KMnO₄

Duncan^a

Conc. of KMnO ₄	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1200	3	45.6133			
200	3	47.4333			
400	3		50.7633		
600	3		51.3700	51.3700	
800	3			53.1867	63.1867
1000	3				54.0967
Sig.		.071	.522	.072	.342

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

11. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันด้วย NaOCl ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Oneway

Descriptives

%Reduction of COD (NaOCl)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
200	3	39.6967	1.1102	.6409	36.9389	42.4544	38.53	40.74
400	3	41.3700	.6773	.3911	39.6874	43.0526	40.83	42.13
600	3	43.4867	.8967	.5177	41.2591	45.7143	42.66	44.44
800	3	41.6700	.8827	.5096	39.4772	43.8628	40.83	42.59
1000	3	41.3733	.5755	.3323	39.9436	42.8030	40.71	41.74
1200	3	37.8800	1.1049	.6379	35.1354	40.6246	36.70	38.89
Total	18	40.9128	1.9485	.4593	39.9438	41.8817	36.70	44.44

Test of Homogeneity of Variances

%Reduction of COD (NaOCl)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.306	5	12	.900

ANOVA

%Reduction of COD (NaOCl)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	54.888	5	10.978	13.647	.000
Within Groups	9.653	12	.804		
Total	64.541	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

%Reduction of COD (NaOCl)

Duncan^a

Conc. of NaOCl	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1200	3	37.8800			
200	3		39.6967		
400	3			41.3700	
1000	3			41.3733	
800	3			41.6700	
600	3				43.4867
Sig.		1.000	1.000	.704	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

12. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันด้วย H_2O_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Oneway

Descriptives

% Reduction of COD (H2O2)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
200	3	22.8900	1.5156	.8750	19.1252	26.6548	21.56	24.54
400	3	24.2433	.8093	.4673	22.2328	26.2538	23.39	25.00
600	3	26.0633	.8110	.4682	24.0487	28.0780	25.23	26.85
800	3	28.1900	1.3127	.7579	24.9290	31.4510	27.06	29.63
1000	3	26.8267	1.2973	.7490	23.6040	30.0494	25.69	28.24
1200	3	25.1433	.4620	.2667	23.9957	26.2910	24.77	25.66
Total	18	25.5594	1.9984	.4710	24.5657	26.5532	21.56	29.63

Test of Homogeneity of Variances

% Reduction of COD (H2O2)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.003	5	12	.457

ANOVA

% Reduction of COD (H2O2)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	53.432	5	10.686	8.869	.001
Within Groups	14.459	12	1.205		
Total	67.891	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction of COD (H2O2)

Duncan^a

Conc. of H2O2	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
200	3	22.8900			
400	3	24.2433	24.2433		
1200	3		25.1433	25.1433	
600	3		26.0633	26.0633	
1000	3			26.8267	26.8267
800	3				28.1900
Sig.		.157	.077	.098	.154

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

13. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเดชันโดยการ Aeration ที่ pH ต่างๆ

Oneway

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
% Reduction from aeration Adjust pH for aeration 5	3	35.2200	2.4557	1.4178	30.1197	42.3203	33.62	38.50
6	3	35.6033	1.9951	1.1519	30.6472	40.5595	33.62	37.61
7	3	33.3467	2.4099	1.3913	27.3602	39.3332	31.03	35.84
8	3	32.8867	1.0983	.6341	30.1583	35.6150	31.90	34.07
9	3	32.4700	2.0421	1.1790	27.3972	37.5428	30.17	34.07
Total	15	34.1053	2.3413	.6045	32.8088	35.4019	30.17	38.50

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
% Reduction from aeration	.399	4	10	.805

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Reduction from aeration Between Groups	34.353	4	8.588	2.026	.167
Within Groups	42.389	10	4.239		
Total	76.742	14			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from aeration

Duncan^a

Adjust pH for aeration	N	Subset for alpha = .05
		1
9	3	32.4700
8	3	32.8867
7	3	33.3467
6	3	35.6033
5	3	36.2200
Sig.		.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

14. การทดสอบทางสถิติของการออกซิเจนโดยการ Aeration ที่เวลาต่างๆ

Oneway

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
% Aeration	3	33.1567	2.2341	1.2899	27.6068	38.7066	31.11	35.54
Reduction time	3	34.6133	2.2759	1.3140	28.9597	40.2670	32.22	36.75
from vary time	3	38.0967	1.2841	.7414	34.9066	41.2867	36.67	39.16
	3	37.6933	1.8594	1.0735	33.0742	42.3124	35.56	38.97
	3	38.0700	2.1800	1.2586	32.6546	43.4854	35.56	39.49
	3	38.0633	1.2248	.7071	35.0207	41.1059	36.67	38.97
Total	18	36.6156	2.5859	.6095	35.3296	37.9015	31.11	39.49

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
% Reduction from vary time	.502	5	12	.770

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Reduction from vary time	Between Groups	70.619	5	14.124	3.936	.024
	Within Groups	43.060	12	3.588		
	Total	113.678	17			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

% Reduction from vary time

Duncan^a

Aeration time	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
10.0	3	33.1567	
20.0	3	34.6133	34.6133
60.0	3		37.6933
120.0	3		38.0633
90.0	3		38.0700
30.0	3		38.0967
Sig.		.365	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

นางสาวเน่งน้อย วิจิตรจรรยากุล เกิดวันที่ 21 สิงหาคม 2510 สำเร็จการศึกษา
ชั้นมัธยมต้นที่โรงเรียนสีตบุตรบำรุง เข้าเรียนชั้นมัธยมปลายที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สำเร็จ
การศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี
การศึกษา 2532 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 ปัจจุบันทำงานที่ ฝ่ายเคมีการ
ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย