

b150630

การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน หรือ
โคแอกกูเลชัน

ทิตยา นันหมื่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

2549

การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน หรือ
โคแอกกูเลชัน
ทิตยา นันหมื่น
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิสาภา ภูจินดา ประธานกรรมการ
(ดร.วิสาภา ภูจินดา)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สันตนา อึ้งกุล กรรมการ
(ดร.สันตนา อึ้งกุล)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัชชชัย ศุภดิษฐ์ กรรมการ
(ดร.รัชชชัย ศุภดิษฐ์)

อาจารย์ (ลายเซ็น) คณบดี
(วิชัย รูปขำดี)

วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน หรือ โคแอก - กูเลชัน
ชื่อผู้เขียน	ทิตยา นันหมื่น
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	2549

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิดได้แก่ สารส้ม ไคโตซาน เพอร์ริกคลอไรด์ และโพลีอิเลกโตรไลต์ โดยดัชนีชี้วัดคุณภาพที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่า COD ค่าสี และความขุ่น ส่วนประสิทธิภาพของการบำบัดพิจารณาจาก ค่าร้อยละของการขจัดซีไอดี ค่าสี และความขุ่น

ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยสารส้มคือ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8 โดยสามารถขจัด COD สี และความขุ่นได้ร้อยละ 88.89, 85.60 และ 86.23 ตามลำดับ การบำบัดด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ มีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10 โดยสามารถขจัดซีโอดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 100.00, 84.23 และ 60.29 ตามลำดับ การบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ มีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 โดยสามารถขจัด COD สี และความขุ่นได้ร้อยละ 52.78, 50.72 และ 77.09 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยโคโคซานไม่สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการขจัด COD ได้ สภาวะที่เหมาะสมในการขจัด สีและความขุ่นคือ ที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6 โดยสามารถขจัด สี และความขุ่นได้ร้อยละ 59.10 และ 69.13 สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุดในการทดลองครั้งนี้คือ สารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้พิจารณาจากผลรวมของค่าร้อยละในการขจัด COD สีและความขุ่น การ

บำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนทุกชนิดที่ศึกษาในครั้งนี้ ให้ผลแตกต่างกับการตั้งตัวอย่างน้ำเสียไว้ในระยะเวลาเดียวกับที่ทำการทดลอง

สรุปได้ว่า สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษามีส่วนช่วยในการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ประสิทธิภาพในการบำบัดอันดับหนึ่ง อันดับสอง และอันดับสาม คือการบำบัดด้วยสารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ และ โพลิอิเล็กโตรไลต์ ตามลำดับ

ABSTRACT

Title of Thesis	Wastewater Treatment of Saen Saab Canal Using Coagulation
Author	Miss Thittaya Nanmuen
Degree	Master of Science (Environmental Management)
Year	2006

This study was aimed at investigating the efficiency and the optimal conditions of waste water treatment at the San Saab canal using Coagulation. The coagulants used in this study were alum, chitosan, ferric chloride and cationic polyelectrolyte. Three parameters were used to determine the quality of the water before and after being treated using the coagulation method. These were COD, colour and turbidity. The efficiencies of the waste water treatment using the different coagulants were evaluated using the same parameters *i.e.* COD removal, colour removal and turbidity removal.

The results from this study illustrated that the optimal condition was when alum was applied at a concentration of 500 mg/l and pH of 8. Also COD removal of 88.89%, colour removal of 85.60% and turbidity removal of 86.23 were obtained. The results also showed that for ferric chloride, the optimal condition was at a concentration of 500 mg/l and pH of 10 in which COD removal of 100%, colour removal of 84.23% and turbidity removal of 60.29% were achieved. In addition, for the cationic polyelectrolyte, the optimal condition was at a concentration of 0.7 mg/l and pH of 6. This led to COD removal of 52.78%, colour removal of 50.72% and turbidity removal of 77.09%. When chitosan was employed, the optimal condition was at a concentration of 80 mg/l and pH of 6. The efficiencies of colour and turbidity removals were 59.10 and 69.13, respectively. COD removal when chitosan was used could not be measured.

It can be concluded from this study that when the three parameters, COD removal, colour removal and turbidity removal were all taken into consideration, alum at a concentration of 500 mg/l and pH of 8 was the most suitable coagulant and condition for treating waste water from the San Saab canal. Without the addition of coagulants in the water samples, the efficiency of the self-treatment was much lower than those using coagulants. It can be said that the coagulation method is an efficient way to treat waste water.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน หรือ โคแอกกูเลชัน สำเร็จได้ด้วยบุคคลหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา สนับสนุนและให้กำลังใจมาตลอดระยะเวลาที่ทำการจัดทำ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสาชา ภูจินดา ประธานกรรมการ ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินศุภา จัษฎจุลเจิม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชัย ศุภดิษฐ์ คณะกรรมการ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ปราณี เลิศสุทธิวงศ์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์วัสดุชีวภาพโค ดิน - ไคโตซาน ที่ได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

ขอบพระคุณ คุณรัชพล พารุรัตน์ บริษัท นาลโก้ อินดัสเตรียล เซอร์วิส (ประเทศไทย) จำกัด คุณศิรินุช น้ำดอกไม้ บริษัท อีแลนด์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์โพลีเอเลกโตรไลต์และไคโตซานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณเกษร บัวทอง คุณกิติโรจน์ หวันตานลา และเจ้าหน้าที่ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒน วิทยาเขตองครักษ์ ทุกท่านที่ อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการทดลองจนสามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพัชรราตี ภูมิภักตร์ คุณณัฐพล เขี่ยมอัน และคุณดำรงศักดิ์ พิริยภัทรกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ แก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณน้อง ๆ ทุกคน ที่ให้กำลังใจ ส่งเสริมและสนับสนุนในการศึกษา รวมทั้งการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ทิตยา นันทมัน

สิงหาคม 2549

<u>บทคัดย่อ</u>	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(13)
<u>บทที่ 1</u> บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
1.3 สมมุติฐานการศึกษา	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.5 ขอบเขตการวิจัย	7
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการศึกษา	7
<u>บทที่ 2</u> ทบทวนวรรณกรรม หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 คุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสีย	11
2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย	11
2.1.2 แหล่งที่มาของน้ำเสีย	12
2.1.3 ลักษณะของน้ำเสีย	12
2.1.4 สาเหตุของการเกิดปัญหาน้ำเสีย	15
2.1.5 ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม	15
2.1.6 ความเป็นมาของการบำบัดน้ำเสีย	16
2.1.7 หลักการจัดการน้ำเสีย	17
2.1.8 การจัดการน้ำเสียในคลองต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร	27

2.1.9	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	32
2.1.10	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	35
2.1.11	หลักการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์	37
2.2	การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมี	42
2.2.1	วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี	43
2.2.2	ข้อดีของกระบวนการทางเคมี	43
2.2.3	ข้อเสียของกระบวนการทางเคมี	43
2.3	กระบวนการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)	44
2.3.1	หลักการและความหมาย	44
2.3.2	ลักษณะอนุภาคในน้ำเสีย	48
2.3.3	คุณสมบัติของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน	55
2.3.4	การทดสอบการตกตะกอน	64
2.3.5	ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอน	64
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	65
บทที่ 3	อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการศึกษา	73
3.1	อุปกรณ์	73
3.2	สารเคมี	75
3.3	วิธีการศึกษา	75
3.3.1	แผนการศึกษา	75
3.3.2	การบันทึกข้อมูล	85
3.3.3	การวิเคราะห์ข้อมูล	85
3.3.4	ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา	85
บทที่ 4	ผลการศึกษา	86
4.1	คุณภาพน้ำคลองแสนแสบก่อนการบำบัด	86
4.2	คุณภาพน้ำคลองแสนแสบหลังการบำบัด	86
4.3	ประสิทธิภาพการบำบัด	96
4.3.1	สารส้ม	96
4.3.2	โคโคซาน	108
4.3.3	เฟอร์ริกคลอไรด์	115
4.3.4	โพลีอิเล็กโตรไลต์	125

4.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด COD สี และความขุ่น ในตัวอย่าง น้ำเสียจากคลองแสนแสบ ของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด	132
<u>บทที่ 5</u>	สรุปผลการศึกษา	138
5.1	สรุปผลการศึกษา	138
5.2	ข้อเสนอแนะ	141
<u>บรรณานุกรม</u>		143
ภาคผนวก		
	ap-1	147
<u>ภาคผนวก ก</u>		148
ภาคผนวก ข		160
<u>ภาคผนวก ค</u>	ap-2	208
ภาคผนวก ง		227
<u>ประวัติผู้เขียน</u>		235

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	คุณภาพน้ำจุดต่าง ๆ ของคลองแสนแสบ ประจำปี พ.ศ. 2547	3
2.1	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	32
2.2	ประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน คุณลักษณะ และการใช้ประโยชน์	35
2.3	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	36
2.4	ขนาดของอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ	48
3.1	สรุปค่าที่ทำการทดสอบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด	78
4.1	เปรียบเทียบคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบกับมาตรฐานน้ำที่เกี่ยวข้อง	87
4.2	คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะต่าง ๆ	87
4.3	คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยไคโตซาน ที่สภาวะต่าง ๆ	90
4.4	คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะต่าง ๆ	92
4.5	คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยโพสิโอเลกโตรไลต์ ที่สภาวะต่าง ๆ	94
4.6	ประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยสารส้ม ที่สภาวะต่าง ๆ	97
4.7	ประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยไคโตซาน ที่สภาวะต่าง ๆ	108
4.8	ประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะต่าง ๆ	115
4.9	ประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยโพสิโอเลกโตรไลต์ สภาวะต่าง ๆ	125
4.10	สรุปประสิทธิภาพในการกำจัด COD สี และความขุ่น 3 อันดับแรกในการรวมกลุ่มตะกอน	133
4.11	สรุปประสิทธิภาพในการการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ	134

	ด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด	
4.12	สรุปประสิทธิภาพในการการบำบัดด้วยน้ำเสียจากคลองแสนแสบ	136
	ด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด	
4.13	สรุปความเหมาะสมในการใช้งาน ของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด	137

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงแรงที่กระทำระหว่างคอลลอยด์	46
2.2 แสดงการลดแรงผลักระหว่างอนุภาคที่ลดลงเมื่อเติม Coagulant	46
2.3 แสดงการช่วยจับอนุภาคของ Coagulant	47
2.4 แสดงการช่วยจับอนุภาคของ Polyelectrolyte Coagulant	47
2.5 แสดงการเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค	48
2.6 แสดงการรวมกลุ่มกันระหว่างอนุภาค	49
2.7 แสดงการจัดเรียงตัวของประจุในคอลลอยด์	49
2.8 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่างอนุภาคกับความหนาแน่นของ ไอออนใน Diffuse Layer	50
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่างอนุภาคกับศักย์ไฟฟ้าใน Diffuse Layer	51
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของอนุภาคกับแรงผลักร	52
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของอนุภาคกับแรงดึงดูด	52
2.12 แสดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อประจุเกิดการรวมกลุ่ม	53
2.13 แสดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำการลดแรงผลักร	54
2.14 แสดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำการลดประจุ	54
2.15 แสดงลักษณะของโคตินมง	58
3.1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ	76
3.2 แสดงกรอบแนวคิดในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด	80
3.3 แสดงการจัดตัวแปรอิสระ	83
4.1 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของสารล้ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	98
4.2 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของสารล้ที่ความเป็นกรด - ด่าง	98

	(pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	
4.3	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสีของสารส้ม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	101
4.4	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสีของสารส้ม ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	103
4.5	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นของสารส้ม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	105
4.6	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นของสารส้ม ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	106
4.7	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ของไคโตซาน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	110
4.8	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ของไคโตซาน ที่ความเป็นกรด - ด่าง ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	111
4.9	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น ของไคโตซาน ซาน ที่ความ เข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	112
4.10	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น ของไคโตซาน ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	113
4.11	แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	116
4.12	แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเป็น กรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	117
4.13	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	120
4.14	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	121
4.15	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น ของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความ เข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	122
4.16	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น ของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเป็น กรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	123

4.17	แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	126
4.18	แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	127
4.19	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	128
4.20	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	129
4.21	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น	130
4.22	แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น	131

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คลองแสนแสบเป็นคลองขุด เริ่มขุดเมื่อ พ.ศ.2380 แล้วเสร็จในปี พ.ศ.2383 ในสมัยรัชกาลที่ 3 ผู้ดำเนินการ คือ พระยาศรีพิพัฒน์ โดยใช้งบประมาณ 96,534 บาท และใช้แรงงานชาวจีน เป็นคลองที่เชื่อมระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยากับแม่น้ำบางปะกง มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเส้นทางคมนาคม และเป็นเส้นทางยุทธศาสตร์ในการทำสงครามกับญวน คลองแสนแสบมีระยะทางรวม 53.5 กิโลเมตร กว้าง 12 เมตร ลึก 2 เมตร (วิชัย รูปขำดี และคณะ, 2542: 2 - 5)

ชื่อของคลองแสนแสบ มาจากการที่คลองขุดผ่านบึงแสนแสบ ซึ่งมีบริเวณกว้างอยู่ระหว่างตำบลหัวหมากกับตำบลมีนบุรี โดยมีเรื่องเล่าว่าในสมัยนั้นพื้นที่บริเวณที่ขุดคลองยังเป็นป่ารก มียุ้งป่าชุกชุมมาก ทำให้การขุดคลองซึ่งทำโดยการใช้แรงงานคนทำด้วยความยากลำบาก เนื่องจากถูกยุงกัดจนตัวแสบ ต่อมา ในสมัยรัชกาลที่ 4 และ รัชกาลที่ 5 ได้มีการขุดคลองจากบริเวณกรุงเทพมหานคร ถัดจากทุ่งหัวหมากเข้ามาเชื่อมต่อกับคลองมหานาค เรียกว่า คลองบางกะปิ ซึ่งเป็นลำคลองเดิมที่เคยขุดสมัยรัชกาลที่ 1 และรัชกาลที่ 2 ปัจจุบันจึงถือว่าคลองแสนแสบเริ่มต้นตั้งแต่บริเวณคลองมหานาคติดกับคลองผดุงกรุงเกษม จนถึงแม่น้ำบางปะกงที่ตำบลบางขนาก มีความยาวทั้งสิ้น ประมาณ 72 กิโลเมตร

ความสำคัญของคลองแสนแสบด้านการเป็นโครงข่ายการชลประทาน โดยในอดีตคลองแสนแสบเป็นคลองหลักหนึ่งใน 11 คลอง ของบริเวณที่ราบลุ่มพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเหนืออ่าวไทย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นคลองที่เชื่อมระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยากับแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมี 4 คลอง ได้แก่

1. คลองรังสิต

2. คลองแสนแสบ

3. คลองสำโรง

4. คลองประเวศบุรีรมย์

คลองที่เชื่อมแม่น้ำเจ้าพระยากับแม่น้ำท่าจีน 5 คลอง ได้แก่

1. คลองพระยาบวรฤๅ

2. คลองพระราชภิรม

3. คลองมหาสวัสดิ์

4. คลองภาษีเจริญ

5. คลองมหาไชยชลมารค

คลองที่เชื่อมระหว่างแม่น้ำแม่กลองกับแม่น้ำท่าจีน ได้แก่

1. คลองดำเนินสะดวก

2. คลองสุนัขหอน

ความสำคัญด้านระบบชลประทานสมัยใหม่ของคลองแสนแสบ คือ การมีประตูระบายน้ำที่สามารถกักเก็บและควบคุมการไหลของน้ำในฤดูแล้งและฤดูน้ำหลากได้ ซึ่งเกิดจากการที่พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว โปรดเกล้าฯ ให้สร้างประตูน้ำที่บริเวณวังสระปทุมเป็นแห่งแรก และต่อมาในระยะหลังก็มีการสร้างที่บางชันและบางนาเพื่อการชลประทาน การระบายน้ำ และการเกษตร จะเห็นว่าคลองแสนแสบมีความสำคัญทั้งทางด้านประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม และประโยชน์ใช้สอยด้านการคมนาคมและเกษตรกรรม

ปัจจุบันสภาพน้ำในคลองต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร รวมทั้งคลองแสนแสบมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค ไม่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคและเพื่อการเกษตรได้ ข้อมูลคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 คุณภาพน้ำจุดต่างๆ ของคลองแสนแสบ ประจำปี พ.ศ.2547

สถานที่เก็บน้ำ	TEMP (°C)	pH	DO (mg/l)	H ₂ S (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	NH ₃ N (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	T-P (mg/l)	T.Collform (col/100ml)
ถนนอโศกดินแดง	27.7	7.06	1.8	0.0	11.3	36	80	6.6	2.7	0.06	0.7	0.8	1.9E+05
ประตูระบายน้ำแสน แสบ	27.7	7.10	1.2	0.1	12.6	37	60	6.7	2.8	0.08	0.9	1.0	3.0E+05
ซอยเทพพิลลา	27.7	7.14	0.5	0.2	18.7	55	57	9.2	4.2	0.09	1.0	1.2	6.3E+05
สะพานบางกะปิ	27.7	7.15	1.4	0.0	11.5	50	37	6.1	2.7	0.06	0.9	1.0	2.4E+05
วัดป่าใหญ่เหนือ	27.7	7.03	2.0	0.0	7.3	44	32	3.9	0.7	0.03	0.5	0.5	5.5E+04
มีนบุรี (โรงเรียนสตรี วิทยามีนบุรี)	27.7	7.09	3.5	0.0	5.3	43	31	2.7	0.7	0.03	0.4	0.4	4.9E+04
ประตูระบายน้ำแสน แสบ (ของกรม ชลประทาน)	27.7	7.20	4.7	0.0	7.5	39	31	2.1	0.4	0.04	0.4	0.4	3.2E+04
สะพานประตูน้ำวัด เทวศิรินทร์	28.1	7.03	0.6	0.2	19.3	65	80	4.8	1.2	0.06	0.7	0.8	4.0E+06

แหล่งที่มา: กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับคลองแสนแสบ มีสาเหตุสำคัญ 3 ประการ คือ (วิชัย รูปจำดี และคณะ, 2539: 38)

1. การเน่าเสียของน้ำในคลอง
2. การรुक้ำที่ดินริมคลอง ทำให้คลองบางช่วงแคบลง
3. การตื้นเขิน เนื่องจากการทับถมของขยะมูลฝอยและวัชพืช

ซึ่งปัญหาการเน่าเสียของน้ำในคลองแสนแสบเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในคลอง สุขภาพอนามัยของประชาชนที่อาศัยริมคลอง รวมทั้งทัศนียภาพของคลองที่เคยเป็นตำนานเรื่อง ความอุดมสมบูรณ์ เป็นแหล่งเพาะปลูก และต้นกำเนิดวรรณกรรมอันลือเลื่อง ต้องเสื่อมสลายไป กับกาลเวลา การพัฒนา และความเปลี่ยนแปลงของยุคสมัย

การแก้ปัญหาการเน่าเสียของน้ำที่เกิดขึ้นในคลองแสนแสบ มีการดำเนินการหลายวิธีเช่น การส่งเสริมให้ชุมชนรอบคลองมีส่วนร่วมในการรักษาคลอง การสร้างโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อ บำบัดน้ำก่อนระบายลงสู่คลอง รวมทั้งการที่สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานครได้นำแนวพระราชดำริในการถ่ายเทน้ำเสียลงสู่ทะเลมาดำเนินการ เป็นต้น

การบำบัดน้ำเสียทั่วไปสามารถบำบัดได้ทั้งทางกายภาพ เคมี และทางชีวภาพ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจเรื่องการบำบัดโดยใช้วิธีการทางเคมี ซึ่งมีข้อดีคือ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547: 249)

1. สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดี
2. ใช้กำจัดสารพิษได้มากกว่าวิธีอื่น
3. ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียได้มากกว่าวิธีอื่นๆ
4. ระบบบำบัดไม่มีกลิ่นเหม็น
5. สามารถกำจัดสารปนเปื้อนบางชนิดได้มากกว่าวิธีการทางชีวภาพ
6. ได้คุณภาพน้ำทิ้งดีอย่างต่อเนื่อง

อีกทั้งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และให้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงสามารถปรับเป็นระบบเล็กๆ ใช้ในครัวเรือนและชุมชนได้ ซึ่งกระบวนการบำบัดทางเคมี เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547: 250)

1. มีสภาพเป็นกรด หรือด่างสูงเกินไป
2. มีโลหะหนักเป็นพิษ
3. มีสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก
4. มีสารประกอบอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ

5. มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ

โดยวัตถุประสงค์ของการบำบัดทางเคมี คือ

1. เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้มีคุณภาพตามที่ต้องการ เช่น ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) สี กลิ่น
2. เพื่อสร้างตะกอนเล็ก ๆ ให้มีขนาดตามที่ต้องการ
3. เพื่อแยกมลพิษที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค
4. ทำให้เกิดการทำลายเชื้อโรค

อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมียังต้องคำนึงถึงการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การเลือกใช้สารเคมีและวิธีการที่จะนำมาใช้ในการบำบัดจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

จากสภาพน้ำเสียในคลองแสนแสบที่ส่วนใหญ่เป็นน้ำทิ้งจากบ้านเรือน ชุมชน สถานประกอบการที่มีการปนเปื้อนทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารในปริมาณสูง การใช้วิธีการบำบัดโดยวิธีการทำให้ตะกอนรวมตัว (Coagulation) ซึ่งเป็นวิธีที่แพร่หลายและใช้กันโดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสียมาเป็นเวลานาน เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นเทคโนโลยีที่นำมาปฏิบัติได้ง่าย เป็นวิธีที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้นในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใช้รดน้ำต้นไม้ ขำระล้าง ใช้เป็นน้ำในระบบหล่อเย็น ใช้ในอุตสาหกรรม และสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพจนถึงระดับการใช้เพื่อการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค ต่อไปได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมกลุ่มตะกอน ได้แก่ สภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของน้ำเสีย ความขุ่น (Turbidity) ของน้ำเสีย การผสม (เร็วและช้า) ศักย์ Zeta (Zeta Potential) ปริมาณสารรวมกลุ่มตะกอนที่เติม (Coagulant Dosage) อุณหภูมิ (Temperature) ประจุบวก/ลบ ในน้ำเสีย สี และปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon: TOC) ในน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณภาพตัวอย่างน้ำของคลองแสนแสบก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน ได้แก่ ชนิดสารเคมี ปริมาณสารเคมี และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการขจัด COD สี และความขุ่น

1.3 สมมติฐานการศึกษา

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพรวมในการขจัด COD สี และความขุ่น สูงกว่าการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) และไคโตซาน (Chitosan)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณภาพตัวอย่างน้ำของคลองแสนแสบก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน

1.4.2 ทราบชนิดและปริมาณสารเคมี และสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ

1.4.3 ทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)

1.4.4 ได้ข้อเสนอแนะ และทางเลือกในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยวิธีทางเคมี

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นตัวอย่างน้ำทิ้งจากการเก็บตัวอย่างจากคลองแสนแสบ บริเวณท่าเรือหลังวัดศรีบุญเรืองถึงบริเวณหลังอาคาร 9 ของสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ความยาวประมาณ 300 เมตร โดยเก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2548

1.5.2 สถานที่ทำการทดลองคือ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒน วิทยาเขตองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก และ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ บริษัท เกื้อกูลตะวันออก จำกัด ตำบลท่าตุม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี

1.5.3 ระยะเวลาทำการทดลอง คือ ช่วงวันที่ 5 - 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2548

1.5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบโดยใช้สารเคมีรวมกลุ่มตะกอน 4 ชนิด (สารส้ม โคโคซาน เพอร์ริกคลอไรด์ และ โพลิอิเล็กโตรไลต์) ใช้การเปรียบเทียบค่าร้อยละในการขจัด COD สี และความขุ่น (ประสิทธิภาพรวมในการบำบัด)

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการศึกษา

1.6.1 ตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียจากคลองแสนแสบที่ทำการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมในวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

1.6.2 น้ำเสีย

น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไป ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ แก่แหล่งน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น เกิดการเน่าเหม็น หรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

1.6.3 คอลลอยด์ (Colloids)

อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (10^{-6} เมตร) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ คอลลอยด์ (Colloids) เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็กและไม่ละลายน้ำ เป็นสาเหตุของการเกิดสีและความขุ่นน้ำ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พวคน้ำมันน้ำ (Hydrophobic) เช่น เศษดินโคลนในน้ำ และพวกรับน้ำ (Hydrophilic) เช่น สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี

1.6.4 สารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant)

สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่ม (Floc) อนุภาคจะมีขนาดใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักมากขึ้นและสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ในการทดลองครั้งนี้ หมายถึง สารส้ม ไคโตซาน เพอร์ริกคลอไรด์ และโพลีอิเล็กโตรไลต์

1.6.5 การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)

กระบวนการหนึ่งของการทำให้ใส (Clarification) โดยเกิดจากกระบวนการรวมตัวของอนุภาคที่แขวนลอย แล้วเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น (Flocculation) และตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการประสานอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งไม่สามารถแยกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กเกินไป หลักการของ การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) คือ การเติมสารเคมีช่วยในการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant) เช่น สารส้ม ลงในน้ำเสียทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียความคงตัว แล้วจับตัวกันเป็นกลุ่ม (Floc) จนมีน้ำหนักมากขึ้นและสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น

1.6.6 สารเคมีช่วยรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant Aid)

สารเคมีที่เติมเพิ่มลงไปกับสารรวมตะกอนปฐมภูมิ (Primary Coagulant) เพื่อเพิ่มการจับตัวและรวมตัวของตะกอน โดยจะทำหน้าที่ลดความเสถียรของอนุภาค และลดแรงผลักที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาค เช่น Bentonite Clay NaCO_3 และ ซิลิกาเจล เป็นต้น

1.6.7 Chemical Oxygen Demand (COD)

คุณลักษณะทางเคมีของน้ำเสีย เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสีย ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เป็นค่าที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำ โดยถ้ามีค่าสูงแสดงถึงการมีความสกปรก (สารอินทรีย์ต่าง ๆ) ในปริมาณสูง

1.6.8 สี (Colour)

คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำ ที่สามารถมองด้วยตาเปล่า ค่าสีในน้ำแบ่งเป็นสีปรากฏ (Apparent Colour) คือค่าสีที่เกิดจากสารละลายและสารแขวนลอยในน้ำ สีจริง (True Colour) คือ ค่าสีที่เกิดจากการเข็นตริฟิวจ์ เอาความขุ่นและสารแขวนลอยออกไปแล้ว น้ำธรรมชาติจะมีสีออกเหลืองน้ำตาล ซึ่งสามารถเตรียมสารละลายสีมาตรฐานจาก โพตัสเซียมคลอโรพลาทีเนต (Potassium Chloroplatinate: K_2PtCl_6) ผสมกับโคบอลต์สคลอไรด์ (Cobaltous Chloride: $CoCl_2 \cdot 6H_2O$) โดย 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของ K_2PtCl_6 เท่ากับค่าสี 1 หน่วย Pt.Co.

1.6.9 ความขุ่น (Turbidity)

คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำ ที่เกิดจากการมีสารแขวนลอยอยู่ ทำให้เกิดการกระจัดกระจาย และดูดซึมแสง ไม่ให้ส่องผ่านได้ ความขุ่นสามารถวัดได้เป็นหน่วย เนินทียู (NTU: Nephelometric Turbidity Unit) และ เจทียู (JTU: Jackson Turbidity Unit)

1.6.10 Van der Waals Force

แรงยึดเหนี่ยวอ่อน ๆ ระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น O_2 , CCl_4

1.6.11 Zeta Potential

ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เข้ามาอยู่ใกล้กัน จะเกิดการซ้อนทับระหว่าง Zeta Layer และ Diffuse Layer ซึ่งจะเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคและแรงผลักระหว่างอนุภาคสามารถวัดออกมาในรูปศักย์ไฟฟ้าได้

1.6.12 ไคโตซาน

สารโพลีเมอร์ธรรมชาติ เป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เกิดจากการขจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) ไคตินด้วยด่าง มีคุณสมบัติเป็นโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก สามารถดูดซับได้ทั้งอิออนบวกและอิออนลบ

1.6.13 ประสิทธิภาพในการขจัด

ค่าที่ความสามารถในการบำบัดของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด คำนวณโดยการนำผลต่างระหว่างคุณภาพของตัวอย่างน้ำ (COD สี ความขุ่น) ก่อนบำบัดและหลังบำบัด มาคิดเป็นปริมาณร้อยละของการขจัด

1.6.14 ประสิทธิภาพรวมในการขจัด

ผลรวมของความสามารถในการบำบัดของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด คำนวณจาก ผลรวมของประสิทธิภาพ (ค่าร้อยละในการขจัด) ในการบำบัด COD สี และความชื้น

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเชิงทดลองเรื่อง การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน หรือ โคแอกกูเลชัน (Coagulation) ผู้วิจัยได้รวบรวมแนวคิด หลักการ ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการทดลองหาชนิด ปริมาณของสารเคมี และสภาวะที่เหมาะสม ในการบำบัด น้ำเสียคลองแสนแสบ โดยแบ่งเป็น

- 2.1 คุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสีย
- 2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมี
- 2.3 หลักการของการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)
- 2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสีย

2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย

กรมควบคุมมลพิษ (2548: ย่อหน้าที่ 1) ให้คำจำกัดความว่า น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้

วิทยา เพียรวิจิตร (2525: 4) ให้คำจำกัดความว่า น้ำเสียหรือน้ำโสโครก (Sewage or Wastewater) หมายถึง น้ำที่ใช้แล้วในกิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชน จากบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ สถานประกอบการต่าง ๆ ตลอดจนโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งอาจมีทั้งน้ำได้ดิน น้ำผิวดิน และน้ำฝน รวมอยู่ด้วย

2.1.2 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

ในการจัดการน้ำเสียจำเป็นต้องทราบรายละเอียดของแหล่งน้ำเสียและส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผน หรือเลือกวิธีการบำบัดให้มีประสิทธิภาพได้ดีขึ้น โดยแหล่งที่มาของน้ำเสียมาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

2.1.2.1 น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของคน เช่นน้ำจากครัวเรือนส่วนใหญ่จะเป็นน้ำจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การซักล้าง ซึ่งจะมีส่วนประกอบของไขมัน เศษผัก เศษอาหาร น้ำทิ้งจากสถานศึกษา โรงพยาบาล อาคารพาณิชย์ ส่วนประกอบของน้ำก็จะแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะของกิจกรรมที่มี

2.1.2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม จะมีส่วนประกอบของน้ำเสียที่แตกต่างกันตามชนิดและกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้น ๆ แม้ในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันน้ำเสียที่ปล่อยออก ก็ยังมีคุณลักษณะแตกต่างกัน

2.1.2.3 น้ำเสียจากภาคเกษตรกรรม สิ่งปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากการเกษตรจะมีส่วนประกอบของปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง และเศษซากพืชซากสัตว์ เป็นต้น

2.1.2.4 น้ำเสียจากน้ำล้างถนนและน้ำฝน จะมีส่วนประกอบของเศษดินและน้ำมัน เป็นต้น

2.1.3 ลักษณะของน้ำเสีย

2.1.3.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย (Physical Characteristics of Wastewater)

ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมด กลิ่น อุณหภูมิ สี ความขุ่น ซึ่งแต่ละลักษณะจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (วิสาขภูกิจ, 2548: 38-39)

1) ปริมาณของแข็ง (Solid Contents) คือ ปริมาณสารต่าง ๆ ทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นทั้งสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ อาจละลายหรือไม่ละลายก็ได้

(1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS) คือ ปริมาณสารต่าง ๆ ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ สามารถวัดได้จากการระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

(2) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Total Volatile Solids: TVS) สามารถวิเคราะห์ได้จากการนำกากจากการหา TS ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส น้ำหนักของกากที่ถูกเผาไหม้ไปจะเป็นค่า TVS

(3) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) สามารถวิเคราะห์ได้จากการนำน้ำเสียมาผ่านกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105

องศาเซลเซียส นำน้ำหนักของกระดาศกรองหลังอบแห้งไปหักลบจากน้ำหนักกระดาศกรองก่อนกรองจะได้ปริมาณ SS

(4) VSS (Volatile Suspended Solids) สามารถหาได้จากการนำกระดาศกรองที่อบแห้งจากการวิเคราะห์ SS ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส น้ำหนักของแห้งที่หายไปจะเป็นค่า VSS

(5) ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Solids: DS) เป็นปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย คำนวณจากผลต่างระหว่าง TS และ SS นั่นคือ $DS = TS - SS$

2) กลิ่น กลิ่นจากน้ำเสียส่วนมากมาจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก๊าซส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนได้เปลี่ยนสภาพซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ การวัดกลิ่น เรียกว่า Threshold Odor Test ซึ่งทำได้โดยการเจือจางน้ำที่มีกลิ่นด้วยน้ำจนกระทั่งกลิ่นหมดไป จะแสดงผลเป็น The Maximum Detectable Threshold Odor Concentration (MDTOC) ซึ่งแสดงเป็นสัดส่วนของการเจือจาง

3) อุณหภูมิ เมื่อน้ำเสียที่ปล่อยออกมาสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแก่แหล่งน้ำ คือ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนน้อยลงกว่าปกติ เพราะค่าอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีการเกิดปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในน้ำสูงขึ้น และมีการเจริญเติบโตของพืชในน้ำมากกว่าปกติ อุณหภูมิของน้ำทั้งไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส

4) สี เป็นสิ่งที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อมีการปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย สีที่อยู่ในน้ำเสีย มี 2 แบบ คือ Dissolved Colour และ Suspended Colour สีเป็นสารอินทรีย์ น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสีมีที่มาจากอุตสาหกรรมกระดาษ การทอผ้า เป็นต้น ทำให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำคือ กั้นแสงแดดไม่ให้ส่องลงใต้น้ำ สามารถวัดความเข้มข้นของสีโดยใช้ Spectrophotometric Methods

5) ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากการที่น้ำประกอบด้วยสารแขวนลอยขนาดเล็ก เช่น ดิน คอลลอยด์ และจุลินทรีย์ซึ่งมีขนาดเล็กระดับไมครอน ซึ่งทำให้เกิดการกระเจิงและดูดกลืนคลื่นแสงทำให้มองเห็นว่าน้ำขุ่น ความขุ่นสามารถวัดได้จากการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานซิลิกา ความขุ่นของซิลิกา 1 mg/l เทียบเท่ากับความขุ่น 1 TU (Turbidity Unit)

2.1.3.2 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสีย (Chemical Characteristics of Wastewater)

- 1) ค่าออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพน้ำ ถ้ามีออกซิเจนสูงน้ำจะมีความสะอาดมาก
- 2) Chemical Oxygen Demand (COD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีในน้ำเสีย
- 3) Biological Oxygen Demand (BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งวัดออกมาในรูปของ BOD_5 คือ ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) ในช่วงเวลา 5 วัน ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่า BOD_5 เป็นค่าที่สำคัญอย่างมากในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียโดยทางชีววิทยา และใช้หาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย
- 4) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) คือ ค่าที่แสดงความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจนในน้ำ มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย ค่า pH มีความสำคัญมากต่อระบบบำบัดทางชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์ในระบบจะทำงานได้ดีในช่วง pH 6.8 – 8 เท่านั้น
- 5) ค่าความกระด้าง (Hardness) คือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของ Calcium Ion และ Magnesium Ion ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการตกตะกอนกับสบู่ ถ้าน้ำกระด้างมากจะทำให้สบู่ปริมาณมากในการทำให้เกิดฟอง
- 6) Nitrogen Content สามารถพบได้หลายรูปแบบ เช่น สารไนโตรเจนอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนเตรท ในน้ำเสียมักประกอบด้วย Complex Organic Molecule (Proteins) และแอมโมเนีย แบคทีเรียจะย่อยสารเหล่านี้ได้เป็นไนไตรท์และไนเตรท เรียกกระบวนการนี้ว่า Nitrification
- 7) Chlorides พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ ดิน และหิน ถ้าความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดรสเค็ม
- 8) Oil and Grease มีผลกระทบต่อบำบัดและสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากไขมันและน้ำมันจะแยกตัวลอยบนผิวน้ำ จึงถูกย่อยสลายยากโดยจุลินทรีย์
- 9) โลหะหนัก เช่น ตะกั่ว นิกเกิล ทองแดง สังกะสี ปปรอท ถ้ามีปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัด นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์
- 10) สารพิษอื่น ๆ เช่น PCB (Polychlorinated Biphenyl) ที่อยู่ในบัลลัสต์ DDT (Dichloro Diphenyl Trichloroethane) ในสารฆ่าแมลง เป็นต้น

2.1.3.3 ลักษณะทางชีวภาพของน้ำเสีย (Biological Characteristics of Wastewater)

1) สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ (Microorganisms) ได้แก่ แบคทีเรีย สัตว์เซลล์เดียว รา ไวรัส และสาหร่าย

2) โคลิฟอร์ม (Coliform) แบ่งเป็น Total Coliform เป็นค่าแสดงแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ และ Fecal Coliform เป็นแบคทีเรียที่มาจากอุจจาระ

2.1.4 สาเหตุของการเกิดปัญหาน้ำเสีย

ในแต่ละวันคนหนึ่งคนจะมีการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเฉลี่ย 150 – 200 ลิตร ซึ่งน้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์แล้วนี้จะกลายเป็นน้ำที่มีความสกปรก และมีสิ่งเจือปน หรือที่เรียกว่า น้ำเสีย ดังนั้น การเพิ่มจำนวนประชากรในแต่ละชุมชน และการประกอบกิจกรรมในภาคธุรกิจการค้า ภาคอุตสาหกรรม และการบริการล้วนต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิต หรือการบริการ ดังนั้น การขยายตัวของกิจการต่าง ๆ จึงมีส่วนทำให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก สาเหตุสำคัญของปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นในประเทศไทย สรุปได้ดังนี้ (สุริย์ บุญญานพวงศ์, 2544: 9)

2.1.4.1 การเพิ่มขึ้นของประชากรในเขตเมืองและเขตชนบท การเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้ชุมชนขยายตัวขึ้น นอกจากนั้น การขยายตัวของกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การท่องเที่ยว การบริการ การขนส่ง เป็นต้น ก็มีส่วนทำให้น้ำเสียเกิดขึ้นจำนวนมาก

2.1.4.2 การขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม ทำให้มีความต้องการใช้น้ำจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลให้เกิดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ไม่สามารถบำบัดได้โดยธรรมชาติจำนวนมาก การส่งเสริมการลงทุนภาคอุตสาหกรรมทั้งในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลรวมทั้งภูมิภาคต่าง ๆ ทำให้ปัญหาน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมมีการกระจายไปทั่วภูมิภาคของประเทศ

2.1.4.3 การนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ และสารเคมีชนิดใหม่ ๆ มาใช้ในการผลิตทั้งภาคเกษตรและอุตสาหกรรม ทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตมีการปนเปื้อนของสารเคมีที่เป็นพิษและโลหะหนัก ซึ่งน้ำเสียประเภทนี้ก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการบำบัด

2.1.5 ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปเมื่อมีสิ่งสกปรกปะปนลงสู่แหล่งน้ำ แหล่งน้ำจะมีการทำความสะอาดตัวเอง (Self Purification) แต่ถ้ามีปริมาณของเสียระบายลงสู่แหล่งน้ำเป็นปริมาณมากเกินความสามารถ

ในการทำความสะอาดตัวเองของแหล่งน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาของสารต่าง ๆ ในน้ำ ทำให้เกิดการเน่าเหม็นก่อให้เกิดความรำคาญ ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

วิทยา เพียรวิจิตร (2525: 1 - 2) กล่าวถึงความเสียหายและผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ดังนี้

2.1.5.1 ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ ทางอากาศ และเกิดการปนเปื้อนในดิน ทำให้สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติเกิดการเสื่อมโทรม

2.1.5.2 เป็นแหล่งเพาะพันธุ์โรคและแมลง (Breeding Places) ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล ที่มีอยู่ในน้ำเสียทำให้เกิดการหมักหมมเน่าเหม็น และเป็นแหล่งก่อให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคและแมลงที่เป็นพาหะนำโรคต่าง ๆ สู่มนุษย์

2.1.5.3 ก่อให้เกิดความรำคาญแก่ประชาชนที่อาศัยใกล้เคียงและผู้พบเห็น เนื่องจากการเน่าเหม็น สกปรก เกิดทัศนียภาพที่ไม่น่าดู

2.1.5.4 ทำให้คุณภาพน้ำลดลง โดยมีค่า BOD และ pH สูงเกินมาตรฐานทำให้เกิดภาวะเน่าเสีย

2.1.5.5 ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ เช่น เพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ ค่าใช้จ่ายเรื่องการรักษาพยาบาลของผู้ที่เจ็บป่วย สุขภาพเสื่อมโทรมจากสภาวะแวดล้อมที่แย่งลง

จากปัญหาและผลกระทบของน้ำเสียที่ปรากฏดังกล่าวทำให้ต้องมีการจัดการน้ำเสียโดยการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น

2.1.6 ความเป็นมาของการบำบัดน้ำเสีย

สุริย์ บุญญานุพงศ์ (2544: 10) กล่าวถึงความเป็นมาของการบำบัดน้ำเสียไว้ดังนี้

ปี ค.ศ.1824 เกิดไฟไหม้ที่เมืองฮัมบูร์ก ประเทศเยอรมัน ทำให้เกิดความเสียหายเกือบทั้งเมืองจนต้องมีการสร้างเมืองขึ้นใหม่ ในการสร้างเมืองใหม่มีการวางผังเมืองใหม่โดยวิศวกรชาวอังกฤษชื่อ W. Lindley และมีการออกแบบระบบระบายน้ำทิ้งและน้ำฝนด้วย ซึ่งบางระบบยังมีการใช้จนถึงปัจจุบัน แต่ระบบการระบายน้ำที่ออกแบบนี้เป็นเพียงระบบการรวบรวมน้ำเสียเท่านั้น

ในฤดูร้อน ค.ศ.1848 ประชาชนในกรุงลอนดอนเกือบ 15,000 คน เสียชีวิตลงด้วยโรคอหิวาตกโรค เนื่องจากน้ำประปาไม่สะอาดเพียงพอสำหรับการบริโภค โดยมีสาเหตุจากการขาดระบบระบายน้ำเสียจากบ้านเรือนที่ถูกสุขลักษณะ ทำให้ต้องมีการแก้ไขระบบการระบายน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนให้ดีขึ้นเพื่อลดการแพร่ของโรคอหิวาตกโรค แต่ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งเกี่ยวกับน้ำเสียที่ระบายจากอาคารบ้านเรือน คือ การที่เกษตรกรได้นำน้ำเสียปริมาณมากนี้ไปใช้ใน

การเกษตรกรรม ซึ่งทำให้เกิดความวิตกกังวลมาก และเป็นเหตุให้เกิดความคิดที่จะทำการจัดการน้ำเสียเหล่านี้ให้สะอาดก่อนที่จะระบายทิ้งลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบ หรือการนำไปใช้ในการเกษตร จึงเป็นที่มาของการค้นหาวิธีการจัดการน้ำเสีย และสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่าง ๆ ขึ้น

2.1.7 หลักการจัดการน้ำเสีย

หลักการจัดการน้ำเสียที่สำคัญ คือ การนำน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการบำบัดเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง ที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของประชาชน โดยทั่วไปการจัดการน้ำเสียประกอบด้วยขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

2.1.7.1 การรวบรวมน้ำเสีย (Wastewater Collection) เป็นการนำน้ำเสียจากแหล่งกำเนิด ไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอย่างเหมาะสมกับสถานะของแต่ละพื้นที่ สอดคล้องตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์ ระบบรวบรวมน้ำเสียมี 2 ระบบ คือ

- 1) ระบบรวบรวมน้ำเสียแบบรวม (Combined System) เป็นระบบที่ออกแบบเพื่อรวบรวมทั้งน้ำเสียและน้ำฝนรวมในท่อเดียวกันเพื่อนำไปบำบัด ณ โรงบำบัดน้ำเสีย
- 2) ระบบรวบรวมน้ำเสียแบบแยก (Separated System) เป็นระบบที่แยกน้ำเสียและน้ำฝนไว้คนละท่อ โดยท่อที่รวบรวมน้ำเสียจะนำไปบำบัด ณ โรงบำบัดน้ำเสีย ส่วนน้ำฝนจะถูกรวบรวมไปยังแหล่งกักเก็บ

2.1.7.2 การบำบัดน้ำเสีย (Treatment) คือ การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดโดยอาศัยวิธีการและเทคโนโลยีที่เหมาะสม การบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 4 วิธี (เกรียงศักดิ์ อุฒสินโรจน์, 2543: 35)

1) กระบวนการทางกายภาพ (Physical Unit Operation) คือ การบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง (Screening) การบดตัด (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ตะกอนลอย (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) เป็นต้น

(1) การดักด้วยตะแกรง (Screening) ใช้ในการดักเศษขยะต่าง ๆ จากน้ำเสีย เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ เศษพลาสติก เป็นต้น มีประโยชน์ต่อการช่วยเสริมประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดต่อเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องเติมอากาศ

(2) การบดตืด (Comminution) เครื่องบดตืดมีหน้าที่บดตืดเศษขยะที่ไหลมาบับน้ำเสีย ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

(3) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) ตะกอนหนัก คือ พวงกววด หิน ทราย หรือตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ซึ่งต้องกำจัดออกก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับเครื่องจักรกล การอุดตันของท่อระบายน้ำเสีย และป้องกันไม่ให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนใหญ่ซึ่งจะเกิดความเสียหายกับระบบบำบัดน้ำเสีย

(4) การกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease Removal) น้ำมันและไขมันพบมากในน้ำทิ้งจากร้านอาหาร อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร สถานีจำหน่ายน้ำมัน ตู้ซ่อมรถยนต์ เป็นต้น การกำจัดน้ำมันและไขมันมีหลายวิธี ได้แก่ การเติมคลอรีนประมาณ 2 - 5 ppm การเติมคลอรีนร่วมกับการเป่าอากาศ การทำให้ลอย (Flotation) แล้วเก็บกวาดออกจากร้านบนผิวน้ำ

(5) การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยการจมตัวของตะกอนแขวนลอยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนสูงกว่าน้ำ ถึงตกตะกอนที่ทำหน้าที่แยกตะกอนออกจากน้ำเสียก่อนที่จะไหลไปลงถังบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีทางชีววิทยา นิยมเรียกว่า ถังตกตะกอนแรก (Primary Sedimentation Tank) และถังตกตะกอนที่ใช้แยกตะกอนชีวภาพ หรือตะกอนเคมี ออกจากน้ำเพื่อให้ได้น้ำใสสะอาด เรียกว่า ถังตกตะกอนที่สอง (Secondary Sedimentation Tank)

(6) การทำให้ตะกอนลอย (Flotation) มีหลักการ คือ แยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียด้วยวิธีทำให้ตะกอนต่าง ๆ ในน้ำเสียลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนผิวน้ำ เพื่อทำการกวาดตะกอนลอยทิ้งออกไป นิยมใช้กับตะกอนประเภทที่ยากแก่การตกตะกอน เช่น พวงไขมันสัตว์ ตะกอนเบาต่าง ๆ เป็นต้น วิธีการทำให้ตะกอนลอยขึ้นมามีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ การลอยตัวด้วยอากาศละลาย (Dissolved – air Flotation) การลอยตัวด้วยอากาศ (Air Flotation) และการลอยตัวด้วยสูญญากาศ (Vacuum Flotation)

(7) การลอยตัวด้วยอากาศละลาย (Dissolved – air Flotation) หลักการของวิธีนี้ คือ เป่าอากาศลงในน้ำเสียภายใต้ความดันสองสามบรรยากาศ จากนั้นจึงปล่อยความดันให้เข้าสู่ความดันบรรยากาศ

(8) การลอยตัวด้วยอากาศ (Air Flotation) หลักการของวิธีนี้ คือ การเติมอากาศหรือเป่าอากาศลงในน้ำโดยตรง ณ ความดันบรรยากาศ ในการเป่าอากาศจะเกิด

ฟองอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางฟองอากาศประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร ได้นำพาตะกอนต่าง ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้นพวกตะกอนที่ลอยขึ้นมาจะถูกกวาดทิ้งออกไป

(9) การลอยตัวด้วยสูญญากาศ (Vacuum Flotation) หลักการของวิธีนี้ คือ พยายามเป่าอากาศลงใต้น้ำเสียจนถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งมี 2 วิธี คือ เป่าอากาศลงใต้น้ำเสียโดยตรง หรืออีกวิธีหนึ่ง คือ ปลอยให้อากาศเข้าไปในเครื่องสูบน้ำเอง ระบบนี้จะใช้ถังปิด ซึ่งจะเก็บน้ำที่ถูกเป่าอากาศลงไปจนถึงจุดอิ่มตัว หลักการของระบบนี้คล้ายกับการเปิดขวดน้ำอัดลม

(10) การกรอง (Filtration) ในช่วงแรกระบบกรองน้ำถูกใช้ในงานผลิตน้ำประปาเท่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1949 มีการนำเอาระบบกรองน้ำมาใช้ในการเพิ่มคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองแล้ว (Effluent) โดยใช้วิธีกรองน้ำทิ้งที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนที่สอง ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านระบบกรองน้ำแล้วจะไม่มีตะกอนแขวนลอยหลงเหลืออยู่ ทำให้สามารถลดค่าปริมาณตะกอนแขวนลอย (TSS) และค่า BOD ลงไปได้อีกมาก ประโยชน์ที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่ไม่สามารถแยกตะกอนจากน้ำทิ้งได้หมด เครื่องกรองน้ำที่ใช้กันในงานบำบัดน้ำเสีย หรือใช้ในการกรองน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนที่สอง โดยทั่วไปเครื่องกรองน้ำสำหรับงานลักษณะนี้จะเป็นประเภทที่ให้ตะกอนติดค้างอยู่ในชั้นกรอง แล้วจึงทำการล้างเครื่องกรองเพื่อให้ตะกอนที่ค้างอยู่ในชั้นกรองหลุดทิ้งไป

2) กระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมีผสมกับน้ำเสีย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อแยกเจือปนสารต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย กระบวนการทางเคมีเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงหรือต่ำเกินไป มีโลหะหนักหรือสารพิษปนเปื้อน เป็นต้น ตัวอย่างวิธีการทางเคมีได้แก่ การทำให้ตกตะกอน (Precipitation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น

(1) การทำให้ตกตะกอน (Precipitation) เป็นการบำบัดโดยการเติมสารเคมีเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำและที่เป็นของแข็งแขวนลอย ด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอนและใช้วิธีการทางกายภาพร่วมด้วย ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนได้แก่ สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริซัลเฟต เป็นต้น

(2) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการให้น้ำเสียมีสภาพความเป็นกรด - ด่าง ในช่วงที่เป็นกลาง (ความเป็นกรด - ด่าง ช่วง 7 - 8) ด้วยการเติมสารเคมี

เพื่อให้มีสภาพความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่อไป เช่น ก่อนการส่งน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพ หรือการระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เป็นต้น

(3) การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) เป็นกระบวนการหนึ่งของกระบวนการทำให้ใส (Clarification) โดยการใช้วิธีการทางเคมีเพื่อขจัดมลสารที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่มีในน้ำเสีย ซึ่งยากต่อการตะกอนตามปกติ โดยสารเคมีที่เติมลงไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัว และรวมตัวกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ขึ้นแล้วตกตะกอน

(4) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และ Amobic Cysts ที่มีในน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมี เช่น คลอรีน โอโซน และ คลอรีนไดออกไซด์ เป็นต้น

3) กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Unit Processes) คือ การบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการใช้จุลินทรีย์ต่าง ๆ มาทำการย่อยสลายแปรเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซ CO_2 หรือ CH_4 วัตถุประสงค์ของการบำบัดทางชีววิทยา คือ ต้องการกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านชีวเคมี (Biochemistry) และจุลชีววิทยา (Microbiology) เพื่อช่วยในการสนับสนุนความเข้าใจยิ่งขึ้น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยามีหลายกระบวนการ เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filters) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contractors: RBC) ระบบเอเอส (Activated Sludge) ระบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) ระบบบ่อธรรมชาติ (Pond) เป็นต้น

(1) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filters) ประกอบด้วยตัวกลางบรรจุอยู่ในถัง เพื่อให้จุลินทรีย์เกาะอยู่ตามผิวตัวกลางมาก ๆ โดยอาศัยออกซิเจนจากอากาศผสมกับน้ำเสียก่อนที่จะไหลผ่านผิวตัวกลางที่มีจุลินทรีย์เกาะอยู่ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเมือกหนาพอเพียงที่จะให้ออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปได้

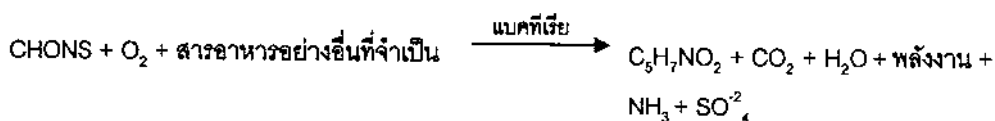
(2) ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contractors: RBC) ระบบ RBC ประกอบด้วยแผ่นที่ทำด้วยวัสดุใด ๆ ที่แข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในน้ำได้ โดยมากทำด้วยพลาสติก พีวีซี ยาง Polyethylene เป็นต้น มีรูปร่างเป็นแผ่นกลมมีแกนกลางเป็นเหล็กกันสนิม ถูกหมุนอย่างช้า ๆ ประมาณ 2 - 5 รอบต่อนาที และมีอัตราการเคลื่อนที่ของขอบนอกของแผ่นกลมเท่ากับ 10 - 25 เมตรต่อนาที และโดยปกติจะมีเวลากักเก็บของถึงประมาณ 40 - 250 นาที สำหรับหลักการในการบำบัดน้ำเสียจะเหมือนกับระบบโปรยกรอง คือ จุลินทรีย์ที่มาจากน้ำเสียเริ่มขยายพันธุ์เกาะตามบริเวณผิวตัวกลางของแผ่นกลมที่หมุนอยู่ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ประเภทจุลินทรีย์จับผิวตัวกลาง จนกระทั่งจำนวนจุลินทรีย์ที่มาเกาะเต็มทั่วทั้งแผ่นกลม และมี

ลักษณะที่คล้ายเมือกปกคลุมแผ่นกลมหนาประมาณ 1 ถึง 3 มิลลิเมตร ของจุลชีพ ขณะที่แผ่นกลมหมุน ออกซิเจนในอากาศภายนอกก็จะถ่ายเทผ่านเข้าไปในผิวเมือกจุลชีพ และนำออกซิเจนลงไปใต้น้ำเสีย ทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย ด้วยปริมาณออกซิเจนและจำนวนจุลชีพที่พอเหมาะ

(3) ระบบเอเอส (Activated Sludge) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาที่นิยมใช้กันมาก โดยอาศัยจุลชีพที่มีปริมาณมากพอสำหรับการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จุลชีพเหล่านี้จะลอยอยู่ในน้ำตะกอนของถังเติมอากาศ ซึ่งจุลชีพจะขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณขึ้น ในลักษณะที่เรียกว่าการเติบโตแบบแขวนลอย (Suspended Growth) ภายในถังเติมอากาศจะมีระบบกวน โดยมากมักจะใช้เครื่องจักรกลทำหน้าที่ให้จุลชีพหรือน้ำสลัดจ์แขวนลอยอยู่ในถังเติมอากาศตลอดเวลา เพื่อที่สามารถควบคุมจำนวนจุลชีพภายในระบบเอเอส (Activated Sludge) ได้เป็นที่ต้องการจำเป็นต้องมีระบบแยกน้ำสลัดจ์ออกจากรูน้ำทิ้ง ซึ่งนิยมใช้ถังตกตะกอนทำหน้าที่แยกน้ำทิ้งออกจากน้ำสลัดจ์เพื่อปล่อยน้ำทิ้งที่ใสไหลล้นออกจากถังตกตะกอน ส่วนบริเวณก้นถังจะมีปริมาณน้ำสลัดจ์มากซึ่งมักจะนำกลับสู่ถังเติมอากาศเพื่อช่วยในการควบคุมจำนวนจุลชีพในถังเติมอากาศได้ ถ้าพบว่าระบบมีน้ำสลัดจ์มากเกินไปความต้องการก็อาจจะสูบถ่ายจากก้นถังตกตะกอนหรือจากถังเติมอากาศโดยตรงก็ได้และจะนำน้ำสลัดจ์ส่วนเกินนี้ไปบำบัดและกำจัดทิ้งต่อไป ปฏิกิริยาชีวเคมีข้างล่างเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัวจุลชีพได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนได้ผลของปฏิกิริยา ซึ่งจะมีผลสารที่เล็กลงแต่จะได้จำนวนจุลชีพเพิ่มขึ้นและมีพลังงานเพิ่มขึ้น



หรือ



(4) ระบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic เป็นวิธีที่ไม่ต้องเติมออกซิเจนหรือนิยม เรียกว่า ระบบไร้ออกซิเจนหรือถังหมัก ระบบนี้เริ่มใช้กันแพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และ

ยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจน คือ ก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้ และใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมได้ เมื่อสมัยก่อนเข้าใจกันว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic จำเป็นต้องมีน้ำเสียที่มีความสกปรกมาก (BOD สูง) แต่ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาขึ้นมาเรื่อย ๆ จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มี BOD ต่ำ ๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการดังต่อไปนี้

- ป่อหมัก (Anaerobic Ponds) อาจเป็นป่อดินหรือป่อคอนกรีตก็ได้ โดยอาจมีขนาดความลึกของป่อตั้งแต่ 1.0 เมตร ถึง 8 – 9 เมตร ก็ยังมีใช้กัน ป่อประเภทนี้จะป่อที่รับน้ำเสียที่มีปริมาณ BOD (กิโกรัมต่อวัน) มาก ๆ จนทำให้ป่อไม่สามารถผลิตออกซิเจนเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์แสงในป่อสามารถทำให้ไม่เกิดขึ้นได้ โดยการลดพื้นที่ผิวของป่อเพิ่มความลึกของป่อ และเพิ่มปริมาณ BOD ขึ้น (กิโกรัมต่อวัน) โดยทั่วไปป่อประเภทนี้จะมีสีดำเกิดขึ้นภายในป่อหมัก ถ้าพบว่าป่อมีน้ำสีเขียวแสดงว่าบริเวณผิวชั้นนั้นจะมีการเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงขึ้นในป่อ ส่วนบริเวณก้นป่อโดยมากจะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการ Anaerobic ขึ้น ซึ่งลักษณะนี้ว่า Facultative Pond โดยทั่วไปป่อหมักจะมีเวลาเก็บกักของน้ำเสียในป่ออาจมีตั้งแต่ 1 - 200 วัน ป่อประเภทนี้จะป่อระบบน้ำเสียขั้นแรกที่ต้องการลดหรือกำจัด BOD ลงไปส่วนหนึ่งก่อน เพื่อการประหยัดพลังงานในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ของป่อหมักจะอยู่ในช่วงร้อยละ 20 – 95 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของน้ำเสียด้วย

- ป่อเกรอะ (Septic Tank) ป่อเกรอะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียประเภทไร้ออกซิเจน เป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดเหมาะสำหรับอาคารพักอาศัยส่วนบุคคล อาคารสำนักงาน เป็นต้น ที่มีปริมาณน้ำทิ้งไม่มากนัก ระบบนี้มีการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดูแลรักษาระบบ แต่มีข้อเสียคือ น้ำทิ้งที่ไหลผ่านป่อเกรอะแล้วจะยังมีความสกปรกอยู่มาก จึงต้องมีการบำบัดต่อไปอีก

- ถังแบบฟิล์มตรึง (Fixed-Film Reactor) ระบบนี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ตัวกลางบรรจุอยู่ในระบบถัง ทั้งนี้ เพื่อให้มีอายุของสลัดจ์หรือเวลากักเก็บน้ำของสลัดจ์ยาวนาน แต่มีเวลาเก็บกักของน้ำเสียต่ำกว่า เพราะน้ำสลัดจ์จะไปเกาะบริเวณผิวของตัวกลาง ยังมีผิวขรุขระมากเท่าไรก็ยังสามารถมีจำนวนจุลชีพ (จำนวนต่อตารางเมตร) มากขึ้นด้วย โดยจำนวนจุลชีพที่บรรจุอยู่ในระบบจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจุลชีพจะเกาะตัวอยู่บนบริเวณผิวของตัวกลางและบางส่วนอาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลาง ทำให้ระบบนี้ไม่ต้องกวนน้ำเสียภายในถัง การย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบนี้ใช้เวลาเก็บกักของน้ำเสียตั้งแต่เวลา 1

- 10 วัน โดยสามารถรับ COD ของน้ำเสียได้ตั้งแต่ 4 – 16 กิโลกรัม COD ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวกลางที่สามารถใช้ได้ คือ พวกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีธรรมชาติได้ เช่น ก้อนหิน พลาสติก อิฐ ยาง ดินเผา เป็นต้น ซึ่งพบว่าตัวกลางที่ใช้ดินเผาจะมีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบดีมาก เพราะมีพื้นที่ผิวขรุขระมาก สามารถมีจำนวนจุลชีพมากในระบบ สำหรับขนาดของตัวกลางไม่ควรมีขนาดเล็กหรือใหญ่จนเกินไป ถ้ามีขนาดเล็กจนเกินไปอาจเกิดปัญหาการอุดตันขึ้นได้ง่าย แต่ถ้าวัดตัวกลางที่มีขนาดใหญ่เกินไปอาจทำให้มีพื้นที่ผิวของตัวกลางน้อยลง ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ในบางครั้งน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบมีค่า BOD สูงมากกว่าปกติ ก็อาจแก้ไขได้โดยการสูบน้ำทิ้งที่ไหลผ่านระบบ Anaerobic Filter นี้แล้วกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้งเพื่อทำให้ BOD ผสมมีขนาดความเข้มข้นปกติ สำหรับขนาดความลึกของตัวกลางที่ควรมีในระบบ ไม่จำเป็นต้องมาก เพราะถ้ามีความลึกของตัวกลางมากเกินไป 1.50 เมตร ก็อาจเริ่มเกิดปัญหาอุดตันหรือสูญเสียความดัน (Head Loss) ขึ้น ดังนั้น อาจใช้ความลึกของตัวกลางประมาณ 1.20 เมตร ก็เพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำเสียทั่วไป เวลาเก็บกากของถังกรองไร้อากาศประมาณ 7 วันขึ้นไปจะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง และต้องมีเวลาเก็บกากอย่างน้อย 4 วัน สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชน เพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำโสโครก

(5) ระบบบ่อธรรมชาติ (Pond System) ระบบบ่อธรรมชาติ หมายถึง บ่อที่รับน้ำเสียเพื่อมาบำบัดหรือกำจัด BOD โดยอาศัยธรรมชาติคืออาศัยการสังเคราะห์แสงเพื่อให้เกิดก๊าซ CO_2 และหรืออาศัยการหมักเพื่อให้เกิดก๊าซมีเทน ดังนั้น ในบ่อธรรมชาติอาจทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียทั้งแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน ภายในบ่อเดียวกันนี้ระบบบ่อธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ บ่อมีออกซิเจน (Aerobic Pond) บ่อมี/ไม่มีออกซิเจน (Facultative Pond) และบ่อไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Pond) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- บ่อมีออกซิเจน (Aerobic Pond) บ่อนี้มีขนาดกว้างใหญ่ ใช้แสงแดดช่วยให้เกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ซึ่งจะบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียและสาหร่าย บ่อแบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ บ่อผลิตสาหร่าย (High-rate Pond) ซึ่งมีขนาดความลึกของน้ำเท่ากับ 15 - 45 เซนติเมตร เท่านั้น และ บ่อเพิ่มออกซิเจน (Low-rate Pond) ซึ่งมีขนาดความลึกของน้ำเท่ากับ 1.5 เมตร ถ้าต้องการให้ได้ผลดีที่สุด คือ ทำให้เป็น Aerobic Pond จริง ๆ ก็อาจใช้เครื่องเติมอากาศเข้าช่วย อย่างไรก็ตาม ระบบนี้สามารถลด BOD ของน้ำเสียได้ แต่จะมีพวงสาหร่ายเจริญเติบโตมากซึ่งเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่คลองสาธารณะจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้

ดังนั้น อาจจำเป็นต้องมีระบบกรองน้ำทั้งที่ผ่าน Aerobic Pond มาแล้วก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่คลองสาธารณะ

- บ่อมี/ไม่มีออกซิเจน (Facultative Pond) บ่อนี้จะเกิดหรือใช้แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Bacteria) แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) และแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพมีออกซิเจนน้อยมาก คือ สามารถอาศัยได้ทั้งในสภาพมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative Bacteria) ซึ่งนิยมเรียกบ่อธรรมชาตินี้ว่า Facultative Pond ภายในบ่อจะมี 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นบน คือ ชั้นที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีเหมือนกับของ Aerobic Pond จะมีสาหร่ายเกิดขึ้น ชั้นล่างสุด คือ ชั้นที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีเหมือนกับของ Anaerobic Pond มีก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไข่เน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) ก๊าซมีเทน เกิดขึ้น และชั้นกลาง คือ ชั้นที่เกิดแบคทีเรียขึ้นใหม่ และมีแบคทีเรียบางส่วนตายบริเวณนี้ ลักษณะของบ่อแบบนี้ส่วนมากเป็นบ่อดินที่ควรมีการติดตั้งตะแกรงดักขยะก่อนที่จะปล่อยลงสู่บ่อ ในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องการสาหร่ายช่วยในการผลิตออกซิเจน แต่จะใช้เครื่องเติมอากาศในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับบ่อน้ำบำบัด ซึ่งจะทำให้สามารถรับปริมาณ BOD ของน้ำเสียได้มากขึ้นโดยปราศจากการกวนอย่างสมบูรณ์เพราะจะไปทำให้สภาพ Anaerobic ที่เกิดขึ้นในชั้นล่างสุดของบ่อสูญเสียไป ซึ่งจะทำให้ไม่ได้รับประโยชน์จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยวิธี Anaerobic

- บ่อไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Pond) เป็นบ่อหมักที่ไม่ใช้ออกซิเจนบางครั้งเรียก บ่อหมัก ใช้ได้กับการบำบัดน้ำเสียที่มี BOD_5 สูงตั้งแต่ 1000 ppm ขึ้นไป นิยมใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างช้า ๆ ดังนั้น ต้องมีเวลากักเก็บเพียงพอกับเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ บ่อหมักนี้เป็นบ่อขุดโดยมีการปูแผ่นพลาสติกหรือไม่ต้องมีการปูด้วยพลาสติก พื้นและขอบบ่อเป็นดินหรือเป็นชอบคอนกรีต บ่อนี้จะมีกลิ่นเหม็น ก๊าซที่เกิดขึ้นจากบ่อหมัก ได้แก่ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไข่เน่า (H_2S) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

4) กระบวนการทางกายภาพ - เคมี (Physicochemical Unit Processes) กระบวนการนี้ใช้ในการกำจัดสารเคมี และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งได้แก่ Carbon Adsorption Ion Exchange Ultrafiltration และ Electrodialysis เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการนี้ คือ ต้องการให้คุณภาพน้ำทิ้งที่ดีตามต้องการในมาตรฐานสูง โดยมากกระบวนการนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการดำเนินการ ดังนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

(1) การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption) ระบบนี้ใช้หลักการดูดซับด้วยคาร์บอนเพื่อต้องการแยกสารที่ปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำทิ้ง เช่น สารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งหลังจากผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 แล้ว พวกถ่านที่มีใช้กันมี 2 ลักษณะ แบบคาร์บอนเม็ด (Granular Carbon) และแบบคาร์บอนเป็นผง (Powdered Carbon) ซึ่งนิยมเรียกรวมกันว่า Activated Carbon

(2) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) ระบบนี้ใช้หลักการแลกเปลี่ยนประจุของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น แยก NH_4^+ , Cu^{+2} , CrO_4^{2-} , Zn^{+2} และ Ni^{+2} เป็นต้น ซึ่งโดยมากมักจะมีมากในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยอาศัยสารที่เติมลงไปในถังแลกเปลี่ยนประจุ เช่น NaCl หรือ HCl หรือ H_2SO_4 หรือ NaOH เป็นต้น ถังแลกเปลี่ยนประจุจะมีน้ำไหลลงมีตัวกลาง (Resin) บรรจุอยู่เกือบเต็มถัง การไหลเข้าไปจะทำให้แรงดันที่เหมาะสม และน้ำทิ้งจะไหลออกทางส่วนล่างของถังระบบนี้ต้องมีการล้างถังอย่างสม่ำเสมอ เมื่อมีตะกอนซึ่งอยู่ภายในมากเกินไปมาตรฐานและก็ทำการปฏิรูป (Regenerate) ตัวกลางบ่อยครั้งด้วย

(3) Ultrafiltration ระบบนี้ คือ ระบบกรองที่ใช้แผ่นเยื่อกรองแบบ Porous Membrane อัดน้ำไปด้วยแรงดันพอประมาณ ซึ่งจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนขนาดเล็กได้ โดยปกติเป็นสารปนเปื้อนที่มีขนาดน้ำหนักร้อยละไม่เกิน 5,000

(4) ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) ระบบนี้อาจเรียกว่า Hyperfiltration นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองผ่านแผ่นเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable Membrane) ณ ความดันสูงกว่าความดันขนาด Osmotic Pressure โดยจะนำไปใช้บำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานสูง หรือต้องการนำน้ำทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่สำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด หรือแม้กระทั่งอาจเพื่อไปใช้สำหรับน้ำอุปโภค

(5) การแยกตัวด้วยไฟฟ้า - เยื่อกรอง Electrodialysis จะนิยมใช้สำหรับการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล เป็นวิธีที่สามารถกำจัดพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งโดยปกติถ้าใช้ระบบนี้ในโรงบำบัดน้ำเสียก็จะเป็นระบบสุดท้ายของการบำบัดน้ำเสีย ระบบนี้จะประกอบด้วยขั้วเซลล์ประจุบวกและลบ และจะมีแผ่นเยื่อกรองแบบ Permeable Membranes ซึ่งจะจับสารปนเปื้อนที่มีประจุบวกและปล่อยให้สารที่มีประจุลบผ่านไปได้ ก่อนใช้ระบบนี้ น้ำทิ้งจะต้องได้ผ่านระบบที่สามารถกำจัดหรือแยกสารตะกอนเล็ก และสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กโมเลกุลใหญ่ๆ ออกจากน้ำแล้ว

หรืออาจแบ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียตามขั้นตอนการบำบัดได้ดังนี้ (วิสาขา ภูจินดา, 2548: 38-39)

- 1) ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (Preliminary Treatment) เช่น การดักด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนัก การปรับสภาพ การทำให้ลอยขึ้นเพื่อแยกน้ำมันและไขมัน
- 2) ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีการบำบัดทางกายภาพและเคมี ได้แก่ การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ระบบการสร้างตะกอนและรวมตะกอน ถังตกตะกอน และถังลอยตะกอน
- 3) ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เพื่อแยกและกำจัดสารอินทรีย์และตะกอนแขวนลอย โดยมากจะใช้กระบวนการทางชีววิทยา ได้แก่ Activated Sludge, Aerated Lagoon, Trickling Filter, Anaerobic Pond และ Stabilized Pond
- 4) ระบบบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) เพื่อแยกและกำจัดตะกอนแขวนลอยที่เหลือจากการบำบัดขั้นที่สอง และเพื่อกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้แก่ Ultrafiltration Reverse Osmosis Carbon Adsorption Ion Exchange และ Ammonium Stripping

2.1.7.3 การกำจัดกากตะกอน (Sludge Disposal) หลังการบำบัดจะมีตะกอน (Sludge) เกิดขึ้น กากตะกอนที่เกิดจากขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลว หรือกึ่งของเหลว กึ่งของแข็ง ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการบำบัด กากตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะมีปริมาณมาก จึงต้องมีมาตรการรองรับอย่างเพียงพอ โดยบางประเทศนำไปใช้เป็นส่วนผสมในปุ๋ย การกำจัดกากตะกอนมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดน้ำหนักและปริมาตร เพื่อให้สะดวกต่อการนำกลับมาใช้หรือนำไปกำจัดขั้นสุดท้าย ตัวอย่างวิธีการกำจัดกากตะกอน ได้แก่ ระบบลานตากตะกอนฐานทราย (Sand Drying Bed) ระบบรีดด้วยความดัน (Filter Press) ระบบรีดด้วยสายพาน (Belt Filter Press) การกำจัดสุดท้ายสามารถทำได้โดยการนำไปเผา และการฝังกลบเป็นต้น

2.1.7.4 การระบายน้ำทิ้ง (Discharge of Treated Wastewater) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีคุณภาพดีขึ้นพร้อมที่จะระบายทิ้งได้ การบำบัดน้ำเสียจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกระบายทิ้งอย่างเหมาะสม และตะกอนถูกนำไปกำจัดอย่างเหมาะสม

- 1) การนำกลับมาใช้ประโยชน์ (Re - use and Reclamation) ในหลายประเทศมีการนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจการต่าง ๆ อย่าง

จริงจัง เช่น ใช้ในการเกษตรกรรม การรักษาสนามหญ้าหรือสนามกอล์ฟ ใช้ในการผลิตภาคอุตสาหกรรม การเพิ่มระดับน้ำใต้ดินเพื่อทดแทนน้ำที่สูญเสียไปและหน่วงป้องกันการซึมของน้ำทะเล การรักษาระดับน้ำในแหล่งต่าง การเติมลงในแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปาหรือใช้ในกิจกรรมประจำวัน เช่น สำหรับการล้างรถ ชักโครก และรดน้ำต้นไม้ เป็นต้น

2) การผลิตพลังงานจากน้ำเสีย การกำจัดกากตะกอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียบางระบบมีวิธีหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digester) ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้ม หรือกระบวนการทำความร้อนอื่น ๆ ได้

2.1.8 การจัดการน้ำเสียในคลองต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร

การจัดการน้ำเสียในคลองต่าง ๆ อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร โดยดูแลเกี่ยวกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ศึกษา ค้นคว้า วิจัย การวางแผนและติดตามประเมินผลโครงการต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสีย สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานครได้วางมาตรการในการแก้ไขปัญหาน้ำเสียไว้ 3 ส่วน คือ (กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548)

2.1.8.1 มาตรการด้านการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

ในระยะแรก ยังไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวม เพราะข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ จึงได้จัดทำแนวทางการแก้ไขปัญหาน้ำเสียเป็น 3 แนวทาง คือ

1) การแก้ไขปัญหาระยะสั้น

เป็นการดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียภายใต้ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ และเร่งแก้ไขปัญหาน้ำเสียเฉพาะจุดในระยะเวลานั้นๆ จึงได้เกิดเป็นโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กจำนวน 4 แห่ง ได้แก่

- (1) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนนุช (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (2) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำบึงพระราม 9 (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (3) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำพุทธมณฑลสาย 2 (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 3)
- (4) โครงการปรับปรุงบึงมักกะสัน (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)

นอกจากนี้ กองจัดการคุณภาพน้ำยังมีโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำขนาดเล็กที่ได้รับโอนจากการเคหะแห่งชาติ จำนวน 12 แห่ง ได้แก่

- (1) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (2) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำบางนา (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (3) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองจั่น (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (4) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำรามอินทรา (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (5) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำทุ่งสองห้อง 1 (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (6) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำทุ่งสองห้อง 2 (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (7) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำหัวหมาก (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (8) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำท่าทราย (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (9) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองเตย (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (10) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำร่มเกล้า (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (11) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำบางบัว (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (12) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำปิ่นแก้ว (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)

2) การแก้ไขปัญหาระยะยาว

มาตรการแก้ไขปัญหาระยะยาวเป็นการดำเนินงานโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ โดยใช้แผนหลักการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานครเป็นแนวทางในการวางแผนปฏิบัติ โดยประยุกต์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่เอื้ออำนวยให้มีการก่อสร้าง โดยจะรวบรวมน้ำเสียจากชุมชน เข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่คูคลอง และแม่น้ำเจ้าพระยา กรุงเทพมหานครได้ดำเนินโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมจำนวน 7 พื้นที่ 6 โครงการ ครอบคลุมพื้นที่รวม 191.7 ตารางกิโลเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียโดยรวมได้ทั้งสิ้นประมาณ 992,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ได้แก่

- (1) โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำสีพระยา (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (2) โรงงานควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (3) โครงการบำบัดน้ำเสียรวมระยะที่ 1 (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 1)
- (4) โรงควบคุมคุณภาพน้ำทองนพคุณ (สังกัดศูนย์จัดการคุณภาพน้ำ 2)
- (5) โครงการบำบัดน้ำเสียหนองแขม-ภาษีเจริญ - ราษฎร์บูรณะ (สังกัดศูนย์

จัดการคุณภาพน้ำ 3)

(6) โครงการบำบัดน้ำเสียรวมระยะที่ 4 (สังกัดฝ่ายวิชาการ)

3) แผนการดำเนินงานในอนาคต

ได้มีการจัดทำแผนงานการบำบัดน้ำเสียรวมเพิ่มเติมในแผนพัฒนากรุงเทพมหานคร ฉบับที่ 5 (ปี พ.ศ.2540 - 2544) โดยจะดำเนินการก่อสร้างโครงการบำบัดน้ำเสียรวมอีก 3 โครงการ ครอบคลุมพื้นที่ 166.3 ตร.กม. สามารถบำบัดน้ำเสียได้รวม 1,020,000 ลบ.ม./วัน ได้แก่

- (1) โครงการบำบัดน้ำเสียพระโขนง - คลองเตย (สังกัดฝ่ายวิชาการ)
- (2) โครงการบำบัดน้ำเสียธนบุรี (สังกัดฝ่ายวิชาการ)
- (3) โครงการบำบัดน้ำเสียหนองบอน (สังกัดฝ่ายวิชาการ)

2.1.8.2 มาตรการด้านกฎหมาย

สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานครได้มีการตรวจสอบ ควบคุม และติดตามคุณภาพน้ำทั้งจากอาคาร สถานประกอบการประเภทต่าง ๆ โรงงานอุตสาหกรรมและสถานที่ก่อเหตุเดือดร้อนรำคาญตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีกฎหมายที่เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพน้ำที่กรุงเทพมหานครได้นำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาที่เสียที่สำคัญ ดังนี้

- 1) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522
- 2) พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535
- 3) พระราชบัญญัติรักษาความสะอาด และความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ.2535
- 4) พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535
- 5) พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เป็นต้น

2.1.8.3 มาตรการด้านการประชาสัมพันธ์

การแก้ปัญหาที่เสีย ไม่สามารถแก้ไขได้โดยหน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งเพียงลำพัง แต่ต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ทั้งภาครัฐบาล เอกชน และประชาชนทั่วไป การประชาสัมพันธ์มีความสำคัญยิ่งต่อการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสาร และรายงานสถานการณ์ให้ทุกฝ่าย

ได้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ตระหนักในปัญหาน้ำเสีย และพร้อมที่จะให้ความร่วมมือในการส่งเสริม การปฏิบัติงานแก้ไขปัญหาน้ำเสีย

ในช่วงแรกสำนักระบายน้ำดำเนินการประชาสัมพันธ์โดยลำพัง ต่อมา ได้รับการส่งเสริมมากขึ้น เมื่อปัญหาน้ำเสียทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น การประชาสัมพันธ์เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำเสีย ที่ได้ดำเนินการมาแล้ว ได้แก่

- 1) จัดทำเอกสาร และสื่อประชาสัมพันธ์ ประเภทต่าง ๆ เช่น โปสเตอร์ วีดีโอ แผ่นปลิว แผ่นพับ และเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ ในเรื่องมลพิษทางน้ำ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง ในการควบคุมมลพิษ วิธีการบำบัดน้ำเสีย และผลกระทบของปัญหาน้ำเสีย
- 2) การให้บริการทางวิชาการในรูปของการเข้าร่วมสัมมนา บรรยายทาง วิชาการ ต้อนรับผู้ดูงาน สัมภาษณ์ข้อมูล และเอกสารวิชาการ แก่นักศึกษา หน่วยงานต่าง ๆ และ ประชาชนทั่วไป รวมทั้งสื่อมวลชนแขนงต่าง ๆ
- 3) เข้าร่วมกิจกรรมรณรงค์เผยแพร่และประชาสัมพันธ์ในรูปการแสดง นิทรรศการในที่ต่าง ๆ
- 4) ร่วมกับหน่วยงานราชการอื่นปลูกฝังทัศนคติให้เยาวชนรัก และมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม
- 5) ดำเนินการฝึกอบรม และเผยแพร่ความรู้ให้แก่ เจ้าของหรือผู้ดูแล ระบบบำบัดน้ำเสีย และเจ้าของสถานประกอบการรวมทั้งนักเรียน นักศึกษา ครู ประชาชนทั่วไป และเจ้าหน้าที่ หรือส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง

2.1.8.4 การแก้ปัญหาน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ (กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนัก ระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548)

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้มีพระราชดำริให้ดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำเสียใน กรุงเทพมหานคร โดยพระองค์ ทรงเน้นให้เห็นความสำคัญของการควบคุมระดับน้ำในคลองสายหลักให้ถูกต้องตามภาวะการณ์ และลักษณะภูมิประเทศโดยในฤดูฝนให้รักษาระดับน้ำโดย คำนึงถึงการป้องกันน้ำท่วม และการบรรเทาอุทกภัยเป็นสำคัญ ส่วนฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนมิถุนายน ควรจะต้องควบคุมระดับน้ำ และนำน้ำสะอาดจากแม่น้ำเจ้าพระยาหรือทุ่งด้าน นอกเข้ามาถ่ายเทน้ำเสียโดยพยายามใช้หลักการไหลตามธรรมชาติ (Gravity Flow) มากที่สุดเพื่อ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องสูบน้ำ โดยทรงแนะนำให้เปิดประตูระบายน้ำ เมื่อระดับน้ำใน แม่น้ำเจ้าพระยาสูงสุด ให้น้ำจากแม่น้ำเข้าไปในคลองหลัก ได้แก่ คลองบางเขน คลองสามเสน

คลองผดุงกรุงเกษม คลองหลอด คลองบางลำพู และคลองด้านเหนือ ได้แก่ คลองสอง คลองลาดพร้าว และให้น้ำในคลองไหลในลักษณะทางเดียว (One Way) ไปทางประตูน้ำทางด้านใต้ ทรงกำชับควบคุมการเปิด - ปิดประตูระบายน้ำให้ถูกจังหวะ และเพื่อให้ได้ผลในการทำความสะอาดคลองมากที่สุด และทรงเตือนมิให้ระดับน้ำขึ้นสูงจนมีปัญหา น้ำล้นในพื้นที่ลุ่มต่ำ นอกจากนี้ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวยังทรงมีพระราชดำริให้ดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย ด้วยวิธีง่าย ๆ และได้ประโยชน์หลายด้านโดยเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก ในลักษณะการสร้าง "ชักโครกเมืองหลวง" โดยให้จัดหาพื้นที่บริเวณด้านทิศเหนือของกรุงเทพมหานคร มาจัดสร้างเป็นสระน้ำขนาดใหญ่ไว้กักเก็บน้ำที่ปล่อยทิ้งลงทะเลโดยเปล่าประโยชน์ ทำหน้าที่เป็นเสมือนชักโครกบำบัดน้ำเสียให้แก่กรุงเทพมหานคร จากพระราชดำริดังกล่าว กรุงเทพมหานครจึงได้จัดทำโครงการปรับปรุงบึงมักกะสัน โครงการบึงพระราม 9 และโครงการถ่ายเทน้ำในคลอง

โครงการถ่ายเทน้ำในคลองนี้ สืบเนื่องจากการที่เมื่อปี พ.ศ.2528 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้รับสั่งกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องว่า การระบายน้ำออกจากคลองอย่างที่กระทำอยู่ในเวลานี้ยังไม่ถูกระบบ เป็นเพียงการสูบน้ำจากภายในออกสู่อ่างน้ำเจ้าพระยาอย่างเดียว ควรใช้วิธีการปล่อยให้น้ำทะเลไหลเข้ามา ในช่วงที่น้ำขึ้นแล้วสูบน้ำทิ้งจะได้ผลดีมากกว่าการสูบน้ำลงสู่อ่างน้ำเจ้าพระยาอย่างเดียว กรุงเทพมหานครจึงได้นำแนวพระราชดำริในการแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสียในคลองสายหลักทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยการนำน้ำดีจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามาช่วยเจือจางน้ำเสียในคลองสายหลัก ซึ่งกรุงเทพมหานครได้น้อมรับแนวพระราชดำรินี้มายึดถือเป็นแนวทางปฏิบัติในการบำบัดน้ำเสียในคลองโดยเคร่งครัดและต่อเนื่อง

ปัญหาของโครงการถ่ายเทน้ำคลอง คือ น้ำในคลองของกรุงเทพมหานครมีสภาพเน่าเสียมาก ซึ่งจากผลการศึกษาคุณภาพน้ำคลองเขตต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานครของสุณี ดันติกุล (2531: บทคัดย่อ) พบว่า คุณภาพน้ำในคลองต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร มีระดับอุณหภูมิจึง ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในเกณฑ์ปกติของแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำในปริมาณต่ำมาก ปริมาณสารแขวนลอยสูง ในเขตคลองชั้นใน และเขตชั้นกลางมีปริมาณแอมโมเนียสูง โดยสรุปน้ำเกือบทุกคลองมีคุณภาพไม่ดี ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ได้ จากสภาพดังกล่าวทำให้การนำน้ำเข้ามาเจือจางต้องใช้น้ำดีเป็นจำนวนมากหลายเท่าตัว และการนำน้ำเข้ามาในระบบมากจะทำให้ระดับน้ำในคลองสูงเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม คลองบางแห่งมีความยาวมากแรงดันน้ำไปไม่ถึง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่ทำให้โครงการนี้ไม่บรรลุผลในการแก้ปัญหาน้ำเสียในคลองแสนแสบ

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้มีโครงการขนาดใหญ่เพื่อที่จะระบายน้ำเสียจากคลองลาดพร้าวและคลองแสนแสบ โดยการสร้างอุโมงค์ระบายน้ำเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายน้ำในคลองทั้งสอง ซึ่งเป็นคลองสายหลักที่สำคัญของพื้นที่กรุงเทพมหานคร และมีความสำคัญในการระบายน้ำจากพื้นที่ตอนบนและด้านตะวันออกลงแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อลดระดับน้ำในการผ่านคลองระบายน้ำ ปัจจุบันที่มีขีดจำกัดในการระบายน้ำ โดยการระบายน้ำผ่านอุโมงค์ได้ดินลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาโดยตรงมีความลึกจากพื้นดินประมาณ 27 เมตร ลอดใต้คลองแสนแสบ คลองต้น ซอยสุขุมวิท 71 ถนนสุขุมวิท คลองพระโขนง ไปสิ้นสุดที่สถานีสูบน้ำพระโขนง ความยาวอุโมงค์ประมาณ 5,300 เมตร ตอนปลายอุโมงค์ก่อสร้างสถานีสูบน้ำขนาด 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที งบประมาณในการก่อสร้าง 2,094 ล้านบาท หากอุโมงค์นี้แล้วเสร็จจะช่วยบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชนจากน้ำท่วมบริเวณดังกล่าวได้มากขึ้น และเป็นการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในระยะยาว โครงการนี้เริ่มดำเนินการก่อสร้างเมื่อ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2546 และจะเสร็จสิ้นในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2550 ณ เดือนมกราคม พ.ศ.2548 มีความคืบหน้าของโครงการ ร้อยละ 24

2.1.9 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

คลองแสนแสบเป็นคลองที่เคยเป็นแหล่งน้ำสำคัญสำหรับอุปโภคบริโภคของประชาชน ปัจจุบันคุณภาพน้ำคลองเปลี่ยนไปในระดับที่ไม่สามารถเป็นน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ที่สูงกว่าระดับ 4 ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำผิวดิน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	คุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดสำหรับแหล่งน้ำประเภทที่				
			1	2	3	4	5*
1.	สี กลิ่น รส	-	ธรรมชาติ	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	-
2.	อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	ธรรมชาติ	สูงกว่า	สูงกว่า	สูงกว่า	-
				ธรรมชาติ	ธรรมชาติ	ธรรมชาติ	
				ไม่เกิน 3	ไม่เกิน 3	ไม่เกิน 3	
				องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	
3.	พีเอช	-	ธรรมชาติ	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	-
4.	ออกซิเจนละลาย**	มก./ล.	ธรรมชาติ	≥ 6.0	≥ 4.0	≥ 2.0	-

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดสำหรับแหล่งน้ำประเภทที่				
			1	2	3	4	5*
5.	บีโอดี	มก./ล.	ธรรมชาติ	1.5	2.0	4.0	-
6.	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทั้งหมด	MPN/100 มล.***	ธรรมชาติ	5,000	20,000	-	-
7.	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย กลุ่มฟีคัล	MPN/100 มล.***	ธรรมชาติ	1,000	4,000	-	-
8.	ไนเตรท - ไนโตรเจน	มก./ล.	ธรรมชาติ	5.0	5.0	5.0	-
9.	แอมโมเนีย- ไนโตรเจน	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.5	0.5	0.5	-
10.	ฟีนอล	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.005	0.005	0.005	-
11.	ทองแดง (Cu)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.1	0.1	0.1	-
12.	นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.1	0.1	0.1	-
13.	แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	ธรรมชาติ	1.0	1.0	1.0	-
14.	สังกะสี (Zn)	มก./ล.	ธรรมชาติ	1.0	1.0	1.0	-
15.	แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.005 **** 0.05 *****	0.005 0.05	0.005 0.05	- -
16.	โครเมียม (Cr ⁶⁺)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.05	0.05	0.05	-
17.	ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.05	0.05	0.05	-
18.	ปรอท (Hg)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.002	0.002	0.002	-
19.	สารหนู (As)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.01	0.01	0.01	-
20.	ไซยาไนด์ (CN ⁻)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.005	0.005	0.005	-
21.	กัมมันตภาพรังสี						
	- รังสีแอลฟา (Alpha)	เบคเคอ เรล/ลิตร	ธรรมชาติ	0.1	0.1	0.1	-
	- รังสีเบตา (Beta)	เบคเคอ เรล/ลิตร	ธรรมชาติ	1.0	1.0	1.0	-
22.	ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ ลิตร	ธรรมชาติ	1.0	1.0	1.0	-

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดสำหรับแหล่งน้ำประเภทที่				
			1	2	3	4	5*
23.	ยาปราบศัตรูพืชที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	ธรรมชาติ	0.05	0.05	0.05	-
24.	Alpha-BHC	มคก./ล.	ธรรมชาติ	0.02	0.02	0.02	-
25.	Dieldrin	มคก./ล.	ธรรมชาติ	0.1	0.1	0.1	-
26.	Aldrin	มคก./ล.	ธรรมชาติ	0.1	0.1	0.1	-
27.	Heptachlor & Heptachlor Epoxide	มคก./ล.	ธรรมชาติ	0.2	0.2	0.2	-
28.	Endrin	มคก./ล.	ธรรมชาติ	ไม่สามารถพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด	-	-	-

แหล่งที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545: 3-13.

หมายเหตุ: * แหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่ามาตรฐาน (หมายถึง คุณภาพน้ำต่ำกว่าแหล่งน้ำประเภทที่ 4)

** เฉพาะค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen: DO) เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด นอกนั้นเป็นเกณฑ์มาตรฐานสูงสุด

*** MPN = Most Portable Number (ค่าที่ใช้ในการวัดปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ)

**** น้ำที่มีความกระด้างไม่เกิน 100 มก./ล.

***** น้ำที่มีความกระด้างเกิน 100 มก./ล.

ตารางที่ 2.2 ประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน คุณลักษณะ และการใช้ประโยชน์

ประเภท	คุณลักษณะ	การใช้ประโยชน์
1	แหล่งน้ำที่มีคุณภาพตามธรรมชาติ ปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกชนิด	1) การอุปโภคและบริโภคโดยตรงผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน 2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน 3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ
2	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท	1) การอุปโภคและบริโภคโดยตรงผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน 2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ 3) การประมง 4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
3	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท	1) การอุปโภคและบริโภคโดยตรงผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน 2) การเกษตร
4	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท	1) การอุปโภคและบริโภคโดยตรงผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน 2) การอุตสาหกรรม
5	แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท	1) การคมนาคม

แหล่งที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545: 3-13.

2.1.10 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

จากตารางที่ 1.1 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบของสำนักงานระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ณ จุดที่ใกล้กับบริเวณท่าเรือวัดศรีบุญเรืองมากที่สุด คือ บริเวณสะพานบางกะปิ พบว่าได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
1.	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5.0 - 9.0	
2.	ค่าทีดีเอส (TDS)	ไม่เกิน 3,000 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้แต่ไม่เกิน 5,000 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
3.	สารแขวนลอย (SS)	ไม่เกิน 50 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนด ให้มากกว่านี้แต่ไม่เกิน 150 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
4.	อุณหภูมิ	ไม่เกิน 40 °C	
5.	สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	
6.	ซัลไฟด์	ไม่เกิน 1.0 mg/l	
7.	ไซยาไนด์	ไม่เกิน 0.2 mg/l	
8.	โลหะหนักต่าง ๆ		
	- สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l	
	- โครเมียม (Cr ⁶⁺)	ไม่เกิน 0.25 mg/l	
	- โครเมียม (Cr ³⁺)	ไม่เกิน 0.75 mg/l	
	- อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 mg/l	
	- ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/l	
	- ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/l	
	- แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/l	
	- เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/l	
	- แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/l	
	- ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/l	
	- นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/l	
	- แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l	
9.	น้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 5.0 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้แต่ไม่เกิน 15 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
10.	ฟอร์มาลดีไฮด์	ไม่เกิน 1.0 mg/l	
11.	สารประกอบฟีนอล	ไม่เกิน 1.0 mg/l	
12.	คลอรีนอิสระ	ไม่เกิน 1.0 mg/l	
13.	สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัด ศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ตรวจไม่พบ ตาม วิธีการตรวจสอบที่ กำหนด	
14.	บีโอดี (BOD)	ไม่เกิน 20 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจ กำหนดให้มากกว่านี้แต่ไม่เกิน 60 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภท อุตสาหกรรม)
15.	ทีเคเอ็น (TKN)	ไม่เกิน 100 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจ กำหนดให้มากกว่านี้แต่ไม่เกิน 200 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือ ประเภทอุตสาหกรรม)
16.	ซีโอดี (COD)	ไม่เกิน 120 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจ กำหนดให้มากกว่านี้แต่ไม่เกิน 400 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือ ประเภทอุตสาหกรรม)

แหล่งที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
แห่งประเทศไทย, 2545: 3 – 37.

2.1.11 หลักการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อให้มีลักษณะและคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับแหล่งน้ำเดิมอย่างแท้จริง
และไม่ถูกปนเปื้อน หรือเปลี่ยนแปลงสภาพก่อนนำไปทดสอบเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง การเก็บ
ตัวอย่างน้ำเพื่อทดสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีจะแตกต่างจากการเก็บตัวอย่างน้ำ
เพื่อทดสอบทางชีววิทยา การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทดสอบจึงแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ
(วางแผนฯ สังสิทธิสวัสดิ์, 2539: 32)

1. การเก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบทางกายภาพและเคมี (Sample for Physical and Chemical Analysis)

2. การเก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบทางชีววิทยา (Sample for Bacteriological Analysis)

การเก็บตัวอย่างน้ำต้องพิจารณาถึงอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง วิธีการเก็บ จุดเก็บ การเก็บรักษาตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ

2.1.11.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

1) ขวดเก็บตัวอย่าง

ปกติใช้ขวดแก้วหรือโพลิเอทิลีน (Polyethylene) ที่มีฝาเกลียวปิดมิดชิด ก่อนใช้ล้างให้สะอาดด้วยกรดโครมิกและล้างด้วยน้ำจนสะอาด ขวดเก็บตัวอย่างจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการทดสอบดังนี้

(1) ขวดเก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบทางกายภาพและเคมี

- เพื่อการทดสอบทางกายภาพและเคมีทั่วไป

ขวดเก็บตัวอย่างควรทำด้วยพลาสติกพวกโพลิเอทิลีนหรือโพลิโพรพิลีน ซึ่งมีจุดหรือเกลียวที่ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน และปิดได้สนิท การใช้ขวดพลาสติกจะช่วยให้การขนส่งสะดวกและไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำ ขนาดของขวดที่ใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่จะทดสอบ

- เพื่อการทดสอบโลหะหนักและไนโตรเจน

ขวดเก็บตัวอย่างควรทำด้วยพลาสติกพวกโพลิเอทิลีนหรือโพลิโพรพิลีน ซึ่งมีจุดหรือเกลียวที่ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน ขนาด 1 ลิตร

- เพื่อการทดสอบสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

ขวดเก็บตัวอย่างควรทำด้วยแก้วสีชา พร้อมฝาจุปิดที่เป็นพลาสติกเคลือบด้วยเทฟลอน หรือใช้อลูมิเนียมฟลอยด์ที่ผ่านการล้างด้วยอะซิโตนหุ้มฝาจุปิดก่อนปิดฝา

(2) ขวดเก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบแบคทีเรียและจุลินทรีย์ก่อโรค

- ขวดเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

ขวดเก็บตัวอย่างเป็นขวดแก้วแบบจุกแก้ว ความจุประมาณ 125 มิลลิลิตร ล้างให้สะอาด คว่ำให้แห้งแล้วปิดจุกแก้วที่หุ้มด้วยกระดาษอลูมิเนียม บรรจุลงในกระป๋องโลหะเพื่อป้องกันการปนเปื้อนนำไปอบฆ่าเชื้อโรคที่อุณหภูมิ 160 – 180 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ ห้องก่อนนำไปใช้ ขวดที่อบฆ่าเชื้อแล้วห้ามเปิดให้เปิดเฉพาะเมื่อจะเก็บตัวอย่างน้ำเท่านั้น

- ขวดเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบจุลินทรีย์ก่อโรค

ขวดเก็บตัวอย่างเป็นขวดแก้วทรงสูง มีฝาเกลียวปิดสนิทและมีขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร บรรจุอาหารเพาะเชื้อ 15 มิลลิลิตร เช่น Selenite F Broth สำหรับเพาะ *Shigella* sp. และ *Salmonella* sp. เป็นต้น ขวดที่ใช้ต้องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 15 นาที เพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนนำไปใช้งาน ขวดที่บรรจุอาหารนี้ต้องใช้ให้หมดภายใน 10 วัน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 – 10 องศาเซลเซียส

2) เทอร์โมมิเตอร์

ใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำ สามารถวัดอุณหภูมิระหว่าง 0 – 60 องศาเซลเซียส

3) ภาชนะตักตัวอย่าง (Water Sampler)

ภาชนะตักตัวอย่าง มีหลายประเภท ดังนี้

(1) Water Supply Sampler ภาชนะตักตัวอย่างน้ำด้วยมือ หรืออาจเป็นแบบอัตโนมัติ มีขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร ที่มีความโปร่งใสสามารถมองเห็นตัวอย่างได้ ทำด้วยพลาสติกมีฝาปิดหัวท้ายทำด้วยยาง มีเชือกหย่อนเก็บในที่ลึก ๆ ได้ถึง 20 เมตร เมื่อต้องการเก็บก็หย่อนเชือกและดึงฝาเปิดเก็บน้ำเมื่อน้ำเต็มก็ปิด ทำให้เก็บน้ำได้สะดวกและไม่เกิดการปนเปื้อนกับผิวหน้าน้ำ

(2) Sewage Water Sampler ภาชนะตักตัวอย่างน้ำเสียทำด้วยโลหะ สามารถเก็บตัวอย่างน้ำในที่ลึก ๆ ระดับต่าง ๆ ได้

(3) Water Sampler for Grab Sampler ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างแยก (Grab Sampling) ประกอบด้วยกระบอกความจุ 1,000 มิลลิลิตร มีด้ามถือยาว 1.83 เมตร ภายในมีขวดแก้วสำหรับเก็บน้ำ มีฝาปิดเป็นแบบฝาเกลียว มีเชือกหย่อนเก็บในที่ลึก ๆ ระดับต่าง ๆ ได้

2.1.11.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง (Sampling Procedure)

การเก็บตัวอย่างน้ำให้เป็นตัวแทนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแหล่งน้ำเดิมอย่างแท้จริง มีวิธีการเก็บดังนี้ (วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์, 2539: 35)

1) ตัวอย่างแยก (Grab or Catch Sample)

เป็นตัวอย่างน้ำที่เก็บเพียงครั้งเดียว ที่เวลาและสถานที่หนึ่ง ๆ ของแหล่งน้ำ เพื่อให้ทราบคุณภาพของแหล่งนั้น ๆ ตามวัน เวลาที่เก็บโดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพตามกาลเวลา ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างน้ำนั้นเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำที่เก็บเฉพาะเวลาและที่จุดเก็บนั้น เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีคุณภาพค่อนข้างคงที่ ชนิดของแหล่งน้ำที่เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างน้ำชนิดนี้ คือ น้ำประปา น้ำผิวดิน น้ำบาดาล เป็นต้น

2) ตัวอย่างรวมแบบ Composited (Composited Sample)

เป็นตัวอย่างที่เก็บหลายครั้งแล้วนำมาผสมรวมเป็นตัวอย่างเดียวกัน ที่จุดเก็บเดิม แต่ต่างเวลากัน ปริมาณที่เก็บแต่ละครั้งเท่ากัน แล้วรวมตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ การเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการทราบความเข้มข้นเฉลี่ย เป็นการวิเคราะห์ที่ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ขจัดปัญหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ชนิดของแหล่งน้ำที่เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้ ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

ในบางกรณีการเก็บตัวอย่างรวมแบบ Composited ไม่อาจทำได้ เช่น การวิเคราะห์คลอรีนตกค้าง (Residual Chlorine) เนื่องจากปริมาณคลอรีนตกค้างจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเก็บตัวอย่างไว้นาน ๆ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ การเก็บตัวอย่างรวมแบบ Composited ควรใช้กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เมื่อเก็บตัวอย่างไว้นาน ๆ บางครั้งต้องใส่สาร Preservatives ก่อนนำไปเก็บ

3) ตัวอย่างรวมแบบ Integrated (Integrated Sample)

เป็นตัวอย่างที่เก็บจากจุดต่าง ๆ กัน ในเวลาเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน ที่สุด ปริมาณที่เก็บแต่ละครั้งเท่ากัน แล้วนำมาวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างที่จำเป็นต้องเก็บโดยวิธีนี้ได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ซึ่งคุณภาพน้ำจะแปรผันตามความกว้าง ความลึก แตกต่างกันตามพื้นที่หน้าตัดความเข้มข้นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงต้องเก็บหลายจุดเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ขนาดของตัวอย่างแบบผสมรวมขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยปกติควรเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมไม่น้อยกว่า 2 ลิตร และอย่างมาก 4 ลิตร ความถี่ในการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงที่นำมาผสมเป็นตัวอย่างแบบผสมรวมขึ้นอยู่กับความกว้างของลักษณะน้ำ หากแหล่งน้ำมีลักษณะคงที่ การเก็บตัวอย่างแบบจ้วงก็มีความถี่ต่ำ เช่น ทุก 4 ชั่วโมง หรือมากกว่า ความถี่ที่น้อยที่สุดคือวันละ 1 ครั้ง

2.1.11.3 ช่วงเวลาการเก็บและการตรวจวิเคราะห์

โดยปกติการตรวจวิเคราะห์ควรทำทันทีเพื่อมิให้สภาพน้ำที่เก็บมาเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเป็นการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพควรทำในขณะที่เก็บหรือในทันทีที่ตัวอย่างถึงห้องทดลอง ระยะเวลาที่ยอมให้มากที่สุดที่จะเก็บตัวอย่างน้ำไว้ก่อนการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ คือ

- 1) น้ำไม่สกปรก 72 ชั่วโมง
- 2) น้ำสกปรกเล็กน้อย 48 ชั่วโมง
- 3) น้ำสกปรก 12 ชั่วโมง

2.1.11.4 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ เพื่อป้องกันและลดอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของตัวอย่างในช่วงเวลาหลังเก็บและก่อนนำไปวิเคราะห์ เพื่อเป็นการ

- 1) ชะลอปฏิกิริยาทางชีววิทยา
- 2) ชะลอการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ
- 3) ลดการระเหยตัวขององค์ประกอบไอน้ำ

วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำโดยทั่วไปจะควบคุม pH ของน้ำ การเติมสารเคมี การแช่เย็น และการแช่แข็ง

2.1.11.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

- 1) แม่น้ำ ลำธาร มีวิธีการเก็บตัวอย่างดังนี้

(1) ลำน้ำไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ให้เก็บ 3 จุด คือ จุดเก็บที่ห่างจากตลิ่งเท่ากับ 1 ใน 4 (w/4) ของความกว้างลำน้ำ และจุดเก็บที่ความลึกเท่ากับ 2 ใน 10 ของความลึก ณ แต่ละจุด และ 8 ใน 10 ของความลึก ณ แต่ละจุด (2d/10 และ 8d/10 ตามลำดับ)

(2) ลำน้ำผสมกันดีในแนวยาว ให้เก็บ 3 จุด คือ จุดเก็บที่ห่างจากตลิ่งเท่ากับ 1 ใน 4 (w/4) ของความกว้างลำน้ำ และจุดเก็บที่ 6d/10 ของความลึก ณ แต่ละจุด

(3) ลำน้ำผสมกันดีในแนวขวาง ให้เก็บ 2 จุด คือ จุดเก็บที่อยู่กลางลำน้ำที่ 2d/10 และ 6d/10 ของความลึก

(4) ลำน้ำผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ให้เก็บเพียงจุดเดียว คือ จุดเก็บที่อยู่กลางลำน้ำที่ความลึก 6d/10

- 2) น้ำเสีย เก็บตัวอย่างตามวัตถุประสงค์

- (1) น้ำเสียอุตสาหกรรม เพื่อหาลักษณะและสมบัติของน้ำเสีย ให้เก็บจากทุกจุดที่ปล่อยน้ำออกมา และ/หรือ ที่จุดรวมของน้ำเสียก่อนออกนอกโรงงาน
- (2) น้ำเสียจากระบบบำบัด เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและควบคุมการทำงานของระบบบำบัด ให้เก็บจากจุดต่าง ๆ ตามขั้นตอนการทำงานของระบบ และควรเป็นจุดที่ไม่มีการตกตะกอนและน้ำทั้งมีการรวมตัวกันได้ดี
- (3) น้ำเสียจากชุมชน ให้เก็บจากท่อระบายน้ำโสโครกหรือบ่อตรวจระบาย (Manhole) หรือจากบ่อสูบ
- (4) น้ำดื่มน้ำใช้ ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งหรือจากก๊อกโดยตรงโดย
 - น้ำจากก๊อก ควรเปิดน้ำแรง ๆ ทิ้งไว้ประมาณ 5 – 10 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำ
 - น้ำจากบ่อที่สูบขึ้นมาจากบ่อ ให้เก็บตัวอย่างน้ำที่แน่ใจว่าไม่ใช่ น้ำที่ตกค้างในกระบอกสูบ
 - น้ำจากแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง สระ เก็บที่จุดและความลึกต่าง ๆ กัน เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำ ลำธาร

2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมี

การบำบัดโดยกระบวนการทางเคมี (Chemical Unit Processes) คือ วิธีการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการหนึ่ง โดยต้องการกำจัดหรือแยกสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย วิธีนี้ต้องใช้สารเคมีเติมลงไป ในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อให้การแยกสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้น ความรู้ทางด้านเคมีจะช่วยในการเลือกชนิด และปริมาณสารเคมีที่ต้องการผสมลงไป ข้อเสียของการใช้กระบวนการทางเคมีในการบำบัดน้ำเสีย คือ เมื่อเติมสารเคมีลงไป ในน้ำเสียแล้ว จะมีปริมาณสารเคมีผสมอยู่ในน้ำเสีย ทำให้เกิดผลกระทบด้านอื่น ๆ เช่น จะมีตะกอนเคมีเพิ่มขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี เป็นต้น แต่ถ้าน้ำเสียไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางชีววิทยาก็จำเป็นต้องเลือกวิธีการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานที่มีโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำทิ้ง หรือสารอื่น ๆ ที่จุลชีพไม่สามารถย่อยสลายได้

2.2.1 วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

2.2.1.1 เพื่อปรับสภาพของน้ำเสียให้เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ปรับความเป็นกรด ต่าง เติมสารอาหารให้มีเพียงพอ

2.2.1.2 เพื่อสร้างตะกอนเล็ก ๆ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น

2.2.1.3 เพื่อแยกมลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก ความขุ่น เกิดการตกตะกอนออกมา

2.2.1.4 เพื่อทำให้เกิดการฆ่าเชื้อโรคที่มีในน้ำเสีย ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีสภาพที่เหมาะสมต่อการนำกลับไปใช้ประโยชน์ หรือสามารถระบายทิ้งได้

2.2.2 ข้อดีของการใช้กระบวนการทางเคมี

2.2.2.1 สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดี

2.2.2.2 ใช้กำจัดสารพิษได้มากกว่าวิธีอื่น

2.2.2.3 ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียได้มากกว่าวิธีอื่น ๆ

2.2.2.4 ขนาดถังบำบัดมีขนาดเล็กกว่าการบำบัดทางชีวภาพ

2.2.2.5 น้ำทิ้งที่ปล่อยออกไม่มีการแพร่เชื้อโรคต่าง ๆ

2.2.2.6 ระบบบำบัดไม่มีกลิ่นเหม็น

2.2.2.7 สามารถทำเป็นระบบบำบัดชนิดเคลื่อนที่ได้

2.2.2.8 ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าวิธีการทางชีวภาพ

2.2.2.9 สามารถกำจัดสารปนเปื้อนบางชนิดได้มากกว่าวิธีการทางชีวภาพ

2.2.2.10 ได้คุณภาพน้ำทิ้งดีอย่างต่อเนื่อง

2.2.3 ข้อเสียของการใช้กระบวนการทางเคมี

2.2.3.1 มีตะกอนเคมีเกิดขึ้นมากกว่าวิธีอื่น ๆ

2.2.3.2 ต้องมีการกำจัดสารเคมีที่เติมลงไป

2.2.3.3 ต้องมีการกำจัดกากตะกอน

2.2.3.4 ต้องซื้อสารเคมีมาใช้อย่างต่อเนื่อง

2.2.3.5 ต้องเลือกชนิดและปริมาณสารเคมีให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

2.3 กระบวนการการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)

2.3.1 หลักการและความหมาย

กระบวนการการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) เป็นส่วนสำคัญในระบบการกรองของอเมริกามาตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1880 ช่วงเริ่มต้นมีการใช้สารส้มกับเกลือของเหล็กเป็น Coagulant โดยสารส้มเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

ในทศวรรษที่ 1930 Baylis ได้นำซิลิกาเป็น Coagulant Aid

ในทศวรรษที่ 1960 มีการเริ่มใช้โพลีเมอร์อินทรีย์สังเคราะห์ ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุบวก เป็น Coagulant

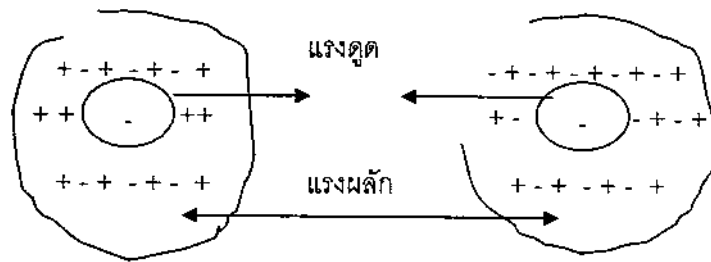
กระบวนการ Coagulation เป็นกระบวนการเพื่อให้น้ำให้อนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายให้จับกับอนุภาคอื่น และการจับที่มีของอนุภาคนี้อาจทำให้เกิดกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้น แล้วตกลงสู่ด้านล่าง กระบวนการ Coagulation เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญสำหรับการบำบัดน้ำ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ Coagulation, Sedimentation, Filtration และ Disinfection โดยกระบวนการ Coagulation มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้น้ำใสและขจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำ เช่น ไวรัส แบคทีเรีย และโปรโตซัวที่ทำให้เกิดโรค ปัจจุบันมีวัตถุประสงค์อีกอย่างที่สำคัญ คือ การขจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Material = NOM) NOM ที่เป็นส่วนประกอบตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ สารนี้จะเกิดในกระบวนการทำลายเชื้อโรคด้วยคลอรีนและสารเคมีอื่น ๆ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องขจัด NOM ออกจากน้ำโดยกระบวนการ Coagulation

กระบวนการ Coagulation เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนประกอบด้วยหลายปฏิกิริยาและขั้นตอนของการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer) ในการบำบัดน้ำมีกระบวนการที่เกิดขึ้น 3 ขั้นตอนเป็นลำดับต่อเนื่องกัน คือ การจับตัวของตะกอน (Coagulant Formation) การลดเสถียรของอนุภาค (Particle Destabilization) และการชนกันระหว่างอนุภาค (Particle Collision) โดย การเกิดขึ้นของขั้นตอนการจับตัวของตะกอน การลดเสถียรของอนุภาค และอันตรกิริยาระหว่าง Coagulant กับ NOM เกิดขึ้นทันทีในระหว่างที่มีการกวนเร็ว ขั้นตอนการชนกันระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นช่วงเริ่มต้นของการกวนเร็วบางส่วน แต่ส่วนใหญ่มักเกิดในกระบวนการรวมตะกอน (Flocculation)

คำนิยามของ Coagulation ในตำราการบำบัดน้ำทั่วไป จะหมายถึงปฏิกิริยาและกลไกทั้งหมดในการบำบัดน้ำ เป็นผลให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคในน้ำที่ถูกบำบัด และรวมทั้งสภาวะของการเกิดการจับตัวของตะกอน การลดเสถียรของอนุภาค และการสัมผัสทางกายภาพระหว่างอนุภาค ซึ่งกระบวนการทางกายภาพที่ทำให้เกิดการสัมผัสทางกายภาพระหว่างอนุภาคนี้นี้ก็คือกระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) (Camp: 1955, 1 - 16)

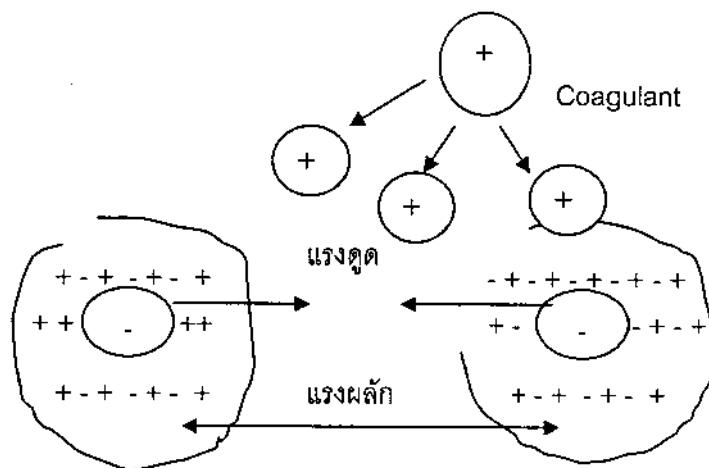
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย (2545: 5 - 15) ให้ความหมายของกระบวนการ Coagulation คือ กระบวนการประสานคอลลอยด์ซึ่งเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก คอลลอยด์มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร (10^{-6} เมตร) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็กเกินไป หลักของกระบวนการ Coagulation คือ การเติมสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant) เช่น สารส้ม ลงในน้ำเสียทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่มเรียกว่าฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากขึ้นและสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น Coagulant ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมกันเป็นฟล็อก

ณรงค์ วุฑฒเสถียร (2540: 71 - 75) ให้ความหมายของกระบวนการ Coagulation คือ กระบวนการหนึ่งของการทำให้ใส (Clarification) โดยเกิดจากกระบวนการรวมตัวของอนุภาคที่แขวนลอย แล้วเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น (Flocculation) และตกตะกอน (Sedimentation) โดยการใช้สารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน โดยอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาด 1 - 500 มิลลิไมครอน ที่เป็นส่วนหนึ่งของความขุ่นที่ปรากฏอยู่ในน้ำ แรงที่กระทำบนอนุภาคคอลลอยด์มีทั้งแรงดึงดูดและแรงผลัก แรงดึงดูดเกิดจากแรง Van der Waals ซึ่งจะดึงดูดให้อนุภาคที่อยู่ใกล้กันให้เข้าใกล้ชิดกันยิ่งขึ้น แรงผลักเกิดจากประจุบวกที่อยู่ที่มีรอบนอกของอนุภาคซึ่งเป็นชั้นของประจุบวกล้อมรอบอยู่ จึงพยายามที่จะแยกตัวออกจากกัน ในสภาพปกติแรงผลักระหว่างอนุภาคจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดมาก จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์กระจายตัวอยู่ในน้ำดังภาพที่ 2.1

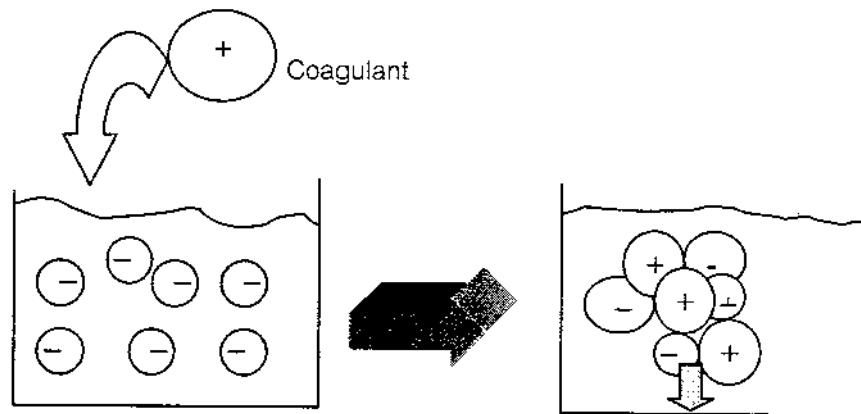


ภาพที่ 2.1 แสดงแรงที่กระทำระหว่างคอลลอยด์

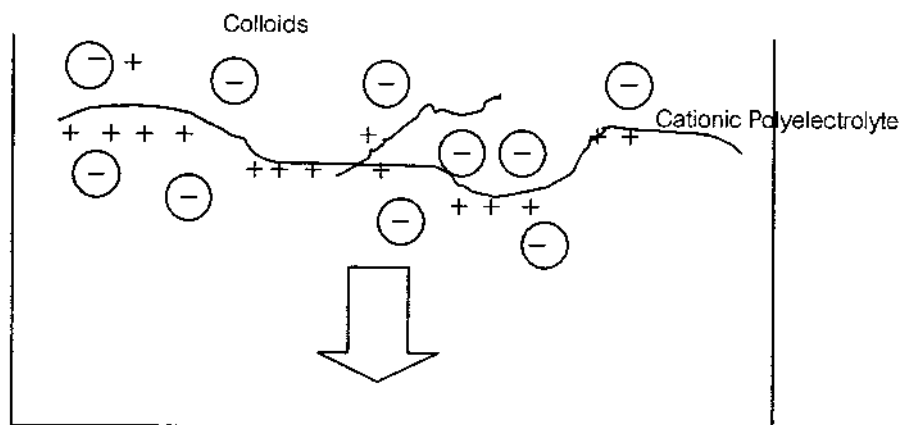
การเติมสาร Coagulant ที่มีประจุบวก เป็นการลดแรงผลักที่เกิดระหว่างอนุภาค แรงผลักสามารถวัดออกมาในรูปของศักย์ไฟฟ้า ที่เรียกว่า ศักย์ซีตา (Zeta Potential) โดยถ้าสามารถลดศักย์ซีตาในสารละลายให้ลดลงเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ จะทำให้อนุภาคต่าง ๆ จับตัวกันได้ดีขึ้น ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงการลดแรงผลักระหว่างอนุภาคที่ลดลงเมื่อเติม Coagulant



ภาพที่ 2.3 แสดงการช่วยจับอนุภาคของ Coagulant



ภาพที่ 2.4 แสดงการช่วยจับอนุภาคของ Polyelectrolyte Coagulant

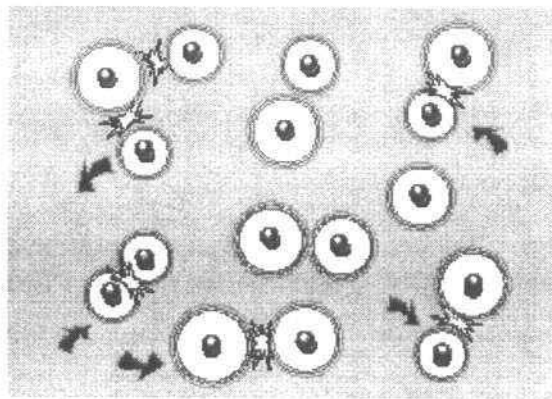
ตารางที่ 2.4 ขนาดอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

ชนิดของ อนุภาค	ขนาด (Micron = μm)							
	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3
Colloidal Clay								
Colour								
Virus								
Emulsion								
Bacteria								
Algae								
Floc								

แหล่งที่มา: ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540: 71

2.3.2 ลักษณะอนุภาคในน้ำเสีย

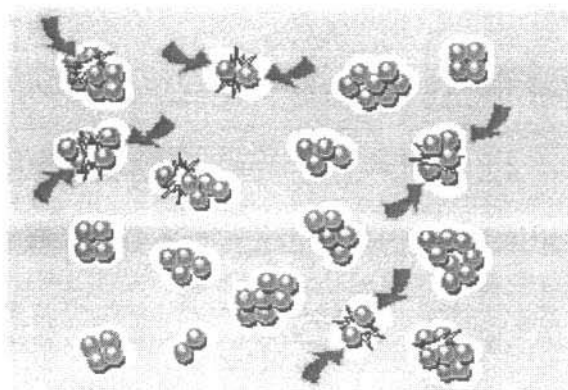
ประจุที่มีในอนุภาคเป็นสิ่งที่ด้านการเกิดการรวมตะกอน อันเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างคอลลอยด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นประจุ โดยปกติมีประจุเป็นลบ จึงทำให้เกิดการผลักระหว่างกัน ยากแก่การรวมตัวและตกตะกอน จึงกระจายแขวนลอยอยู่ในน้ำ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค

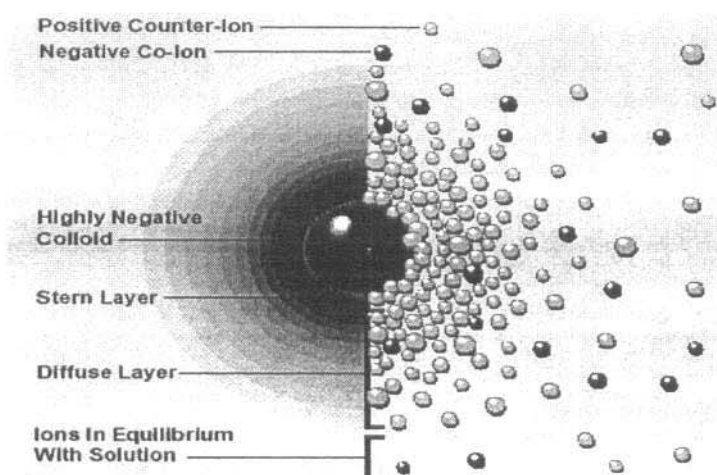
แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004

ในขณะเดียวกันหากลดความเป็นประจุลง คอลลอยด์จะสามารถรวมตัวกันได้ โดยเริ่มจากการก่อตัวเป็นกลุ่มเล็กแล้วเป็นกลุ่มที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งจะตกตะกอนได้เร็วและกรองออกได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 2.6 แสดงการรวมกลุ่มกันระหว่างอนุภาค

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004



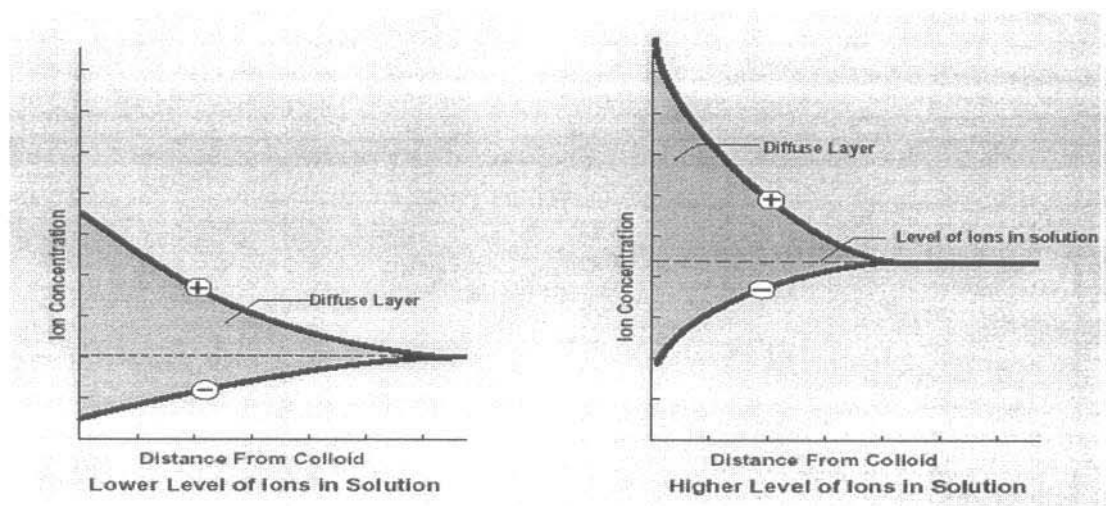
ภาพที่ 2.7 แสดงการจัดเรียงตัวของประจุในคอลลอยด์

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004

ประจุที่เกาะติดผิวอนุภาคมีแรงที่กระทำระหว่างกันสองประเภท คือ แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Repulsion) และแรงดึงดูด (Van der Waals Attraction) อนุภาคคอลลอยด์มี 2 ชั้นคือ Stern Layer และ Diffuse Layer ชั้น Stern Layer เป็นชั้นที่ยึดติดแน่น ส่วนชั้น Diffuse Layer จะปกคลุมชั้น Stern ไว้และช่วยป้องกันการกระแทก เนื่องจากการมีการปั่นป่วนของอุณหภูมิจำกัดค่า Potential ที่ผิวของ Shear Plane ในน้ำเสียสามารถวัดออกมาเป็นค่าศักย์ซีต้า ซึ่งเป็น Potential ที่ล้อมรอบชั้นติดแน่น

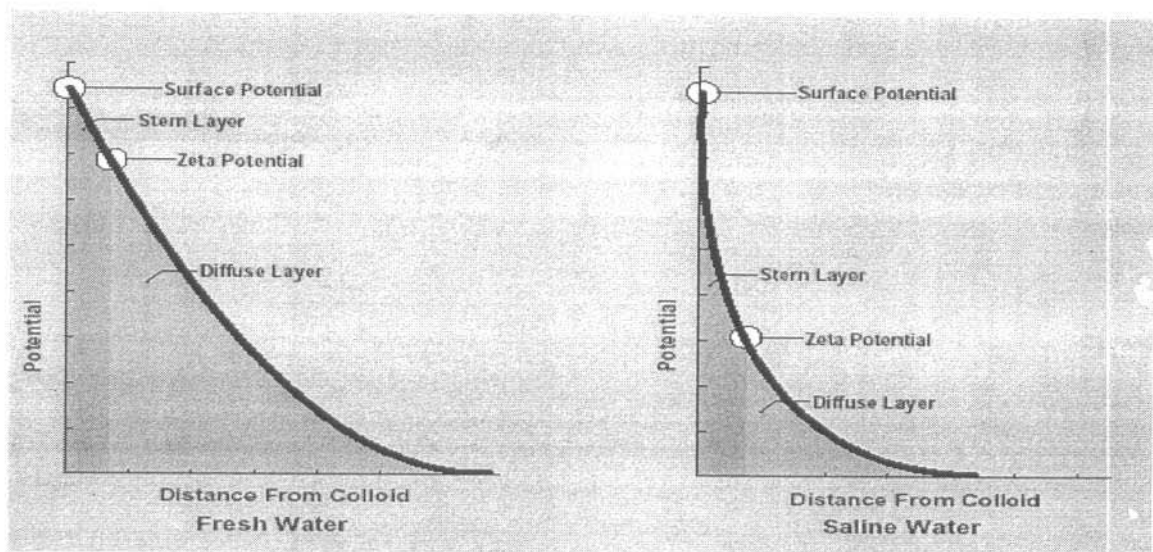
1. ค่า Potential ที่ผิวของ Stern Layer จะมีค่ามากกว่าที่ผิวของ Shear Plane เรียกว่า ค่า Stern Potential

2. ค่า Potential ที่ผิวของอนุภาค จะมีค่ามากกว่าที่ผิวของ Stern Plane เรียกว่า ค่า Nernst Potential



ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่างอนุภาคกับความหนาแน่นของไอออนใน Diffuse Layer

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004

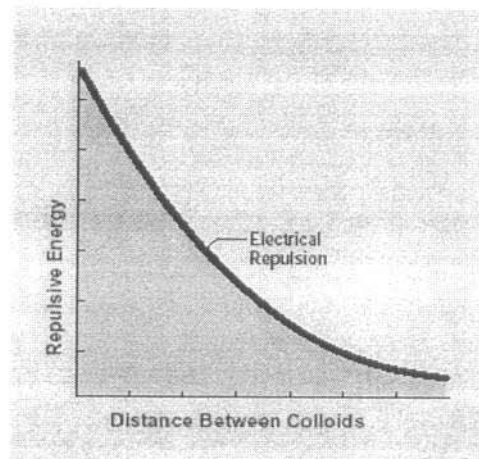


ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่างอนุภาคกับศักย์ไฟฟ้าใน Diffuse Layer

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004

การเกิดกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ อธิบายโดยใช้กระบวนการทำลายความเสถียรของอนุภาค ในกระบวนการรวมกลุ่มตะกอน สารเคมีที่เติมลงไปในน้ำจะเป็นตัวทำลายความเสถียรของอนุภาค ซึ่งประกอบด้วยกลไก 5 ขั้นตอน คือ 1) การลดขนาดของชั้น Diffuse Layer ทำให้แต่ละอนุภาคมาอยู่ใกล้กันได้มากขึ้น สามารถอธิบายกลไกนี้โดยใช้ทฤษฎี DLVO (ชื่อของ Derjaguin Landau Verwey และ Overbeek) เป็นทฤษฎีเก่าแก่ที่ใช้ในการอธิบายอันตรกิริยาของอนุภาค โดยมองที่ความสมดุลระหว่างแรงสองแรงที่กระทำบนคอลลอยด์ นั่นคือ แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Repulsion) และแรงดึงดูด (Van der Waals Attraction) ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมคอลลอยด์บางชนิดจึงรวมตัวกันได้และบางชนิดไม่ได้

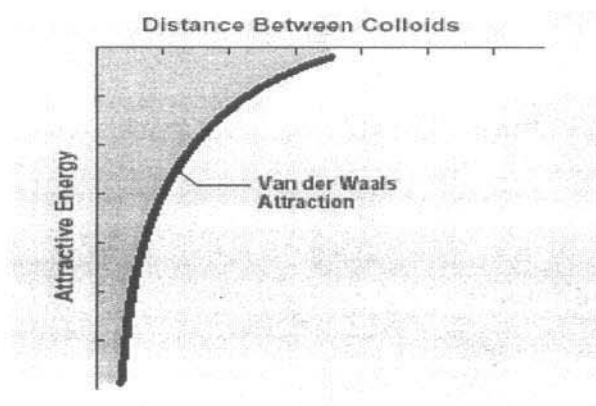
แรงผลัก การผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Repulsion) จะเกิดเมื่อสองอนุภาคมาอยู่ใกล้กันทำให้ Double Layer ของทั้งสองอนุภาคมาซ้อนทับกัน เกิดพลังงาน (ศักย์ไฟฟ้า) ขึ้น พลังงานที่เกิดจากการผลักจะมากขึ้นเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้น



ภาพที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของอนุภาคกับแรงผลัก

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004

แรงดึงดูด (Van der Waals Attraction) เกิดจากผลของแรงระหว่างแต่ละโมเลกุลในคอลลอยด์ เป็นผลรวมของแรงระหว่างคอลลอยด์ทั้งหมด โดยโมเลกุลของคอลลอยด์มีแรงดึงดูดกับแต่ละโมเลกุลในคอลลอยด์ที่สอง พลังงานดึงดูดจะน้อยลงเมื่อโมเลกุลอยู่ไกลกันมากขึ้น



ภาพที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของอนุภาคกับแรงดึงดูด

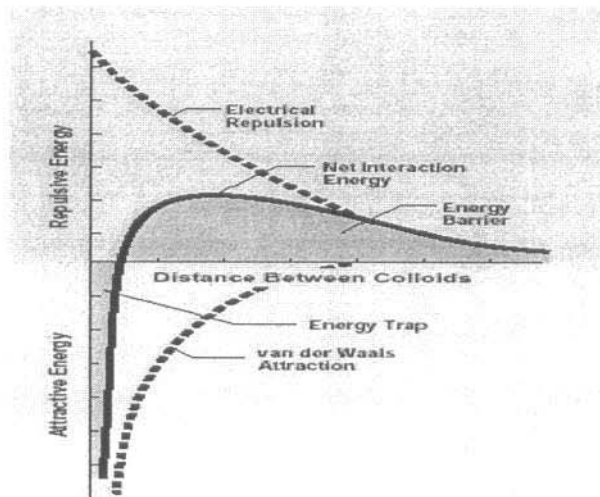
แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory, 2004

2) การดูดซับของอิมออนวบนอกและความเป็นกลางของประจุ เมื่ออนุภาคเข้ามาอยู่ใกล้กัน และแรงผลักลดลง 3) การเกิดสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค 4) การเกิดร่างแหคลุมอนุภาคและตกตะกอน และ 5) เกิดการรวมกลุ่มตะกอนร่วมระหว่างอนุภาค โดยจะเกิดร่วมกับกลไกที่ 4

การทำให้ประจุรวมตัว เกาะกลุ่มกันต้องทำให้ประจุบนอนุภาคมีน้อยลงซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

- 1) เพิ่มอิมออนที่ทำปฏิกิริยาบนอนุภาคเพื่อลดประจุบนผิว
- 2) เพิ่มอิเล็กโตรไลต์ เพื่อลดความหนาของ Diffuse Layer
- 3) เพิ่มสารโพลีอิเล็กโตรไลต์ เพื่อนำอนุภาคต่าง ๆ มาดูดซับหรือเกาะโยงกัน
- 4) เติมสารเคมีที่ทำให้ได้อิมออนชนิด Hydrolyzed Metal Ion

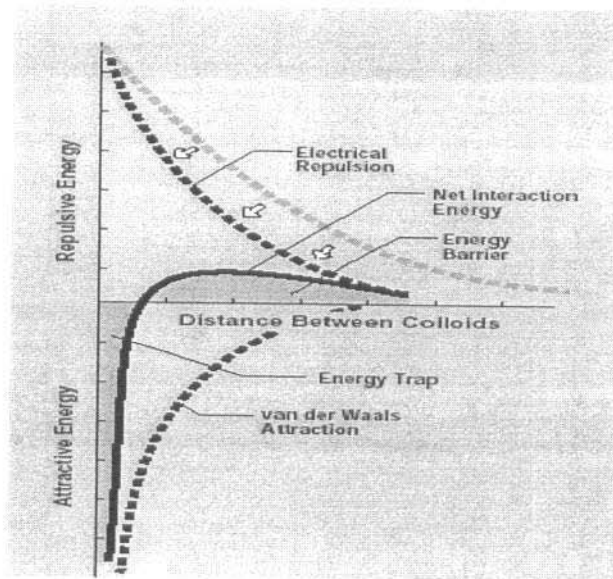
ลักษณะของแรงดึงดูดและแรงผลัที่เกิดขึ้นจากการรวมกลุ่มตะกอนของอนุภาค แสดงดังภาพที่ 2.12 ถึง ภาพที่ 2.14



Interaction
The net interaction curve is formed by subtracting the attraction curve from the repulsion curve.

ภาพที่ 2.12 แสดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อประจุเกิดการรวมกลุ่ม

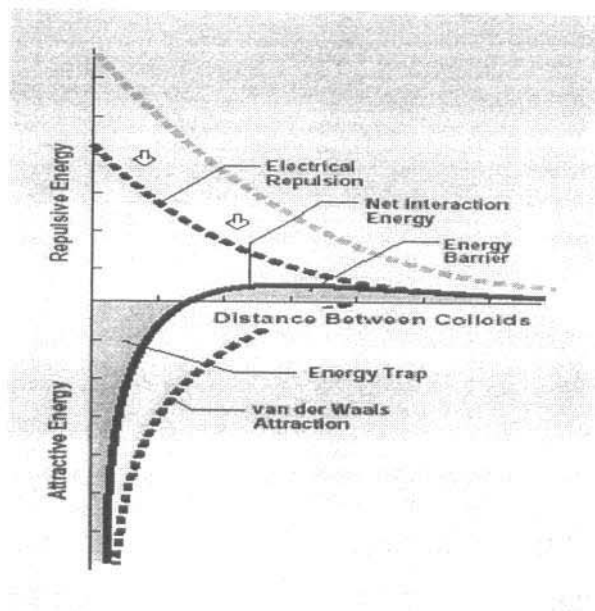
แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory,



ภาพที่ 2.13 แสดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำการลดแรงผลัก

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory,

2004



ภาพที่ 2.14 แสดงอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำการลดประจุ

แหล่งที่มา: National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory,

2004

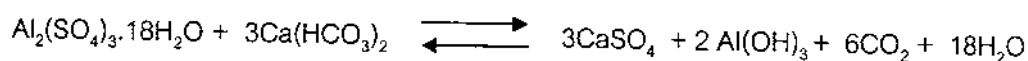
2.3.3 คุณสมบัติของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant)

สารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.3.3.1 สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนอนินทรีย์ (Inorganic Coagulant) เป็นกลุ่มที่มีการใช้มาเป็นเวลานาน และราคาถูก เช่น สารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ และปูนขาว เป็นต้น รายละเอียดและคุณสมบัติในการบำบัดน้ำของสารเคมีดังกล่าวมีดังนี้ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540: 80)

1) สารส้มหรืออะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)

สารส้มเป็นสารเคมีที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการรวมกลุ่มตะกอน มีสูตรทางเคมีเป็น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ในทางปฏิบัติอาจใช้สารส้มที่มี $14\text{H}_2\text{O}$ หรือ $16\text{H}_2\text{O}$ ให้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 600 g/mol ก็เพียงพอในการใช้งาน เนื่องจากน้ำเสียทั่วไปจะมีสาร Calcium Bicarbonate ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) และสาร Magnesium Bicarbonate ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิด Alkalinity เมื่อเติมสารส้มจะเกิดปฏิกิริยากับด่างที่อยู่ในน้ำดังสมการ



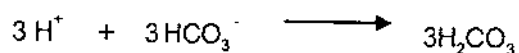
ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาจะได้สารประกอบเชิงซ้อนของ Aluminium Hydroxo หรือฟล็อกขนาดเล็กเป็นคอลลอยด์ที่หนาแน่น ฟล็อกขนาดเล็กเหล่านี้มีประจุบวกจึงสามารถจับกับคอลลอยด์ที่มีประจุลบแล้วตกตะกอนพาของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียตกตะกอนลงด้วย ช่วงความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชันของสารส้ม อยู่ในช่วง 5 – 7

2) เพอร์ริกคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

เมื่อเติมเพอร์ริกคลอไรด์ลงในน้ำเสียจะได้ตะกอนของเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Ferric Hydroxide, $\text{Fe}(\text{OH})_3$) และกรดคาร์บอนิก (Carbonic) ทำให้น้ำมี pH ลดลง ดังสมการ



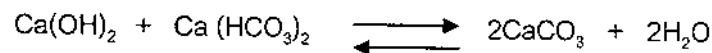
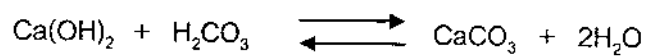
ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับ Bicarbonate ในน้ำคือ



น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์มีสภาพเป็นกรดจึงต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนปล่อยออกจากระบบ

3) ปูนขาว (Lime - Ca(OH)_2)

ในการใช้ปูนขาวเป็นสารทำให้ตกตะกอนผลึก เพื่อให้เกิดสาร Calcium Carbonate (CaCO_3) ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวและสามารถตกตะกอนได้ทันที โดยปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอนิก และพหุไบคาร์บอนิก ดังสมการ



ถ้าใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวต้องใช้ในปริมาณมาก แต่ถ้านำเหล็กซัลเฟตมาช่วยเติมกับปูนขาวจะสามารถลดปริมาณการใช้ปูนขาวลงได้

2.3.3.2 สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนอินทรีย์ (Organic Coagulant) เป็นกลุ่มที่ให้กากตะกอนที่ย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่ายกว่ากลุ่มแรก ตัวอย่างของสารเคมีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนกลุ่มนี้ ได้แก่ ไคโตซาน และ โพลีอิเล็กโตรไลต์ เป็นต้น

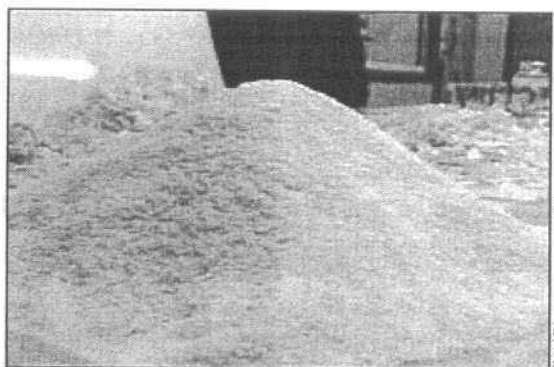
1) ไคโตซาน (Chitosan)

โครงสร้างของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติมีสารที่ทำหน้าที่ป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งส่วนใหญ่เป็นโพลิเมอร์ (Polymer) ธรรมชาติ ไคตินและไคโตซานเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ ไคตินและไคโตซานเป็นองค์ประกอบของเซลล์ในลักษณะเส้นใย (Fiber) ที่ทำหน้าที่ยึดสารต่าง ๆ ให้เป็นแผ่นและเป็นเส้นที่แข็งแรงสามารถห่อหุ้มอวัยวะของสิ่งมีชีวิต เช่น ปีกของแมลง เปลือกหุ้มอวัยวะของสัตว์ที่มีปล้อง (Arthropoda) ซึ่งได้แก่ กุ้ง ปู แมลงทุกชนิดตลอดจนพวกหอยที่มีเปลือกแข็งในตระกูล Mollusca ซึ่งรวมถึงหอยมุก (Gastropoda) และพวกหมึก (Cephalopoda) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าไคตินเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติ ที่พบมากเป็นอันดับสองของโลก รองจากเซลลูโลส โดยเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พวกรา (Fungi) ยีสต์ (Yeast) และจุลินทรีย์อีกหลายชนิด

มีการค้นพบและศึกษาสารไคตินครั้งแรกประมาณศตวรรษที่ 19 และได้รับการตั้งชื่อโดย Odier ในปี ค.ศ. 1823 (Hirano, 1989 อ้างใน สุวลี จันทรกระจ่าง, 2542) แต่ไคตินไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายเหมือนเซลลูโลส การวิจัยเกี่ยวกับไคตินไคโตซานไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายนัก เริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วง ค.ศ. 1970 และเพิ่มความสนใจเป็นเท่าทวีคูณในปี ค.ศ. 1996 มีจำนวนงานวิจัยที่เผยแพร่ ถึง ร้อยละ 0.1 ของบทความทางวิชาการทั้งหมดใน Chemical Abstract โดยเฉพาะนักวิทยาศาสตร์ในกลุ่มประเทศยุโรป ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา ได้มีการศึกษาวิจัยรวบรวมข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารสำคัญทั่วโลก กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ในยุโรปได้รวมตัวก่อตั้งสมาคมชื่อ European Chitin Society (EUCHIS) ส่วนในสหรัฐอเมริกาได้มีสมาคมชื่อ Society for Chitin and Chitosan ซึ่งแต่ละสมาคมได้มีการจัดประชุมวิชาการทั้งระดับประเทศและระดับนานาชาติ แล้วรวบรวมผลงานและข้อมูลต่าง ๆ จัดพิมพ์เป็นหนังสือวิชาการออกเผยแพร่ทั่วโลก จากผลงานวิจัยที่ยาวนานและต่อเนื่องของนักวิทยาศาสตร์นานาชาติ จึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ออกมาสู่ตลาดมากมายหลายชนิด เช่น ยาอาหารเสริม เครื่องสำอาง เคมีภัณฑ์เพื่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

(1) ลักษณะทางเคมีและโครงสร้างของไคตินและไคโตซาน

ไคตินและไคโตซาน เป็นสารโคโพลิเมอร์ (Copolymer) ธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม (Heteropolysaccharide) ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส ที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ภายในโมเลกุล ทำให้มีสมบัติเฉพาะตัวในการเกิดปฏิกิริยากับสารหลายชนิด สารไคตินละลายยากจึงมักใช้ในรูปแบบของแข็งโดยตรง ส่วนสารไคโตซานเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) ของสารไคตินด้วยด่าง (Alkali Solution) ไคโตซานละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ (Organic Acid) สารละลายไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นโพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) และมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซับทั้งไอออนบวกและไอออนลบได้ จึงถูกนำมาใช้ในการดูดซับไอออนต่าง ๆ ในสารละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน (Coagulation and Flocculation) และการนำสารกลับมาใช้ใหม่ (Waste Recovery)



ภาพที่ 2.15 แสดงลักษณะของไคตินผง

แหล่งที่มา: Thailabonline สารข่าวสารเพื่อสุขภาพ, 2547

ไคติน จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นเส้นใย คล้ายคลึงกับเซลลูโลสจากพืช ไคตินพบได้ในเปลือกของสัตว์ เช่น กุ้ง ปู แคนหมีก แมลง ตัวไหม หอยมุก และผนังเซลล์ของพวกรา ยีสต์ และจุลินทรีย์อีกหลายชนิด ไคตินในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรง 3 ลักษณะ ได้แก่ แอลฟาไคติน เกิดจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู เบต้าไคติน เกิดในแกนหรือกระดองหมีก และแกมมาไคติน

ไคโตซาน คือ สารโพลีเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน ซึ่งเป็นโครงสร้างของเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนปลาหมีก และผนังเซลล์ของเห็ด ราบางชนิด ไคติน - ไคโตซาน จัดเป็นโคโพลิเมอร์ที่อยู่ร่วมกันในธรรมชาติ ไคติน - ไคโตซาน มีสมบัติพื้นฐานที่เข้ากับธรรมชาติได้ดี ย่อยสลายง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไคติน - ไคโตซาน มีหมู่อะมิโนที่แสดงสมบัติพิเศษหลายประการที่ต่างจากเซลลูโลส เช่น การละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง การจับกับอ็อกโซน ของโลหะได้ดี และการมีฤทธิ์ทางชีวภาพ ปัจจุบันมีการนำสารไคติน - ไคโตซาน มาประยุกต์ใช้จริงทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม ทางการแพทย์ และเภสัชกรรม เช่น สารตกตะกอนในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมเส้นใยสิ่งทอ เพื่อป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อคุณภาพในการลดไขมันและคอเลสเตอรอล สารเร่งการเจริญเติบโตในพืชและสัตว์เลื้อยต่าง ๆ เช่น สุนัข กุ้ง เป็ด ไก่ สารเคลือบผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สารถนอมอาหาร และแผ่นฟิล์มปิดแผล ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น

(2) กระบวนการผลิตไคติน — ไคโตซาน

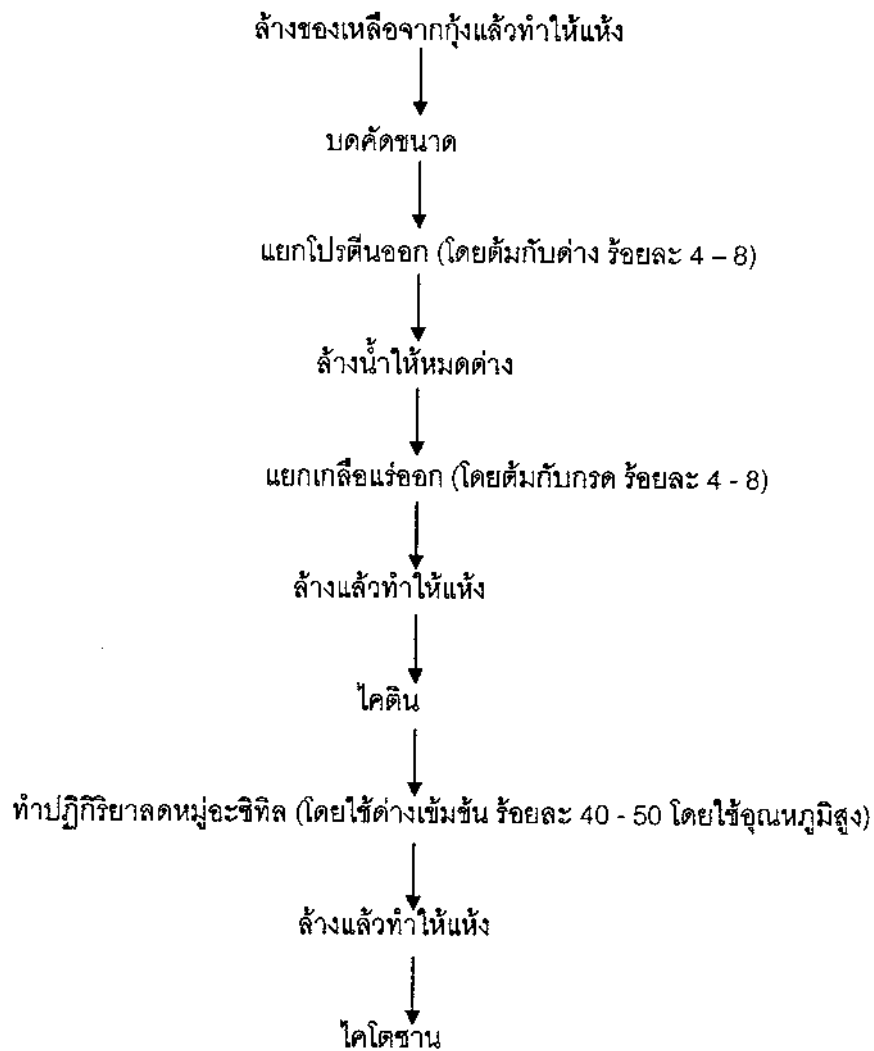
- กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination) โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัด

ออกไปจากวัตถุดิบ พร้อมกันนี้บางส่วนของไขมันและรงควัตถุ (Pigment) บางชนิดมีโอกาสถูกขจัดออกไปด้วย อย่างไรก็ตามการพิจารณาใช้กระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้

- กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (Deminerization) โดยการนำวัตถุดิบหรือวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้ว มาทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งส่วนมากใช้กรดเกลือ (HCl) ทำเกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (Calcium Carbonate, CaCO_3) ซึ่งจะถูกกำจัดออกไปโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO_2) พร้อมกันนี้บางส่วนของรงควัตถุและโปรตีนที่ละลายได้ในกรดย่อมถูกกำจัดออกไปด้วยในขั้นตอนนี้เช่นกัน วัสดุที่ได้หลังจากกระบวนการกำจัดเกลือแร่ก็คือ โคติน

- กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของโคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมิโน ($-\text{NH}_2$) บนโมเลกุลของโคติน และหมู่เอมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย ซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติเป็นประจุบวก ส่วนใหญ่เมื่อปริมาณของหมู่อะซีทิลถูกกำจัดไปมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป สารไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดไพรรพิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) กรดแลคติก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) และกรดบิวทิริก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) เป็นต้น การลดหมู่อะซีทิลทำได้โดยใช้ด่างที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ ร้อยละ 40 ขึ้นไป ดังนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารไคโตซานก็คือ ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (Degree of Deacetylation: %DD) ซึ่งบอกถึงปริมาณของการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล คิดเป็นหน่วยร้อยละ (Percentage of Degree of Deacetylation: %DD) กล่าวคือ ถ้า %DD เกินกว่า ร้อยละ 50 ขึ้นไปแล้ว สามารถใช้โพลิเมอร์นั้นทำให้เกิดอนุพันธ์ที่ละลายในกรดอินทรีย์ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าการลดลงของหมู่อะซีทิลในโคติน ผลที่ได้คือ การเพิ่มขึ้นของหมู่เอมิโน ซึ่งเป็นการเพิ่มสมบัติการเป็นสารที่มีประจุเป็นบวก (Polycationic Activity) บนโพลิเมอร์ทำให้เกิดสภาพของการเป็นไคโตซานเพิ่มขึ้น (Chitosan Generation)

ในอุตสาหกรรมปัจจุบันการผลิตสารโคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งทำได้โดยการใช้สารเคมีได้แก่ ด่าง และกรด โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้



ปัจจุบันกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทย ได้แก่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และภาคีชาวเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ได้ร่วมกันพัฒนาทางเลือกใหม่ โดยใช้การทำงานของจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) เพื่อแยกเอาโปรตีนออกแทนการต้มกับด่างดังที่เคยใช้ และโปรตีนที่แยกโดยจุลินทรีย์นี้ สามารถนำมาทำให้แห้งเป็น Shrimp Protein Concentrate (SPC) แล้วใช้ต่อเป็นโปรตีนเสริมในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป การปรับปรุงโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพนี้มีประโยชน์ คือ

- ไม่ต้องใช้ด่างในการแยกโปรตีนและไม่ต้องใช้ความร้อน

- โปรตีนที่แยกได้สามารถนำกลับคืนมาใช้ได้ในรูป SPC เพื่อเติมลงเป็นโปรตีนเสริมในอาหารบางชนิด

- ได้ผลพลอยได้ที่สำคัญ คือ รงควัตถุสีส้ม (Astaxanthin) ซึ่งใช้ผสมในอาหารสัตว์หลายชนิด

- ลดการใช้กรดในการแยกเกลือแร่ออกจากมากกว่า ร้อยละ 30

(3) คุณสมบัติเฉพาะที่สำคัญของไคติน - ไคโตซาน

- เป็นวัสดุทางชีวภาพ (Biomaterial) ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) และเป็นสารที่มีส่วนร่วมในกิจกรรมทางชีวภาพ (Bioactivity) อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable) ดังนั้น จึงปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

- ไคโตซานเป็นสารโพลีเมอร์ประจุบวก (Dominantly Positive Charge) สารละลายไคโตซานมีความเหนียว (Viscous) มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน (Non - Newtonian) และมีความใส (Clear Solution)

- ไคตินไม่สามารถละลายน้ำและสารอินทรีย์ทั่วไป ส่วนไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิดแล้วเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิมได้

- สามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เป็นเจล เม็ด เส้นใย Colloid และสารเคลือบ เป็นต้น มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อที่จะเปลี่ยนให้เป็นสารอื่น ๆ (Derivatives) ได้มากมาย

ด้วยลักษณะจำเพาะที่มีเอกลักษณ์โดดเด่นนี้ ทำให้มีการนำไคตินไคโตซานมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์มากมาย และได้ผ่านการขึ้นทะเบียนเป็น Food Processing Aids แล้วโดยคณะกรรมการอาหาร (Codex Committee on Food Additives and Contaminants) เมื่อปี 1990 นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับให้ใช้ผสมอาหารและยาได้ในประเทศญี่ปุ่นมานานแล้ว

(4) การใช้ประโยชน์จากสารธรรมชาติไคตินและไคโตซาน

- ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

ไคโตซานสามารถนำไปเป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผม ครีมปรับสภาพผม ยาสีฟัน โลชั่นบำรุงผิว และแป้งแต่งหน้าได้ เนื่องจากสารละลายของไคโตซานนั้นมีความหนืด และมีคุณสมบัติในการเคลือบ รักษาความสะอาด นอกจากนั้นยังเก็บความ

ชุ่มชื้นไว้ได้ดี จึงทำให้เส้นผมนุ่ม จึงมีผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของไคโตซานออกสู่ตลาดมากมาย

- ผลิตภัณฑ์ป้องกันเชื้อจุลินทรีย์

จากการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ E.coli จะถูกยับยั้งเมื่ออยู่ในสารอาหารที่ประกอบด้วยไคโตซานเข้มข้นมากกว่า ร้อยละ 0.2 และการเจริญเติบโตของศัตรูพืชหลายชนิดก็ถูกยับยั้งเช่นกัน จึงมีการนำไคโตซานไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภททั้งในด้านเครื่องสำอาง และด้านการป้องกันกำจัดศัตรูพืช

- ผลิตภัณฑ์อาหารควบคุมน้ำหนัก

จากการวิจัยในสัตว์ทดลองหลายชนิด พบว่า การบริโภคไคโตซานสามารถลดปริมาณคลอเลสเตอรอลในเลือดได้ ในประเทศญี่ปุ่นมีการผลิตคุกกี้และขนมที่มีสำเร็จรูปเพื่อควบคุมน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของไคโตซานออกมาจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย

- ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ขึ้นรูปเป็นเม็ด

ไคโตซานที่ขึ้นรูปเป็นเม็ดสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับถึงหมักได้ เช่น เป็นตัวหุ้มและตัวยึดเกาะสำหรับเอ็นไซม์และโปรตีน (Immobilize) และสามารถใช้เป็นตัวกลางในการจับโลหะโดยปฏิกิริยาการเกิดคีเลต

- ผลิตภัณฑ์เพื่อใช้สร้างและตกตะกอน

ไคโตซานสามารถใช้เป็นตัวสร้างตะกอน สำหรับกระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน (Coagulation and Flocculation) เพื่อการบำบัดน้ำเสีย โดยไคโตซานที่มีประจุบวกจะจับกับสารโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ สามารถตกตะกอนสารที่มีประจุลบได้

- ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

ไคโตซานได้รับการพัฒนาเพื่อใช้เป็นแผ่นปิดแผลไฟไหม้ เป็นส่วนประกอบของแผ่นผิวหนังเทียม และคอลลาเจนเพื่อใช้ในทางการแพทย์

ในทางการแพทย์และเภสัชกรรม ได้มีการศึกษาแล้วว่าเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วนั้นนอกจากที่จะไม่ดูดซึมเข้าไปในร่างกายและช่วยในการเคลื่อนตัวของอาหารในลำไส้ดังเช่นอาหารจำพวกไฟเบอร์โดยทั่วไปแล้ว ยังจะมีความสามารถในการจับคลอเลสเตอรอลและไขมันในอาหารที่รับประทานเข้าไปก่อนที่จะเกิดการดูดซึมสารเหล่านั้น ในปัจจุบันได้มีการนำไคโตซานบริสุทธิ์มาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพในการประกอบการลดความอ้วน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำผิวหนังเทียมรักษาแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก ใช้ปลดปล่อยยา รักษาเหงือกและฟัน

นอกจากนี้สารไคติน/ไคโตซานยังสามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์และอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างหลากหลาย เช่น ใช้หุ้มเมล็ดพันธุ์พืชเพื่อยืดอายุการเก็บและป้องกันราและจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมการเกษตร ใช้เป็นสารต่อต้านราและจุลินทรีย์ ใช้เป็นสารกันบูด เคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ ในอุตสาหกรรมอาหาร ให้เติมแต่งและเป็นสารพื้นฐานของแป้งทาน้ำ แชมพู ครีม และสบู่ โภชนาเคลือบป้องกันผิวและผม เนื่องจากไคติน/ไคโตซานสามารถอุ้มน้ำและเป็นตาข่ายคลุมผิวหนัง ใช้ผสมเส้นใย เช่น สิ่งทอและกระดาษ เพื่อป้องกันและต้านทานเชื้อโรค และยังทำให้เยื่อเหนียวและแข็งแรงเพิ่มขึ้น เป็นต้น

2) โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte)

การใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ในการตกตะกอนน้ำเสียจะช่วยให้การตกตะกอนดีขึ้น เนื่องจากโพลีอิเล็กโทรไลต์มีลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่ยาว (Chain) และมีประจุไฟฟ้าจึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันเป็นฟล็อกเร็วขึ้น และช่วยให้ฟล็อกเล็ก ๆ จับตัวกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ขึ้น กากตะกอน (Sludge) ที่เกิดขึ้นมีน้อยและเกาะตัวแน่น ลดการปรับ pH จึงสามารถใช้แทน Inorganic Coagulant เช่น สารส้มได้ ในการเลือกใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากโพลีอิเล็กโทรไลต์มีหลายชนิด จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการนำมาใช้งาน (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540: 89) ซึ่งต้องคำนึงถึง

(1) ชนิดของโพลีอิเล็กโทรไลต์

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์แบ่งเป็นสามชนิดได้แก่ Anionic, Cationic และ Nonionic ซึ่งขึ้นกับประจุที่มีอยู่ในสารละลาย

- Non - ionic Polyelectrolyte เป็นโพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ มีความหนาแน่นประจุต่ำ สามารถใช้ร่วมกับสารส้มในการบำบัดน้ำ
- Anionic Polyelectrolyte เป็นโพลิเมอร์ที่มีประจุลบ ซึ่งบางครั้งโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุลบที่มีโครงสร้างโซ่ยาวสามารถตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ขนาดใหญ่ได้ แต่อนุภาคขนาดเล็กยังคงอยู่ สามารถใช้ร่วมกับสารส้มในการบำบัดน้ำ ช่วยให้ฟล็อกจับตัวได้เร็วและมีขนาดใหญ่ขึ้น
- Cationic Polyelectrolyte เป็นโพลิเมอร์ที่มีประจุบวก ซึ่งมีความหนาแน่นประจุ และน้ำหนักโมเลกุลหลากหลาย

(2) น้ำหนักโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์สามารถแบ่งได้เป็น

- 10,000,000 or more Very High
- 1,000,000 to 10,000,000 High

- 200,000 to 1,000,000 Medium
- 100,000 to 200,000 Low
- 50,000 to 100,000 Very Low
- Less than 50,000 Very , Very Low

(3) โครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุล

โพลิเมอร์สังเคราะห์โดยทั่วไปมาจากโพลีอัลคิลเอไมด์ (Polyacrylamide) ซึ่งโพลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมโยงระหว่างอนุภาค และมีน้ำหนักโมเลกุลจำเพาะ น้ำหนักโมเลกุลเป็นค่าที่บอกถึงความยาวของโพลิเมอร์ สำหรับ Polyacrylamide จะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าโพลิเมอร์สังเคราะห์อื่น ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติและสภาวะในการใช้ที่จำเพาะเช่น Polyethylene - imines Polyamides – amines, Polyamines, Polyethylene - oxide และ Sulfonated Compounds เป็นต้น

(4) ความหนาแน่นประจุ

ความหนาแน่นประจุสัมพัทธ์ คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างโมโนเมอร์ที่มีประจุกับโมโนเมอร์ที่ไม่มีประจุ ถ้าประจุสูงขึ้นความหนาแน่นประจุก็จะสูงขึ้นด้วย

โพลีอิเล็กโตรไลต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ซึ่งเป็น Polyacrylamide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก สามารถละลายน้ำได้ดีและให้สารละลายที่มีความหนืดสูง ตัวอย่างโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ได้แก่ Optimer 9916, Zetag 7653 และ Zetag 7692 เป็นต้น

2.3.4 การทดสอบการตกตะกอน

ในการทดสอบการตกตะกอนโดยทั่วไปใช้วิธี Jar Test ซึ่งทำได้มีขั้นตอน คือ การกวนเร็ว การกวนช้า และการทิ้งให้ตกตะกอน โดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการทดสอบ มาเติมสารเคมีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในปริมาณชนิดแตกต่างกัน แล้วนำไปผ่านขั้นตอนการกวนเร็ว กวนช้า ทิ้งให้ตกตะกอน ตามระยะเวลาที่กำหนด และนำน้ำส่วนที่ใสออกมาตรวจสอบคุณภาพ

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอน

2.3.5.1 สภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของน้ำเสีย หากมีความเป็นด่างสูง เมื่อทำปฏิกิริยากับสารรวมกลุ่มตะกอนกลุ่มโลหะจะเพิ่มการรวมกลุ่มตะกอนกับอนุภาคได้ดียิ่งขึ้น

2.3.5.2 ความขุ่น (Turbidity) ของน้ำเสีย เป็นค่าที่อ้างอิงถึงปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ที่มีในน้ำเสียได้ จากปริมาณความขุ่นจะทำให้ทราบว่าต้องใช้สารรวมกลุ่มตะกอนมากน้อยเพียงใดในการขจัดตกตะกอน

2.3.5.3 การผสม ทั้งระยะเวลาและความเร็วในการผสม มีผลต่อการตกตะกอนของน้ำเสีย

2.3.5.4 ศักย์ซีต้า (Zeta Potential) เป็นค่าที่ได้จากการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งแสดงถึงค่าที่อนุภาคจะเกิดการตกตะกอนได้ เป็นจุดที่ความเสถียรของอนุภาคถูกทำลาย

2.3.5.5 ปริมาณ Coagulant ที่เติม (Coagulant Dosage) น้ำเสียที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันจะใช้ปริมาณสารเคมีในการตกตะกอนแตกต่างกันเช่นกัน

ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ประจุบวก/ลบ ในน้ำเสีย สี และ Total Organic Carbon (TOC) ในน้ำเสีย ซึ่งในการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มาจากแต่ละที่นั้นอิทธิพลที่มีผลกระทบต่อการตกตะกอนจะมีความสำคัญแตกต่างกันขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียนั้น ๆ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน ได้มีผู้ดำเนินการศึกษากระบวนการนี้สำหรับการบำบัดน้ำทิ้งประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์และ น้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งได้ผลดังนี้

นภา ศิวรังสรรค์ (บทคัดย่อ: 2542) ได้วิจัยเรื่อง การกำจัดสีน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยโพลิเมอร์ โดยการใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 2 ชนิด คือ Lamfloc 1525 และ Zentrifloc 95 โดยใช้สารส้มเป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่าที่ pH และปริมาณที่เหมาะสม Lamfloc 1525 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งได้ดีกว่าสารส้ม โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงมากกว่าร้อยละ 90

Nandy, T. (บทคัดย่อ: 2002) และคณะ ได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีพิมพ์โดยใช้กระบวนการ Coagulation ซึ่งใช้ Cationic Polyelectrolyte คือ Polyaluminium Chloride (PAC) ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงในการบำบัด โดยมีประสิทธิภาพในการขจัดสี (Colour) ของแข็งแขวนลอย (SS) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) เป็นร้อยละ 96, 97, 63 และ 58 ตามลำดับ

ธงชัย พรพนสวัสด์ (บทคัดย่อ: 2528) ได้ทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียบริษัทผาแดง อินดัสตรี โดยการตกตะกอนทั้งในรูป Coagulation และ Precipitation โดยการใช้โซดาไฟและปูนขาว ซึ่งพบว่า การใช้ปูนขาวเป็นสารช่วยในการตกตะกอนเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกเมกานีส และแคลเซียม สามารถเกิดตะกอนที่เกาะตัวแน่นกว่าการใช้โซดาไฟ

ธงชัย พรพนสวัสด์ (บทคัดย่อ: 2527) ศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดสีของน้ำเสียอันเกิดมาจากการย้อมผ้าโดยใช้สารส้ม ปูนขาว และแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรต เบสิค (MCHB) เป็นการช่วยตกตะกอนสีย้อมที่นำมาทดลองแบ่งตามประเภทของสีย้อมมี 6 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ ไโดเรกท์ แวต รีแอคทีฟ ซัลเฟอร์ อะโซอิกและเมทิลลิดพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมเป็นสำคัญ สำหรับสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ แวต ซัลเฟอร์ อะโซอิก และเมทิลลิดจะถูกกำจัดได้ง่าย ในขณะที่สีย้อมที่ละลายน้ำได้ดีเช่น รีแอคทีฟจะถูกทำให้ลดลงได้ยาก ส่วนสีย้อมไโดเรกท์ (ซึ่งไม่เด่นชัดว่าละลายน้ำได้หรือไม่) สามารถถูกกำจัดสีลงได้มาก แต่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในปริมาณสูงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับชนิดของโหนดสีและสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนด้วย

สารส้ม - สามารถกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไปในทุก ๆ ประเภทสีย้อม ยกเว้นสีย้อมรีแอคทีฟซึ่งแทบจะไม่สามารถกำจัดลงได้เลย

ปูนขาว - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำไม่ควรจะนำไปใช้งาน

MCHB - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง ต่อเมื่อน้ำเสียไม่มีสารช่วยย้อมเจือปนอยู่หรือเจือปนอยู่น้อยและประสิทธิภาพด้อยลงมากเมื่อมีสารช่วยย้อมเจือปนอยู่แต่วิธีนี้สามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้ทุกประเภทรวมทั้งสีย้อมรีแอคทีฟซึ่งสารส้มไม่สามารถกำจัดลงได้

จารุรัตน์ เชาว์เลิศ และ ชันทอง สุนทราภา (บทคัดย่อ: 2546) ได้ศึกษาเรื่อง การกำจัดตะกั่ว และปรอทในน้ำเสียจากสถานกำจัดขยะมูลฝอยขอนแก่นด้วยเกล็ดโคโดซานซึ่งพบว่า เมื่อกำจัดโลหะหนักด้วยโคโดซานขนาด 710 – 850 ไมโครเมตร พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด คือ ปรับ pH ของน้ำเสียให้เท่ากับ 6 กวนเกล็ดโคโดซานในปริมาณ 6 กรัมต่อน้ำเสีย 300 มิลลิลิตร ที่ความเร็วเท่ากับ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถกำจัดตะกั่ว และปรอท ได้ร้อยละ 95 - 98 และ 95 - 98 ตามลำดับ

บังอร ลือภักดีสกุล, ละเอียด เพ็งโสภา และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (บทคัดย่อ: 2546) ศึกษาการบำบัดน้ำล้างฟิล์มเอกซเรย์ด้วยไคโตซานพอร์สปิด พบว่าเมื่อใช้ไคโตซานพอร์สปิดซึ่งขึ้นรูปมาจากสารละลายไคโตซานร้อยละ 6 ในสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 2 โดยทำการขึ้นรูปในสารละลายต่างของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์กับเอทานอล ในอัตราส่วน 1 : 1 ไคโตซานพอร์สปิดมีประสิทธิภาพ (ร้อยละ) ในการดูดซับโลหะเงินจากน้ำล้างฟิล์มเอกซเรย์ เท่ากับ 92.38, 92.53, 92.74 และ 92.78 ที่ปริมาณไคโตซานพอร์สปิดเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 กรัม ตามลำดับ

ธีระ เกรอต (บทคัดย่อ: 2524) ศึกษาการใช้ Superfloc A115 เป็น Coagulant Aid ใช้ร่วมกับสารส้มในระบบ Coagulation น้ำดิบที่เข้าสู่กระบวนการทำไลของการทำงานน้ำประปาที่โรงประปาสวมเสน (10,400 m³/hr) ซึ่งพบว่าการใช้ Superfloc A115 ที่ความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้ำที่ออกมาใสกว่าการใช้สารส้มอย่างเดียว และสามารถลดการใช้สารส้มลงได้ร้อยละ 45.6 ตลอดช่วงที่เดินระบบ

Al-Mutairi, N.Z.; Hamoda, M.F. and Al-Ghusian, I. (2004: 115 - 119) ได้ศึกษา Coagulant Aid และสถานะของกากตะกอน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสารส้ม กับ Organic Polymer ซึ่งพบว่าความสามารถ (ร้อยละ) ในการขจัด COD, SS และ Turbidity ของการใช้สารส้มเท่ากับ 3 - 20, 98 - 99, 76 - 93 เมื่อใช้ Organic Polymer ความสามารถในการขจัด COD และ SS เท่ากับ 9 - 43 และ 95 - 96 ตามลำดับ

Song, Z.; Williams, C.J. and Edyvean, R.G.J. (2004: 249 - 259) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยใช้กระบวนการ Chemical Coagulation โดยสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ สารส้ม และเพอร์ริกคลอไรด์ ซึ่งพบว่าช่วงความเข้มข้น และ pH ที่เหมาะสม เท่ากับ 800 mg/l และ 7.5 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการขจัด SS, COD และ Chromium เท่ากับร้อยละ 38-46 , 30-37 และ 74-99 ตามลำดับ

Geogiou, D. et al. (2003: 2248 - 2250) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม Cotton Textile โดยใช้ปูนขาว และเฟอร์ริซัลเฟต เป็น Coagulant เพื่อขจัดสีที่มีในน้ำเสีย ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ปูนขาวอย่างเดียวในการบำบัดสามารถขจัดสี และ COD ได้เท่ากับร้อยละ 70 - 90 และ 50 - 60 ตามลำดับ เมื่อใช้เฟอร์ริซัลเฟต ต้องปรับสภาพ pH ให้อยู่ในช่วง 9.0 ± 0.5 และมีประสิทธิภาพในการขจัดใกล้เคียงกับปูนขาว

ชาญชัย แสงภักดีจิต (บทคัดย่อ: 2546) ศึกษาความสามารถของไคโตซานในการเป็นโคแอกกูแลนต์ เพื่อนำกลับโปรตีนในน้ำเสียของโรงงานผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียว โดยในการทดสอบกับน้ำล้างแป้งถั่วเขียว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเป็นโคแอกกูแลนต์และนำกลับโปรตีนคือ

pH 4.5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถลด TKN, COD และ TS ได้ร้อยละ 90.1, 90.7 และ 87.5 ตามลำดับ ส่วนการทดสอบกับน้ำล้างวันเส้น สภาวะที่เหมาะสมในการเป็นโคแอกกูแลนต์และนำกลับโปรตีนคือ pH 4.5 ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถลด TKN, COD และ TS ได้ร้อยละ 61.4, 45.5 และ 33.5 ตามลำดับ

เกษม สีดอกบวบ (บทคัดย่อ: 2543) ศึกษาประสิทธิภาพของโคโคซานในการกำจัดโลหะหนัก 5 ตัว คือ Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} และ Hg^{2+} ในน้ำเสียจริงจากห้องปฏิบัติการ และจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด Cu^{2+} , Zn^{2+} และ Cd^{2+} ของน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียสมดำ คือที่ pH 5.5 ใช้โคโคซาน 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิตร ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการขจัดมากกว่าร้อยละ 76.9, 64.6 - 95.5 และ 73.1 - 79.8 ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด Pb^{2+} ในน้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์ อินดัสทรี คือ ที่ pH 5.5 ใช้โคโคซาน 1.7 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิตร ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการขจัดมากกว่าร้อยละ 90.3 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด Hg^{2+} ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ คือ พีเอช 5.0 ใช้ปริมาณโคโคซาน 2.2 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิตร ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการขจัดมากกว่าร้อยละ 97.8 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} และ Hg^{2+} ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 คือ ที่ pH 5.5 ใช้โคโคซาน 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิตร ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพร้อยละ 94.5 - 97.7 มากกว่า 14.9, 66.4 - 67.6 และ 48.0 - 76.7 ตามลำดับ

Kume, Tamikazu and Takehisa, Masaaki (1984: 579 - 582) ศึกษาผลจากการฉายรังสี เพื่อนำของเสียอินทรีย์จากน้ำเสียแป้งมันฝรั่ง ที่ผ่านการบำบัดด้วยโคโคซาน เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ พบว่า โคโคซานมีประสิทธิภาพดีในการขจัดสารแขวนลอยที่มีน้ำเสีย โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ $8 - 10 \times 10^{-30/0}$ และการฉายรังสีจะช่วยให้กระบวนการรวมกลุ่มตะกอนเกิดได้ดีขึ้น โดยช่วยให้โปรตีนที่ละลายในน้ำเสียอยู่ในรูปไม่ละลาย จำนวนแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในน้ำเสียและในกลุ่มตะกอนเท่ากับ 8×10^7 และ 3.5×10^8 counts/ml ตามลำดับ สามารถลดปริมาณลงได้ 10 - 45 counts/ml โดยใช้รังสี 1.0 Mrad

Amuda, O.S.; Amoo, L.A. and Ajayi, O.O. (2005: 1 - 13) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ดำเนินการศึกษาที่ Fumman Beverage Industry ประเทศไนจีเรีย โดยเปรียบเทียบปริมาณสารรวมกลุ่มตะกอนที่ใช้ (โพลีอิเล็กโตรไลต์ : Non - ionic Polyacrylamide) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่าง ต่าง ๆ กัน ผลปรากฏว่า ที่ pH ต่ำ (3 - 5) มีประสิทธิภาพการขจัดสิ่งแปลกปลอมได้สูง โดยสามารถ

ขจัดซีไอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (TSS) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ได้ร้อยละ 78, 74 และ 75 ตามลำดับ และจะเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นเมื่อเติมเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ในปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเพิ่มการขจัดซีไอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (TSS) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) เป็นร้อยละ 93, 94 และ 96 ตามลำดับ และจะดียิ่งขึ้นเมื่อเติมโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปในกระบวนการรวมกลุ่มตะกอน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกากตะกอน พบว่า เมื่อใช้สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนตัวเดียวจะมีปริมาณกากตะกอนมากกว่า การใช้สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนร่วม ซึ่งเป็นผลจากสภาพไม่มีประจุของโพลีอิเล็กโตรไลต์ จะทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับของแข็งที่มีในน้ำเสีย กระบวนการรวมกลุ่มตะกอนมีประโยชน์ในการเป็นกระบวนการขั้นต้นในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

Selcuk, Huseyin (2005: 217 - 222) ศึกษาการขจัดสีและพิษในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยกระบวนการเติมโอโซนและการรวมกลุ่มตะกอน โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา คือ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (เฟอร์รัสและอะลูมิเนียมซัลเฟต) และกระบวนการบำบัดด้วยโอโซน โดยใช้ค่าซีไอดี (COD), ค่าสีที่การดูดกลืนคลื่นแสงความยาวคลื่น 436 nm, 525 nm และ 620 nm และการทดสอบความเป็นพิษ *Daphnia magna* ผลการทดสอบพบว่าสามารถขจัดสี, COD และความเป็นพิษ ได้ร้อยละ 50 - 60, 60 และ 70 - 80 ที่ความเข้มข้นของเฟอร์รัสและอะลูมิเนียมซัลเฟต เท่ากับ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนโอโซนสามารถขจัดสีและความเป็นพิษได้ร้อยละ 98 เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสกับโอโซน 20 นาที ขจัดซีไอดีได้ร้อยละ 37 เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ความเป็นพิษในน้ำเสียจะลดลงเมื่อสัลดลงร้อยละ 85 และความเข้มข้นของโอโซน 82.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

Meyssami, B. and Kasaeian, A.B. (2005: 303 - 307) ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันมะกอกเป็นองค์ประกอบ โดยใช้สารเคมีในการรวมกลุ่มตะกอน และเป็นต้นแบบในการเหนี่ยวนำให้เกิด Air Flotation การใช้โพลีอิเล็กโตรไลต์ที่มาจากธรรมชาติเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนในการบำบัดน้ำทิ้งมีประโยชน์เพราะปลอดภัยและมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อม คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไคโตซานซึ่งเป็นโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันมะกอกเป็นองค์ประกอบ ผลจากการทำ Jar Test ที่ pH ความเข้มข้น และความแรงของโอโซนต่างๆ กัน พบว่าเมื่อใช้ไคโตซานร่วมกับสารส้มที่ความเข้มข้น 15 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 6 จะให้ค่าความขุ่นต่ำสุด การทดสอบการเกิด Air Flotation ปัจจุบันที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความ

เข้มข้นของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน และอัตราการไหลของอากาศ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดคือที่ความเข้มข้นของไคโตซาน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการไหลของอากาศ 3 ลิตรต่อนาที เติมน้ำอากาศ 45 วินาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ pH 6 ที่สภาวะที่เหมาะสมของการรวมกลุ่มตะกอนและ Flotation Stage สามารถจัดซื้อได้ร้อยละ 95

Pan, Jill Ruhsing et al. (1998: 359 - 364) ศึกษาการใช้ไคโตซานในกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ การใช้ไคโตซานแทนสารส้มและโพลิเมอร์สังเคราะห์มีประโยชน์คือ ไม่เกิดสารตกค้างที่มีผลต่อสุขภาพ กากตะกอนที่เกิดขึ้นย่อยสลายได้ และเป็นการนำเปลือกปูกลับมาใหม่ การเตรียมสารละลายไคโตซานในสภาวะกรดหรือสภาวะอื่นที่เป็นการขจัดหมู่อะซิทิล เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการรวมกลุ่มตะกอน การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้ไคโตซานผสมกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน ประสิทธิภาพประเมินจากอัตราการตกตะกอน เส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มตะกอน และความชุ่มพบว่าการใช้ไคโตซานอย่างเดียวให้กลุ่มตะกอนขนาดใหญ่กว่า และให้ความเร็วในการตกตะกอนสูง อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้ผลที่น่าพอใจคือที่อัตราส่วนไคโตซานต่อ PACl เท่ากับ 4 ต่อ 1

Roussy, Jean et al. (2004: 3247 - 3258) ศึกษาผลของไคโตซานต่อกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนและการตกตะกอนเบนโทไนท์แขวนลอย โดยเตรียมไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) และปริมาณการขจัดหมู่อะซิทิล (Degree of Acetylation - DD) ต่าง ๆ กัน ทดสอบกับเบนโทไนท์แขวนลอย 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 5 และ 7 โดยใช้น้ำประปากับน้ำปราศจาก อีออน พบว่ากระบวนการรวมกลุ่มตะกอนในน้ำประปาเกิดได้ดีกว่าน้ำที่ปราศจากอีออนทุกสภาวะ สามารถจัดความชุ่มได้ร้อยละ 95 ที่ความเข้มข้นของไคโตซาน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งในน้ำประปาและน้ำปราศจากอีออน การจัดความชุ่มจะดีขึ้นเมื่อใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น

Divakaran, Ravi and Sivasankara, V.N. (2001: 2414 - 2418) ศึกษาการตกตะกอนดินทรายจากแม่น้ำด้วยไคโตซาน โดยศึกษาที่ pH 4 ถึง 9 ความเข้มข้นของสารแขวนลอย 20 – 80 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไคโตซานมีประสิทธิภาพในการลดความชุ่มที่เกิดจากดินทรายได้ โดยการตกตะกอน ประสิทธิภาพของการตกตะกอนอ่อนไหวกับสภาวะความเป็นกรด – ต่าง มาก และความเข้มข้นของไคโตซานที่เหมาะสมต่อการตกตะกอน คือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของตะกอนดินทรายในช่วงที่ทำการศึกษา

Ganoulis, Jacques and Papalopoulou, Anastasia (1999: 297 - 302) ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ ได้ข้อสรุปว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย

กระบวนการบำบัดต่าง ๆ (กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกระบวนการอื่น ๆ) เมื่อต้องนำมาใช้ใหม่ต้องมีการบำบัดขั้นที่ 3 ก่อน เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อเชื้อโรคและสารพิษที่ตกค้างที่ยังคงอยู่ในน้ำนั้น ๆ การวิเคราะห์ความเสี่ยงทางวิศวกรรมจึงมีประโยชน์มาก ในการใช้เป็นข้อมูลในการสนับสนุน สำหรับการตัดสินใจในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสี่ยง ได้แก่ การระบุความเป็นอันตราย ปริมาณของความเสี่ยง ระดับของความเสี่ยง และการจัดการความเสี่ยง

Stoll, U. and Parameswaran, K. (1996: 209 - 217) ศึกษาการบำบัดและจัดการกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพ พบว่า ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันในประเทศตะวันตกมีปัญหาเรื่องระบบการจัดการกากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีราคาแพงและมีผลด้านสิ่งแวดล้อม และกำลังมีผลต่อประเทศกำลังพัฒนาเช่นกัน ระบบการจัดการกากตะกอนทั้งในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาวจึงมีความจำเป็นสำหรับระบบบำบัดแต่ละที่ ผู้ศึกษาเสนอให้การนำไปเผาในเตาเผา และการใช้ในการเกษตร เป็นทางเลือกสำหรับการจัดการระยะกลางและระยะยาว และควรดำเนินการควบคู่กัน

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยข้างต้น ผู้ทำการวิจัยจึงได้ข้อสรุปสถานะเบื้องต้นที่จะใช้ในการทดลองหาสถานะที่เหมาะสมของสารเคมีแต่ละชนิด ในการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ดังนี้

การทดสอบการบำบัดด้วยสารส้ม เนื่องจากสารส้มเมื่อละลายน้ำแล้ว จะมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย และสามารถทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างที่มีในน้ำได้ดี สามารถขจัด ซีโอติ ของแข็งแขวนลอย และความขุ่นได้ดีที่ความเข้มข้นในช่วง 600 – 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ผู้วิจัยจึงเลือกสถานะที่ใช้ในการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยสารส้ม คือที่สถานะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

เฟอริกคลอไรด์ เมื่อละลายน้ำแล้วให้อิออนบวกชนิดมีดิวาเลนซ์ (Fe^{3+}) เช่นเดียวกับสารส้ม (Al^{3+}) แต่มีสภาพเป็นกรดสูงกว่า จึงต้องมีการปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นด่างมากกว่าการบำบัดด้วยสารส้ม อิออนบวกที่มีอยู่สามารถจับกับอิออนลบของคอลลอยด์ที่มีในน้ำเสีย ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดี สถานะความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ ที่ 8 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงเลือกสถานะที่ใช้ในการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยเฟอริกคลอไรด์ คือ ที่สถานะความเป็นกรด - ด่าง 8, 9 และ 10 ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไคโตซาน เป็นสารโพลิเมอร์ที่ได้จากสาหร่ายธรรมชาติ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดี สามารถขจัดโลหะหนัก ซีไอดี และของแข็งแขวนลอยได้ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างและความเข้มข้น 4 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะที่ใช้ในการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยไคโตซาน คือ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 6 ความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกสังเคราะห์ สามารถให้เกิดการตกตะกอนได้ดี เนื่องจากการมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงจับกับอิออนลบของคอลลอยด์ในลักษณะสะพานเชื่อม ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับโพลิเมอร์ สามารถขจัดความขุ่นได้ดีที่สภาวะเป็นกลาง และที่ความเข้มข้นประมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าเติมมากเกินไป จะทำให้เกิดความคงตัวของคอลลอยด์ และความเข้มข้นที่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเกิดพิษสะสมต่อสิ่งมีชีวิตได้ ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะที่ใช้ในการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกสังเคราะห์ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6, 7 และ 8 ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 3

อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน หรือ โคแอกกูเลชัน (Coagulation) ทำการศึกษาคุณภาพตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด ศึกษาชนิดของสารเคมีและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด และศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสีย โดยใช้สารเคมีแต่ละชนิด เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน หรือมีคุณภาพในระดับที่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคได้ โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation ได้แก่ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ชนิด และความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือวัด

- 3.1.1.1 พีเอชมิเตอร์ (Portable pH Meter, HANNA Model pHep HI98107)
- 3.1.1.2 เครื่องวัดพีเอช (Denver Instrument, Model 215)
- 3.1.1.3 เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter, Hach 2100P)
- 3.1.1.4 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer, Hach DR 2010)

3.1.2 อุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

- 3.1.2.1 ตู้อบ (Hot Air Oven)

3.1.2.2 เครื่องกวนที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ (Magnetic Stirrer) Fisher Stirrer/Fisher Scientific

3.1.2.3 Magnetic Bar

3.1.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ วัดเป็นองศาเซลเซียส

3.1.2.5 โถดูดความชื้น (Desiccators)

3.1.2.6 เครื่องชั่งอัตโนมัติ (Electronic Balance) 4 ตำแหน่ง OHAUS Model Analytical Plus 310 กรัม

3.1.2.7 เครื่องชั่งอัตโนมัติ (Electronic Balance) 3 ตำแหน่ง Denver Instrument Company Model TR 403/410 กรัม

3.1.2.8 เครื่องชั่งอัตโนมัติ Mettler AG204 / 210 g

3.1.2.9 Condenser

3.1.2.10 Erlenmeyer Flask 250 มิลลิลิตร

3.1.2.11 Electro Mantle

3.1.2.12 นาฬิกาจับเวลา

3.1.2.13 ปีกเกอร์ ขนาด 80, 150 และ 500 มิลลิลิตร

3.1.2.14 บีเปต 5, 10, 20 มิลลิลิตร

3.1.2.15 บิวเรต พร้อมที่จับและขาตั้ง

3.1.2.16 กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.1.2.17 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.1.2.18 ขวดน้ำกลั่น

3.1.2.19 หลอดหยด (Dropper)

3.1.2.20 กระดาษกรอง GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร

3.1.2.21 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

3.1.2.22 กล้องโฟมบรรจุตัวอย่าง

3.1.2.23 กล้องถ่ายรูป

3.1.2.24 แกลลอนเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 5 ลิตร

3.1.2.25 กระป๋องบรรจุตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) จากบริษัท Lab Scan Analytica Science
- 3.2.2 ซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO_4) จากบริษัท BDH
- 3.2.3 โพตัสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) จากบริษัท Fisher Chemical
- 3.2.4 แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Fisher Chemical
- 3.2.5 ฟีนันโทรีน (1,10 Phenantrolene monohydrate) จากบริษัท Carlo Erba
- 3.2.6 เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous Sulphate - $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Merck
- 3.2.7 กรดซัลฟามิค (Sulfamic acid) จากบริษัท Carlo Erba
- 3.2.8 เมอร์คิวริกซัลเฟต (Mercuric Sulfate) จากบริษัท BDH
- 3.2.9 0.1 N HCl
- 3.2.10 0.1 N NaOH
- 3.2.11 สารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (Coagulant) ได้แก่ สารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ (จากบริษัท Merck) ไคโตซาน (ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท อีแลนด์ โคเปอเรชั่น จำกัด) และ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก (ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Nalco Industrial Service จำกัด)

3.3 วิธีการศึกษา

3.2.1 แผนการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนของการทดสอบจาร์เทสต์ ดำเนินการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพน้ำก่อนการบำบัดและหลังบำบัดด้วยสารเคมีแต่ละชนิด ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ บริษัท เกื้อกูลตะวันออก จำกัด โดยแผนการศึกษาได้กำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ 6 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1.1 การเก็บตัวอย่างและการรักษาสภาพตัวอย่าง

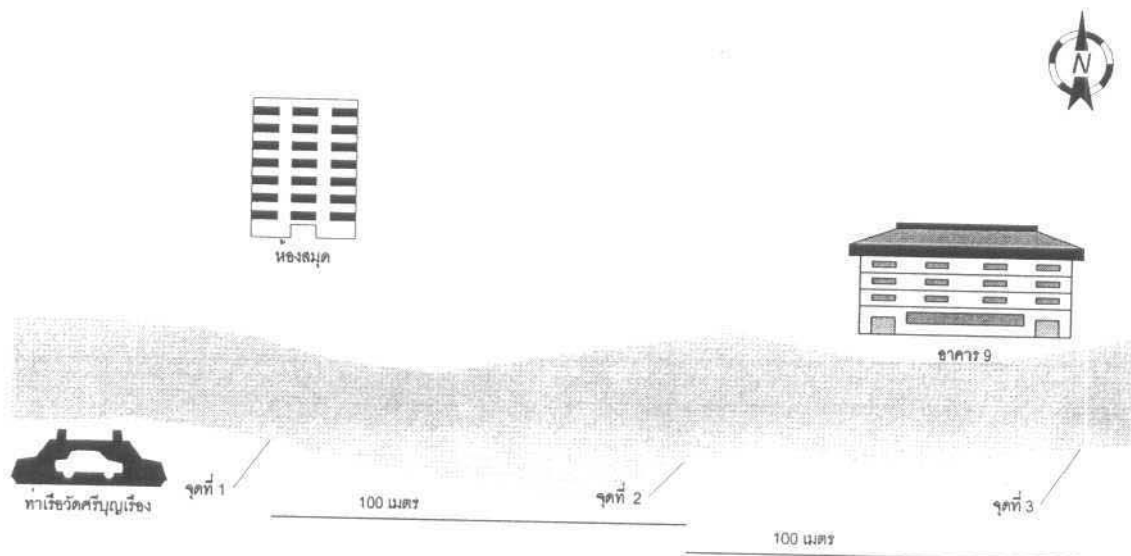
การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บจากคลองแสนแสบ ช่วงท่าเรือหน้าวัดศรีบุญเรืองถึงหลังอาคาร 9 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ รวมระยะทาง 300 เมตร แบ่งพื้นที่ของคลองที่ทำการศึกษเป็น 3 ช่วงเท่า ๆ กัน และแบ่งจุดเก็บตัวอย่างเป็น 3 จุด ดังภาพที่ 3.1 คือ

จุดที่หนึ่ง คือ บริเวณท่าเรือหน้าวัดศรีบุญเรือง

จุดที่สอง คือ บริเวณห่างจากจุดที่หนึ่งประมาณ 100 เมตร

จุดที่สาม คือ บริเวณห่างจากจุดที่หนึ่งประมาณ 200 เมตร

วิธีการเก็บตัวอย่างใช้วิธีการเก็บแบบผสมรวม (Composite Sampling) ดำเนินการเก็บทุกจุด จุดละ 2 ลิตร ใน 3 ช่วงเวลา คือ 09.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. แล้วนำมาผสมรวมกัน โดยเก็บตัวอย่างในวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 บรรจุตัวอย่างในขวดพลาสติก ขนาด 5 ลิตร โดยบรรจุเกือบเต็มขวด ปิดฝาให้สนิท



ภาพที่ 3.1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

หมายเหตุ: ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จะเก็บในปริมาณที่เท่ากันทุกจุดและทุกช่วงเวลา โดยสมมติว่าน้ำเสียบริเวณที่เก็บตัวอย่าง มีอัตราการไหลเท่ากันทุกช่วงเวลา

การเก็บรักษาภาพตัวอย่างทำโดยการเก็บไว้ในตู้เย็นที่รักษาภาพตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

การเก็บตัวอย่างส่วนที่ใสจากการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งต้องนำไปวิเคราะห์คุณภาพหลังการบำบัด เก็บโดยปิเปตตัวอย่างส่วนที่ใสมาประมาณ 30 - 50

มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ได้ระดับผิวน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์ ประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร และต้องระวังไม่ให้เกิดการฟุ้งของตะกอนที่อยู่ด้านล่าง แล้วบรรจุในกระป๋องพลาสติก ปิดฝาให้สนิท บรรจุในกล่องโฟมที่รักษาอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งใส่ไว้ในกล่องโฟมในระหว่างการเคลื่อนย้าย และเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ขณะที่รอการทดสอบคุณภาพ

3.2.1.2 การเตรียมสารเคมีในการทดสอบ

วิธีการและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยอ้างอิงจากข้อแนะนำที่ระบุในการเตรียมของสารเคมีนั้น ๆ วิธีการเตรียมและการคำนวณอ้างอิงจากเทคนิคพื้นฐานทางเคมีวิเคราะห์

1) สารส้ม ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร: ชั่งสารส้ม 5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

2) เพอร์ริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร: ชั่งเพอร์ริกคลอไรด์ 5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3) ไคโตซาน ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (จาก Stock Solution 1.5 %) มีวิธีการเตรียมดังนี้

(1) การเตรียมสารละลายเบื้องต้น (Stock Solution) ชั่งไคโตซาน 1.5 กรัม ละลายด้วย 5% HCl 100 มิลลิลิตร

(2) การเตรียมสารละลายเพื่อใช้งาน (Use Solution) ปิเปต Stock Solution 16.7 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร จะได้ไคโตซาน ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) Polyelectrolyte ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (จาก Stock Solution 0.5 %) มีวิธีการเตรียมดังนี้

(1) การเตรียม Stock Solution ชั่งโพลียิเลคโตรไลต์ 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

(2) การเตรียม Use Solution ปิเปต Stock Solution 1.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร

5) สารละลาย 0.1 N NaOH : ชั่ง NaOH 0.4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

6) สารละลาย 0.1 N HCl : ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 0.9 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

7) สารละลาย 5 % HCl : ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 62 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร

3.2.1.3 การทดสอบคุณภาพตัวอย่างน้ำก่อนการบำบัด

การทดสอบคุณภาพตัวอย่างน้ำก่อนการบำบัดทำโดยการแบ่งตัวอย่างมาทำการทดสอบคุณภาพน้ำด้านกายภาพ และทางเคมีของน้ำเสียตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) สี อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid - SS) ความขุ่นและ Chemical Oxygen Demand (COD)

ตารางที่ 3.1 สรุปค่าที่ทำการทดสอบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด

ค่าที่ทดสอบ	มาตรฐานน้ำทิ้ง	คุณภาพน้ำคลองแสน สสบจากสำนักกระบายน้ำ	การทดสอบ คุณภาพน้ำ ก่อนการบำบัด	การทดสอบ คุณภาพน้ำหลัง การบำบัด
สี	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	×	✓	✓
ความขุ่น	ไม่ได้กำหนด	×	✓	✓
กลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	×	×	×
อุณหภูมิ (°C)	ไม่เกิน 40	27.7	✓	×
pH	5.0 – 9.0	7.09	✓	✓
SS (mg/l)	ไม่เกิน 50	37	✓	×
COD (mg/l)	ไม่เกิน 120	50	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ ทำการทดสอบ

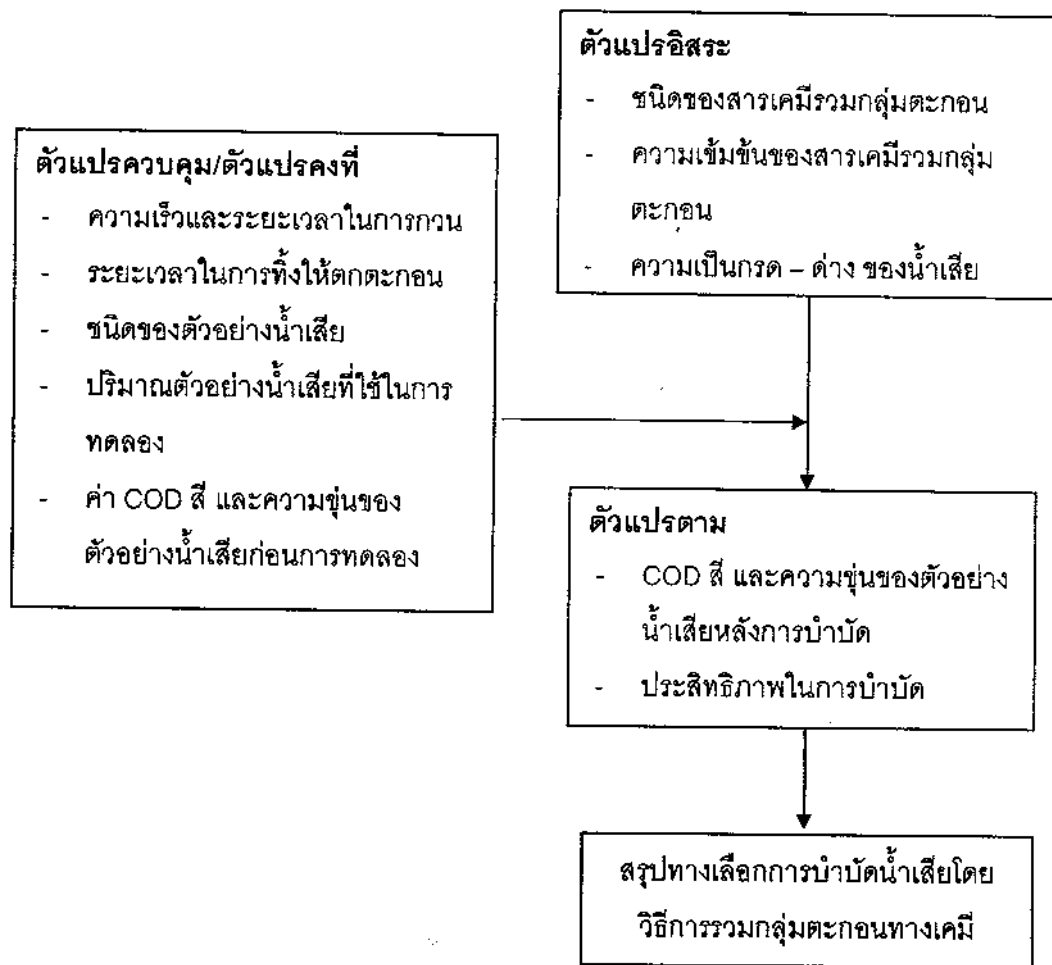
× ไม่ทำการทดสอบ/ไม่มีข้อมูล

3.2.1.4 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยสารเคมีแต่ละชนิด

การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนสสบ ทำโดยการทดลองเปรียบเทียบระหว่างสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม โคโคซาน เฟอริกคลอไรด์ และโพลิออลิเมอร์ไดท์ประจุบวกสังเคราะห์ มาทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมใน

การบำบัดโดยดัดแปลงวิธีจาร์เทสต์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ โดยกรอบแนวคิดในการศึกษา แสดงดังภาพที่ 3.2 สภาวะที่ทำการทดสอบของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด แสดงดังภาพที่ 3.3 โดยแบ่งเป็น 4 การทดลองคือ

- (1) สารส้มทำการทดสอบที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 6, 7 และ 8 ความเข้มข้น 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (2) ไคโตซานทำการทดสอบที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 4, 5 และ 6 ความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (3) เพอร์ริกคลอไรด์ทำการทดสอบที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 8, 9 และ 10 ความเข้มข้น 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (4) โพแทสเซียมไดโครเม이트ทำการทดสอบที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 6, 7 และ 8 ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 3.2 กรอบแนวคิดในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

จากภาพที่ 3.2

1) ตัวแปรอิสระ ได้แก่

(1) ชนิดของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน ได้แก่ สารส้ม โคโคซาน เฟอริกคลอไรด์ และโพลิอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกสังเคราะห์ ข้อมูลเฉพาะและคุณสมบัติของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด เป็นดังนี้

(1.1) สารส้ม

(1.1.1) ลักษณะทางกายภาพ เป็นของแข็งผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น

(1.1.2) ชื่อทางเคมี Aluminium Sulphate ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

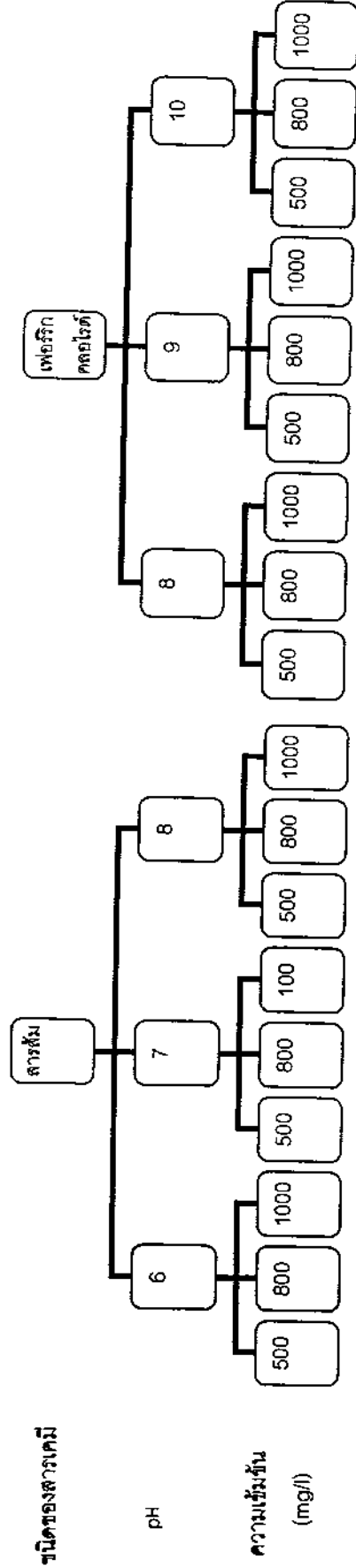
- (1.1.3) ความสามารถในการละลายน้ำ ละลายได้สมบูรณ์
- (1.2) ไคโตซาน (Chitosan)
- (1.2.1) ลักษณะทางกายภาพ ของแข็ง ผงสีขาวเหลือง ขนาด 100 mesh ไม่มีกลิ่น
- (1.2.2) มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดี
- (1.2.3) ชื่อทางเคมี Poly - β - (1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคติน
- (1.2.4) ความชื้น สูงสุดร้อยละ 100
- (1.2.5) ความหนืด (1% ในสารละลายกรด 1%) 50 cps
- (1.2.6) ความสามารถในการละลาย: ละลายในสารละลายกรด
- (1.2.7) ปริมาณเถ้า ไม่เกิน 1 %
- (1.2.8) Deacetylation 90 ± 5 %
- (1.2.9) โลหะหนัก ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (1.2.10) แบคทีเรียทั้งหมด – ไม่เกิน 10 โคโลนี/กรัม
- (1.2.11) โคลิฟอร์มแบคทีเรีย – ไม่พบ
- (1.2.12) E.Coli – ไม่พบ
- (1.2.13) แหล่งที่มา บริษัท Eland Corporation จำกัด
- (1.3) เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride)
- (1.3.1) ลักษณะทางกายภาพ ผลึกของแข็งสีน้ำตาล ไม่มีกลิ่น
- (1.3.2) Chemical Active: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- (1.3.3) ความสามารถในการละลายน้ำ ละลายได้สมบูรณ์
- (1.4) Cationic Polyelectrolyte
- (1.4.1) ลักษณะทางกายภาพ เป็นของแข็ง สีขาวขุ่น ไม่มีกลิ่น
- (1.4.2) Chemical Active: Acrylamide Co-polymer High Cationic Charge
- (1.4.3) ชื่อทางการค้า Optimer 9916
- (1.4.4) แหล่งที่มา บริษัท Nalco Chemical จำกัด
- (1.4.5) ความสามารถในการละลายน้ำ ละลายได้สมบูรณ์
- (1.4.6) ความหนืด 3.2 – 3.8 cps ที่ 25°C

(2) ความเข้มข้นของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน ได้แก่ สารส้มและเฟอริกคลอไรด์ ใช้ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โคโคซานใช้ความเข้มข้น 40, 60 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีอิเล็กโตรไลต์ใช้ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

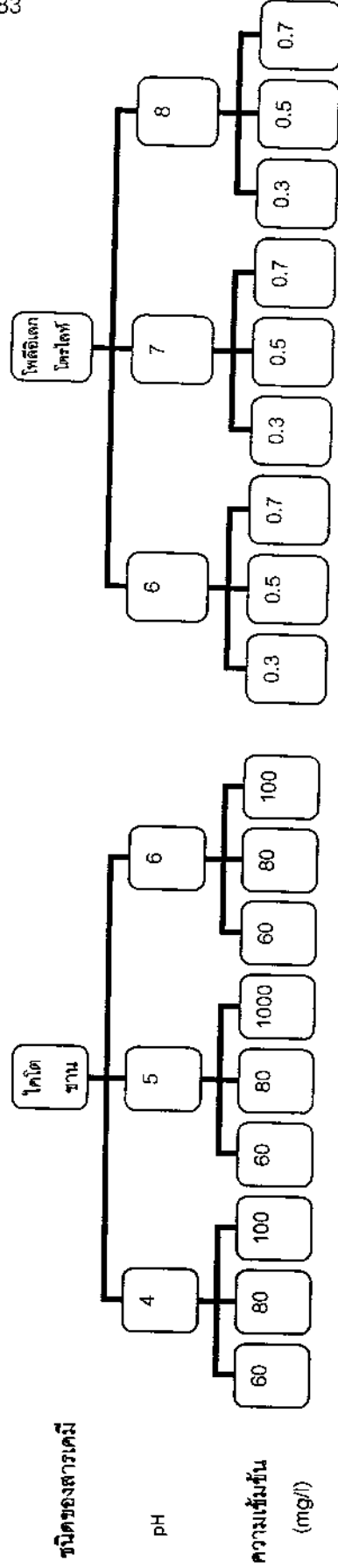
(3) สภาวะความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำเสียที่ปรับเปลี่ยนไว้ช่วงเริ่มต้น ก่อนการบำบัดด้วยสารเคมีแต่ละชนิด ได้แก่ สารส้มและโพลีอิเล็กโตรไลต์ ใช้สภาวะความเป็นกรด - ด่าง ที่ 6, 7 และ 8 โคโคซานใช้สภาวะความเป็นกรด - ด่าง ที่ 4, 5 และ 6 เฟอริกคลอไรด์ ใช้สภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ 8, 9 และ 10

ในการจัดตัวแปรอิสระ แสดงดังภาพที่ 3.3

ชนิดของสารเคมี



83



ภาพที่ 3.3 แสดงการจัดตัวแปรอิสระ

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าซีไอดี ค่าซี และความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียหลังการทดลอง

3) ตัวแปรคงที่ ได้แก่ ความเร็วและระยะเวลาในการกวน ระยะเวลาที่ทิ้งไว้ใน การตกตะกอน ปริมาณตัวอย่างน้ำเสีย COD ซี และความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

4) วิธีการดัดแปลงวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำให้ได้เท่ากับอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

(2) ปรับสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ของตัวอย่างน้ำให้ได้เท่ากับค่าที่ต้องการทดสอบ

(3) ตวงน้ำตัวอย่าง 80 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์

(4) เติมสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนตามชนิดและปริมาณที่ต้องการทดสอบ

(5) นำบีกเกอร์วางบนเครื่องกวน กวนอย่างเร็วประมาณ 1 นาที (ความเร็วรอบประมาณ 100 รอบต่อนาที)

(6) ลดความเร็วให้เหลือประมาณ 5 รอบต่อนาที กวนเป็นเวลา 20 นาที

(7) ปิดเครื่องกวนทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ตกตะกอน

(8) ใช้ปิเปตดูดน้ำส่วนที่ใสของแต่ละบีกเกอร์ ประมาณ 30 - 50 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ระดับผิวน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์ ประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร และระวังไม่ให้เกิดการฟุ้งของตะกอนที่อยู่ด้านล่าง แล้วบรรจุในกระป๋องพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท บรรจุในกล่องโฟมที่รักษาอุณหภูมิโดย ใช้น้ำแข็งใส่ไว้ในกล่องโฟมในระหว่างการเคลื่อนย้าย และเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น เพื่อนำไปทดสอบคุณภาพน้ำหลังการบำบัด

3.2.1.5 การทดสอบคุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การทดสอบคุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน แต่ละชนิด ดำเนินการทดสอบตามวิธีการมาตรฐานที่ระบุในภาคผนวก ก โดยค่าที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง COD ซี และ ความขุ่น ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการทดสอบอ้างอิงจาก Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition

3.2.1.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัด

การหาประสิทธิภาพในการบำบัดของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด ได้จากการคำนวณร้อยละการขจัด (%Removal) ซี ความขุ่น และ COD โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Removal (Color)} = \left\{ \frac{\text{ค่าสีของน้ำก่อนการบำบัด} - \text{ค่าสีของน้ำหลังการบำบัด}}{\text{ค่าสีของน้ำก่อนการบำบัด}} \right\} \times 100$$

$$\% \text{ Removal (ความขุ่น)} = \left\{ \frac{\text{ค่าความขุ่นของน้ำก่อนการบำบัด} - \text{ค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัด}}{\text{ค่าความขุ่นของน้ำก่อนการบำบัด}} \right\} \times 100$$

$$\% \text{ Removal (COD)} = \left\{ \frac{\text{ค่า COD ของน้ำก่อนการบำบัด} - \text{ค่า COD ของน้ำหลังการบำบัด}}{\text{ค่า COD ของน้ำก่อนการบำบัด}} \right\} \times 100$$

3.2.2 การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลค่าความขุ่น สี COD ความเป็นกรด - ด่าง ลักษณะตะกอน สี ของน้ำเสียหลังการบำบัดและถ่ายภาพของแต่ละสภาวะ

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.3.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ โดยการพล็อตกราฟ และ Scatterplot เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ศึกษา

3.2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least-Significant Different (LSD) โดยโปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูป SPSS

3.2.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัด โดยเปรียบเทียบจากค่าร้อยละการขจัด COD สี และความขุ่น (% Removal) ที่คำนวณได้

3.2.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ดำเนินการเก็บตัวอย่างวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 และทำการทดสอบช่วงวันที่ 5 – 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2548

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี หรือ โคแอกกูเลชัน ผู้ศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาได้ 4 ประเด็นคือ

- 4.1 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบก่อนการทดลอง
- 4.2 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบหลังการทดลอง
- 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด
- 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด

4.1 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบก่อนการบำบัด

จากการเก็บน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบบริเวณท่าเรือวัดศรีบุญเรืองถึงด้านหลังอาคารกีฬาในร่ม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2548 มาทดสอบคุณภาพน้ำก่อนการทดลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แล้ว พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่าความเป็นกรด - ด่าง มีค่าเท่ากับ 7.62 ส่วนค่าสี ความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งแขวนลอยมาตรฐานน้ำผิวดินไม่ได้กำหนด แต่จากการทดสอบคุณภาพน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง พบว่า มีค่าสีเท่ากับ 38.2 Pt.Co. ค่าความขุ่นเท่ากับ 26.60 NTU ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 91.0 mS/m และปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.1

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพตัวอย่างน้ำที่เก็บตัวอย่าง กับผลการทดสอบน้ำ ณ จุดใกล้เคียง (สะพานบางกะปิ) ที่วิเคราะห์โดยกองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร พบว่า มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่า COD ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบกับมาตรฐานน้ำที่เกี่ยวข้อง

ค่าที่ทดสอบ	มาตรฐานน้ำทิ้ง ^x	คุณภาพน้ำตัวอย่าง ก่อนการบำบัด	คุณภาพน้ำคลอง แสนแสบจาก สำนักระบายน้ำ พ.ศ. 2547 ^y	มาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ^z
สี	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	38.2	ไม่ได้ทดสอบ	ไม่เปลี่ยน
กลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้ทดสอบ	ไม่ได้ทดสอบ	ไม่เปลี่ยน
อุณหภูมิ (°C)	ไม่เกิน 40	29.3	27.7	สูงกว่าธรรมชาติไม่เกิน 3 °C
pH	5.0 – 9.0	7.62	7.15	5.0 – 9.0
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/m)	ไม่ได้กำหนด	91.0	ไม่ได้ทดสอบ	ไม่ได้กำหนด
ความขุ่น (NTU)	ไม่ได้กำหนด	26.60	ไม่ได้ทดสอบ	ไม่ได้กำหนด
SS (mg/l)	ไม่เกิน 50	30	37	ไม่ได้กำหนด
COD (mg/l)	ไม่เกิน 120	54	50	ไม่ได้กำหนด

แหล่งที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545: 3–37. (X)
 กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548. (Y)
 กระทรวงอุตสาหกรรม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545: 3 – 13. (Z)

4.2 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบหลังการบำบัด

การวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างน้ำหลังจากการทดลองบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด คือ สารส้ม ไคโตซาน เพอร์ริกคลอไรด์ และโพลิอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเข้มข้นและสภาพความเป็นกรด - ด่าง แตกต่างกัน คุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ COD สี และความขุ่น ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 – 4.5

4.2.1 สารส้ม

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6, 7 และ 8 มีคุณภาพน้ำตัวอย่าง หลังการบำบัดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะต่าง ๆ

ความเป็นกรด-ด่าง	สารส้ม								
		6			7			8	
ความเข้มข้น (mg/l)	500	800	1000	500	800	1000	500	800	1000
COD (mg/l)	11.75	13.75	10.00	11.75	12.75	10.50	6.00	5.25	3.50
สี (Pt.Co.)	5.53	7.88	6.88	9.08	11.75	6.95	5.50	3.70	6.13
ความขุ่น (NTU)	5.49	13.62	19.23	9.06	9.32	9.13	3.66	5.53	11.24

4.2.1.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 11.75, 13.75 และ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 11.75, 12.75 และ 10.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 6.00, 5.25 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.1.2 สี

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 5.53, 7.88 และ 6.88 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าสีเท่ากับ 38.20 Pt.Co.

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 9.08, 11.75 และ 6.95 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 5.50, 3.70 และ 6.13 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.1.3 ความขุ่น

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 5.49, 13.62 และ 19.23 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าความขุ่นเท่ากับ 26.60 NTU

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 9.06, 9.32 และ 9.13 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 3.66, 5.53 และ 11.24 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

จากผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ข พบว่า

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยสารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่าง เท่ากับ 6, 7 และ 8 มีค่า COD สี และความขุ่น ของตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD และค่าสีเฉลี่ย ของตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนค่าความขุ่นเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2.2 ไคโตซาน

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ โดยใช้ไคโตซานเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน ที่ความเข้มข้นของไคโตซานเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 5 และ 6 มีคุณภาพน้ำตัวอย่าง หลังการบำบัดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยไคโตซานที่สภาวะต่าง ๆ

ความเป็นกรด-ด่าง	ไคโตซาน								
	4			5			6		
ความเข้มข้น (mg/l)	60	80	100	60	80	100	60	80	100
COD (mg/l)	897	974.25	382.5	820.5	1200.5	2341	479.75	948.50	1335.50
สี (Pt.Co.)	21.23	22.20	21.25	20.43	22.68	23.05	21.20	15.63	17.75
ความขุ่น (NTU)	8.19	8.11	8.74	9.73	6.97	7.47	9.64	8.21	8.66

4.2.2.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของไคโตซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD หลังการบำบัดเท่ากับ 987, 974 และ 382 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่า COD เท่ากับ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของไคโตซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD หลังการบำบัดเท่ากับ 820, 1,200 และ 2,341 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจาก COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของไคโตซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD หลังการบำบัดเท่ากับ 479, 948 และ 1335 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจาก COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.2.2 สี

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 21.23, 22.20 และ 21.25 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าสีเท่ากับ 38.2 Pt.Co.

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 20.43, 22.68 และ 23.05 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 21.20, 15.63 และ 17.75 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.2.3 ความขุ่น

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 8.19, 8.11 และ 8.74 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าความขุ่น เท่ากับ 26.60 NTU

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 9.73, 6.97 และ 7.47 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 9.64, 8.21 และ 8.65 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำก่อนการทดสอบ

จากผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ข พบว่า

การทดสอบทางสถิติของข้อมูลคุณภาพ ของตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยโคโคซาน สำหรับค่า COD ไม่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากพบว่า ค่า COD ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการเตรียมสารละลายโคโคซานที่ใช้ในการทดลอง

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยโคโคซานที่สภาวะความเป็นกรด - ต่าง เท่ากับ 4, 5 และ 6 มีค่าสีเฉลี่ย ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน ส่วนความขุ่นเฉลี่ยหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยโคโตซานที่ความเข้มข้นเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสีและความขุ่นเฉลี่ย ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2.3 เฟอริกคลอไรด์

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนที่ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8, 9 และ 10 มีคุณภาพน้ำตัวอย่าง หลังการบำบัดดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะต่าง ๆ

ความเป็นกรด-ด่าง	เฟอริกคลอไรด์								
	8			9			10		
ความเข้มข้น (mg/l)	500	800	1000	500	800	1000	500	800	1000
COD (mg/l)	10.50	12.75	6.00	1.25	2.75	6.75	0.00	5.50	5.75
สี (Pt.Co.)	8.65	29.20	50.50	10.78	31.70	56.93	6.03	29.48	54.13
ความขุ่น (NTU)	29.55	55.80	55.80	13.68	12.16	25.38	10.56	78.58	155.38

4.2.3.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 10.50, 12.75 และ 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่า COD เท่ากับ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 1.25, 2.75 และ 6.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 0.00, 5.50 และ 5.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.3.2 สี

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียหลังการทดสอบเท่ากับ 8.65, 29.20 และ 50.50 Pt.Co. ตามลำดับ ซึ่งก่อนการทดสอบมีค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียเท่ากับ 38.2 Pt.Co.

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 9 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียหลังการทดสอบเท่ากับ 10.75, 31.70 และ 59.63 Pt.Co. ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียหลังการทดสอบเท่ากับ 6.03, 29.48 และ 54.13 Pt.Co. ตามลำดับ

4.2.3.3 ความขุ่น

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์ เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 29.55, 55.80 และ 55.80 NTU ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.60 NTU

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 9 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 13.68, 12.16 และ 25.38 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นหลังการทดสอบเท่ากับ 10.56, 78.58 และ 155.38 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบเฉพาะที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

จากผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ข พบว่า

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8, 9 และ 10 มีค่า COD และค่าสีเฉลี่ย ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดไม่แตกต่างกัน ส่วนความขุ่นเฉลี่ยหลังการบำบัดแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD สี และความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด แตกต่างกันในระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2.4 โพลีอิเล็กโทรไลต์

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารเคมีรวมกลุ่ม ตะกอนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6, 7 และ 8 มีคุณภาพน้ำตัวอย่างหลังการบำบัดดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงคุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่สภาวะต่าง ๆ

ความเป็นกรด-ด่าง	โพลีอิเล็กโทรไลต์								
	6			7			8		
ความเข้มข้น (mg/l)	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
COD (mg/l)	23.25	20.75	25.50	38.67	32.33	31.67	24.33	21.00	21.67
สี (Pt.Co.)	23.78	25.38	18.83	31.97	32.40	31.30	27.10	28.07	26.80
ความขุ่น (NTU)	5.45	6.25	6.10	11.70	11.57	9.59	5.20	6.54	7.59

4.2.4.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 23.25, 20.75 และ 25.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่า COD เท่ากับ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 38.67, 32.33 และ 31.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD คงเหลือเท่ากับ 24.33, 21.00 และ 21.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลดลงจากค่า COD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.4.2 สี

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 23.78, 25.38 และ 18.83 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าสีเท่ากับ 38.2 Pt.Co.

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 31.97, 32.40 และ 31.30 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสีคงเหลือ เท่ากับ 27.10, 28.07 และ 26.80 Pt.Co. ตามลำดับ ลดลงจากค่าสีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

4.2.3.4 ความขุ่น

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 5.45, 6.25 และ 6.10 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าความขุ่นเท่ากับ 26.60 NTU

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 11.70, 11.57 และ 9.59 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความขุ่นคงเหลือ เท่ากับ 5.20, 6.54 และ 7.59 NTU ตามลำดับ ลดลงจากค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดสอบ

จากผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ข พบว่า

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6, 7 และ 8 มีค่า COD สีและความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยโพสฟอริกไดไฮโดรไลต์ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนค่าสี และความขุ่นเฉลี่ย ไม่ต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3 ประสิทธิภาพการบำบัด

การทดลองใช้สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิดได้แก่ สารส้ม โคโคซาน เฟอริกคลอไรด์ และ โพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น และความเป็นกรด - ด่าง ต่าง ๆ กัน ประสิทธิภาพในการบำบัดแสดงดังตารางที่ 4.6 – 4.9 ซึ่งค่าร้อยละของการขจัด (% Removal) ของค่า COD สี และ ความขุ่น มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\begin{array}{l} \% \text{ Removal} \\ \text{(Color)} \end{array} = \left\{ \frac{\text{ค่าสีของน้ำก่อนการบำบัด} - \text{ค่าสีของน้ำหลังการบำบัด}}{\text{ค่าสีของน้ำก่อนการบำบัด}} \right\} \times 100$$

$$\begin{array}{l} \% \text{ Removal} \\ \text{(ความขุ่น)} \end{array} = \left\{ \frac{\text{ค่าความขุ่นของน้ำก่อนการบำบัด} - \text{ค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัด}}{\text{ค่าความขุ่นของน้ำก่อนการบำบัด}} \right\} \times 100$$

$$\begin{array}{l} \% \text{ Removal} \\ \text{(COD)} \end{array} = \left\{ \frac{\text{ค่า COD ของน้ำก่อนการบำบัด} - \text{ค่า COD ของน้ำหลังการบำบัด}}{\text{ค่า COD ของน้ำก่อนการบำบัด}} \right\} \times 100$$

4.3.1 สารส้ม

การทดลองใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนในปริมาณเท่ากับ 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6, 7 และ 8 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้นและสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ต่างกัน

ความเป็นกรด - ด่าง	ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด (% Removal)			ความเป็นกรด - ด่าง หลังบำบัด
		COD	สี	ความขุ่น	
6.00	500	78.24	85.54	79.35	4.24
	800	74.54	79.38	48.82	4.10
	1000	81.48	82.00	27.73	3.97
7.00	500	78.24	76.24	65.94	5.21
	800	76.39	69.24	64.95	4.05
	1000	80.56	81.81	65.68	4.04
8.00	500	88.89	85.60	86.23	5.84
	800	90.28	90.31	79.20	4.08
	1000	93.52	83.97	57.75	4.05

4.3.1.1 ประสิทธิภาพในการขจัด COD (%COD Removal)

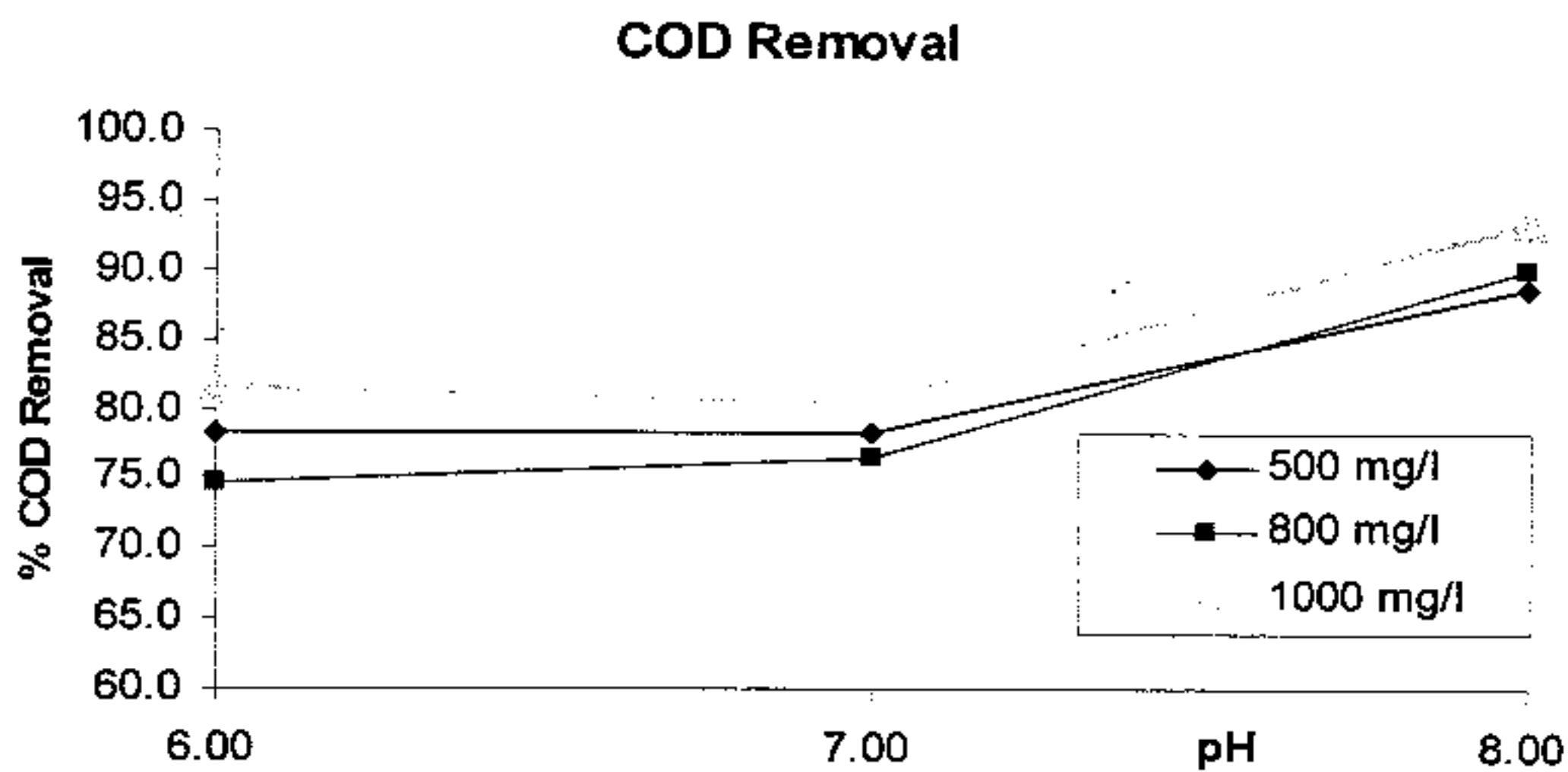
การทดลองใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่าสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัด COD เท่ากับ 93.52 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัด COD ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การบำบัดด้วยสารส้มสามารถลดปริมาณ COD ได้ ร้อยละ 78.24, 74.54 และ 81.48 ตามลำดับ

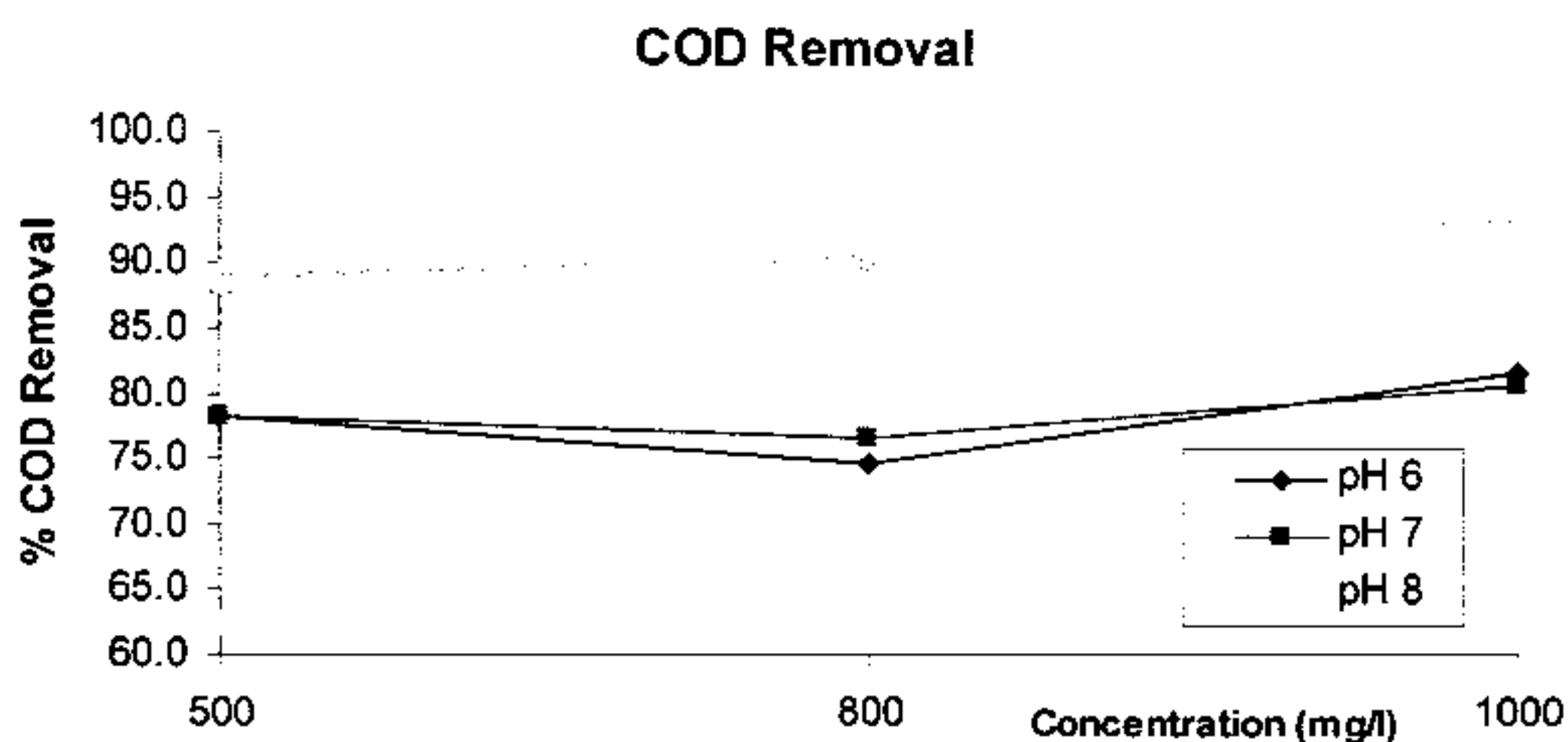
2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การบำบัดด้วยสารส้มสามารถลดปริมาณ COD ได้ ร้อยละ 78.24, 76.39 และ 80.56 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การบำบัดด้วยสารส้มสามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 88.89, 90.28 และ 93.52 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสีย เมื่อบำบัดด้วยสารส้มที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และความเข้มข้นของสารส้มที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

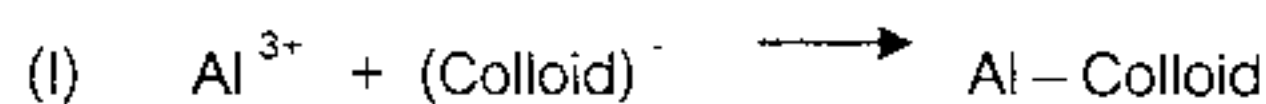


ภาพที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ของตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

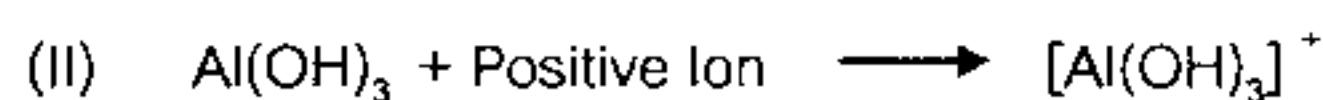
กระบวนการรวมกลุ่มตะกอนโดยใช้โลหะที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 3 เช่น Al^{3+} และ Fe^{3+} สามารถตกตะกอนคอลลอยด์ กลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ที่มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น แป้ง โปรตีน สบู่ และ ผงซักฟอก เป็นต้น (วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์, 2539: 161) รวมทั้งสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ที่ไม่ละลายน้ำนี้ จะเป็นสาเหตุของความขุ่นและสี ที่มีในน้ำเสีย เมื่อเกิดการรวมกลุ่มตะกอนกับโลหะที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 3 จะเกิดเป็นเกล็ดที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนออกมา กระบวนการรวมกลุ่มตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน อธิบายได้ดังนี้

เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำเสีย จะเป็นการเพิ่มปริมาณประจุบวกให้กับน้ำเสีย ประจุบวกที่เกิดขึ้นจะทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์โดยการทำให้ประจุสุทธิใน Diffuse Layer ของคอลลอยด์เป็นศูนย์ (Neutralize) ทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ลดลง แต่อนุภาคจะเข้ามาอยู่ใกล้กันได้มากขึ้น เกิดสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคและรวมกันเป็นกลุ่มใหญ่ขึ้น แล้วตกตะกอนได้มากขึ้น (Oasim et al, 2000: 230 - 235)

เมื่อเติมสารส้มลงไปในน้ำ โมเลกุลของสารส้มเกิดการแตกตัวเป็น Al^{3+} และ SO_4^{2-} และสารเชิงซ้อนที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เช่น $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ รวมตัวกันเป็นโซ่ยาวของ Polymeric Aluminium Hydroxide ที่มีประจุบวกมากขึ้น และเกิดการรวมตัวกับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ ทำให้ประจุบนอนุภาคคอลลอยด์เกิดการสะเทิน เกิด Agglomeration ของคอลลอยด์เป็นก้อนใหญ่ขึ้น นั่นคือ เกิดกระบวนการรวมกลุ่มตะกอน (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544: 95 - 98) โดยประจุบวกของอะลูมิเนียมจากสารส้ม สามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์ แล้วตกตะกอนดังสมการ ที่ 1

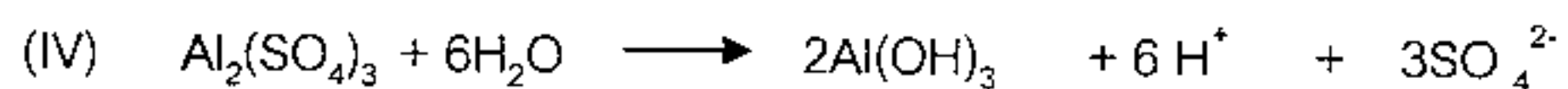


นอกจากนั้นสารส้มยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่มีในน้ำเกิดเป็นตะกอนเล็ก ๆ ของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ แล้วรวมตัวกับอนุภาคอื่น ๆ เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวก และไปจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ดังสมการที่ 2 และ 3



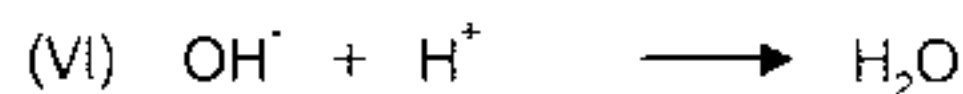
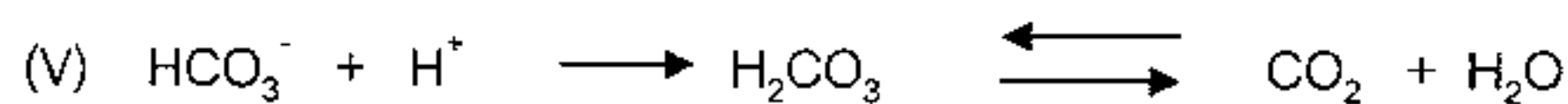
Al^{3+} มีประสิทธิภาพในการรวมตัวกับคออลลอยด์มากกว่า $[\text{Al}(\text{OH})_3]^+$ ดังนั้นจึงต้องมีการผสมเร็วทันทีที่เติมสารส้ม เพื่อให้เกิดการรวมกลุ่มตะกอนตามสมการที่ 1 มากที่สุด ก่อนที่สารส้มจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสมการที่ 2 และ 3

เมื่อพิจารณาถึงสภาวะความเป็นกรด - ด่าง (pH) และค่าความเป็นด่างในตัวอย่างน้ำเสีย อธิบายได้ดังนี้ เมื่อเติมสารส้มลงในตัวอย่างน้ำ สารส้มเกิดการละลายน้ำ และเกิด H^+ ทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง ลดลง ดังสมการที่ 4



เมื่อสารส้มละลายน้ำปริมาณ H^+ ที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างลดลง แล้วยังส่งผลต่อการเกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ นั่นคือ ถ้ามีปริมาณ H^+ มากจนถึงจุดที่ไม่เกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ กระบวนการเกิดการรวมตัวตามสมการที่ 2 และ 3 ก็จะไม่เกิดขึ้น

เมื่อในน้ำมีค่าความเป็นด่าง ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) จะช่วยทำลาย H^+ ดังสมการที่ 5 และ 6



ดังนั้น การปรับสภาวะความเป็นกรด - ด่างของตัวอย่างน้ำเสียก่อนทำการบำบัด เป็นการปรับค่าความเป็นด่างให้เหมาะสม เพื่อให้มีการสะเทิน H^+ ที่เกิดขึ้น

ค่า COD ที่มีในตัวอย่างน้ำเสียเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณ สารอินทรีย์ (ทั้งส่วนที่ละลายและไม่ละลายน้ำ) และปริมาณสารอินทรีย์บางส่วนที่สามารถออกซิไดส์ด้วยสารออกซิไดซ์อย่างแรงได้ การขจัด COD โดยการใช้สารส้มเป็นสารรวมกลุ่มตะกอน สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

จากภาพที่ 4.1 พบว่า ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 ประสิทธิภาพในการขจัด COD เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 74.54 เป็น 76.39 (ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) ช่วงความเป็นกรด - ด่างจาก 7 เป็น 8 ประสิทธิภาพในการขจัด COD เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 76.39 เป็น 90.28 (ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีแนวโน้มเดียวกันทุก

ความเข้มข้นที่ทำการทดสอบ ซึ่งเกิดจากในกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนของสารส้มนั้น การปรับสภาพน้ำให้มีสภาพเป็นด่าง ซึ่งเป็นการเพิ่มไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในการทำปฏิกิริยากับประจุบวก (ไฮโดรเจนไอออน) ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้ม ดังนั้น เมื่อความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณ OH^- ในน้ำ ทำให้เกิดเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$ ได้มากขึ้น แล้วเกิดการรวมตัวดังสมการที่ 2 และ 3 ได้มากขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัด COD จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติ ในภาคผนวก ข โดยพบว่าหลังการบำบัดด้วยสารส้มที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6 และ 7 ค่า COD เฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. > 0.05) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6 และ 8 ค่า COD เฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. < 0.05) และที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 7 และ 8 ค่า COD เฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. < 0.05)

จากภาพที่ 4.2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารส้มจาก 500 เป็น 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแต่ละสภาพความเป็นกรด - ด่าง ประสิทธิภาพของการขจัด COD ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการมีปริมาณประจุลบ (ความเป็นด่าง) คงที่ แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณประจุบวก (ปริมาณสารส้ม) มากขึ้นแต่สัดส่วนการทำปฏิกิริยายังคงที่ จึงทำให้ประสิทธิภาพคงที่เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติ ในภาคผนวก ข โดยพบว่าหลังการบำบัดด้วยสารส้มทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ค่า COD เฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. > 0.05)

4.3.1.2 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (Color Removal)

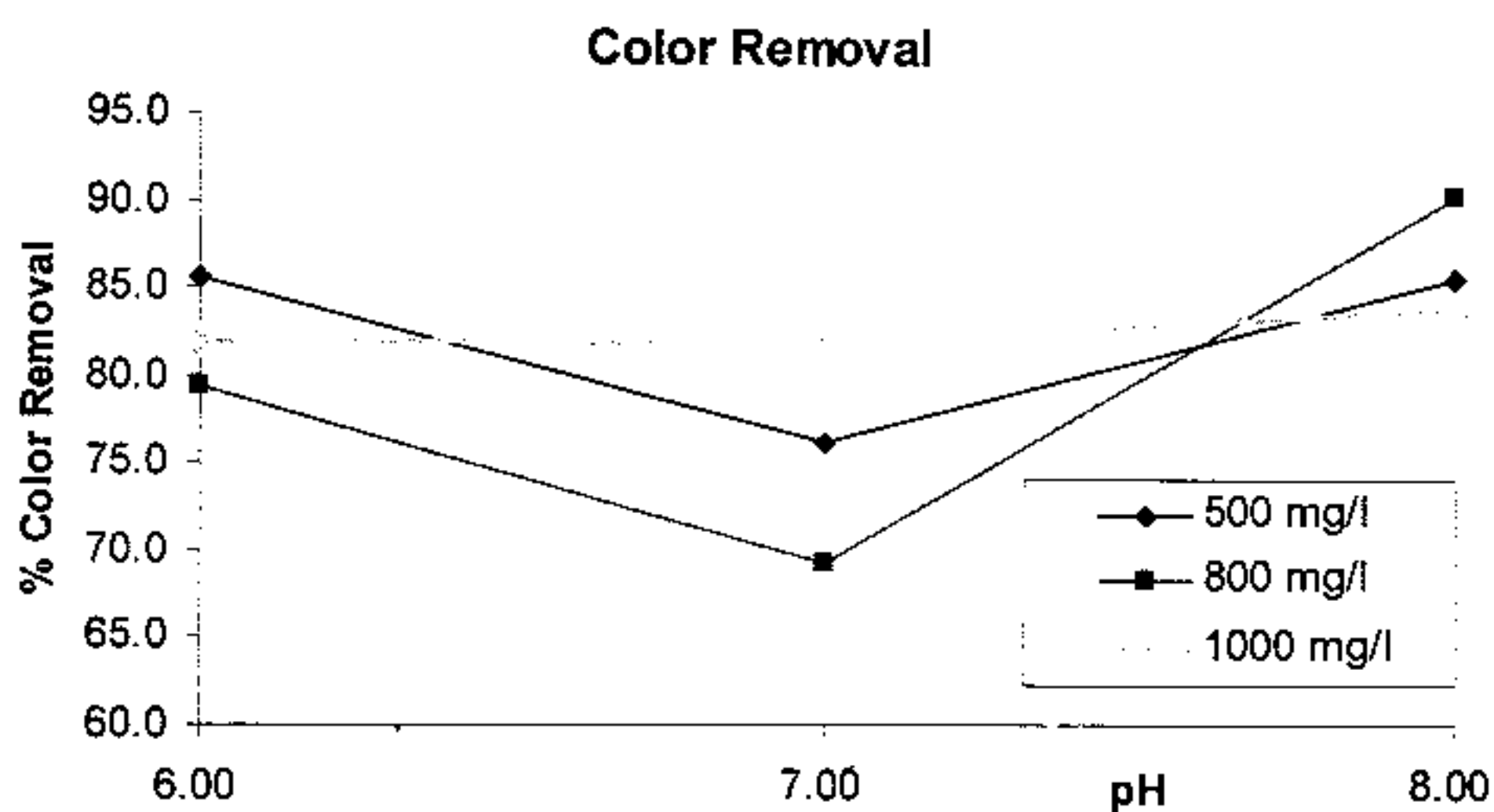
การทดลองใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่า สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดสี ในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดสีเท่ากับ 90.31 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัดสี ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 85.54, 79.38 และ 82.00 ตามลำดับ

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 76.24, 69.24 และ 81.81 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 85.60, 90.31 และ 83.97 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยสารส้มที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.3 และ 4.4

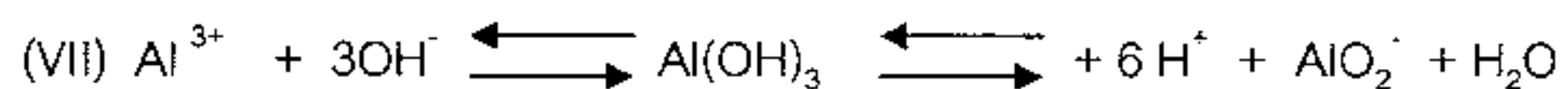


ภาพที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดค่าสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

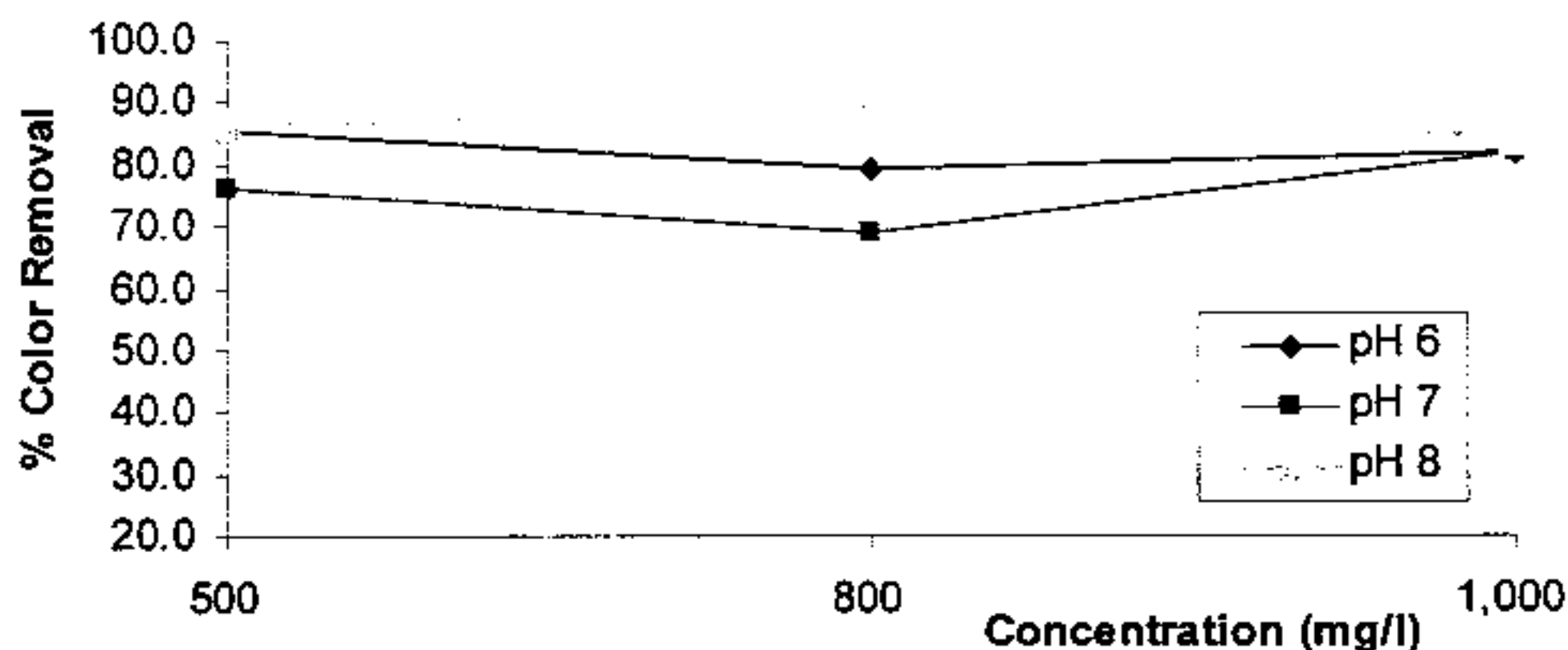
จากภาพที่ 4.3 พบว่า ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ประสิทธิภาพในการขจัดสีของสารส้มมีค่าต่ำสุด ซึ่งอาจเกิดจากการที่สภาวะดังกล่าวประจุบวกสุทธิที่จะใช้ในการทำลายเสถียรกับประจุลบของคอลลอยด์ในน้ำเสียนี้น้อย ไม่เพียงพอต่อการจับกับอนุภาคคอลลอยด์ จึงไม่เกิดการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ ทำให้เกิดการตะกอนได้น้อยลง ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดสี ยังคงเหลืออยู่ในน้ำเสียมากกว่าที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6 และ 8 ที่มีประจุบวกสุทธิมากกว่า จึงทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดี การเพิ่มขึ้นของปริมาณประจุบวกสุทธิที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 และ 8 อธิบายได้ดังนี้ ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ปริมาณประจุบวกเกิดจาก Al^{3+} (จากการละลายของสารส้ม) H^+ (จากสภาวะที่เป็นกรด) และ $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้มและ

ที่ความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 8 ปริมาณประจุบวกเกิดจาก Al^{3+} (จากการละลายของสารส้ม) $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้ม $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรักษาสมดุลการละลายของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง (มี OH^-) เพิ่มขึ้น

การรักษาสมดุลการละลายของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็น Amphoteric Hydroxide คือสามารถละลายน้ำได้ทั้งในสภาวะกรดและด่าง ดังสมการที่ 7 โดย $\text{Al}(\text{OH})_3$ จะสามารถละลายได้ที่ความเป็นกรด - ด่างน้อยกว่า 5 และ มากกว่า 7 นั่นคือ $\text{Al}(\text{OH})_3$ อยู่ในสภาวะอิ่มตัว (ไม่ละลาย) ที่ความเป็นกรด - ด่าง 5 – 7 (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544: 100 - 102) ดังนั้นที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6 ปริมาณ H^+ ที่มีจะทำให้เกิดการปรับสมดุลของการละลายโดยจะเกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ มากขึ้นทำให้เกิดการรวมกลุ่มตะกอนตามสมการที่ 2 และ 3 ได้มากขึ้น และที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ปริมาณ OH^- ที่มีจะทำให้เกิดการปรับสมดุลของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ เช่นเดียวกับที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6



Color Removal



ภาพที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดค่าสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

สีในน้ำเป็นผลจากการเกิดจากการสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ ซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบเมื่อสลายตัวจะให้สารพวกแทนนิน กรดฮิวมิก และ ฮิวเมตซึ่งเป็นสารที่มีสี หรือสีที่มี

ในน้ำอาจเกิดจากการมีอิออนของโลหะ (เหล็ก และ แมงกานีส) แพลงตอน และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เป็นต้น สีที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่เป็นพวกคอลลอยด์ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525: 57) กรณีตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบที่ทำการศึกษานี้ สีของน้ำตัวอย่างอาจมีทั้งคอลลอยด์ที่มีสี และสีที่เกิดจากการละลายของสิ่งเจือปนอื่น ๆ การใช้อิออนโลหะที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 3 เช่น สารส้มและเพอร์ริกคลอไรด์ จะสามารถทำลายเสถียรของอิออนลบของคอลลอยด์ที่มีในน้ำเสียแล้วเกิดการรวมตัวและตกตะกอนได้ กระบวนการในการขจัดสี ของสารส้มสามารถอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับกระบวนการขจัด COD

จากภาพที่ 4.4 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดสีของสารส้มที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด – ด่าง ที่ศึกษามีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากมี OH^- คงที่ แม้ว่าจะมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน (การเพิ่มปริมาณประจุบวก) เข้าไปในน้ำเสีย แต่สัดส่วนการทำปฏิกิริยายังคงที่ ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติ ในภาคผนวก ข โดย พบว่า หลังการบำบัดด้วยสารส้มทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ค่าสีเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. > 0.05)

4.3.1.3 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น (Turbidity Removal)

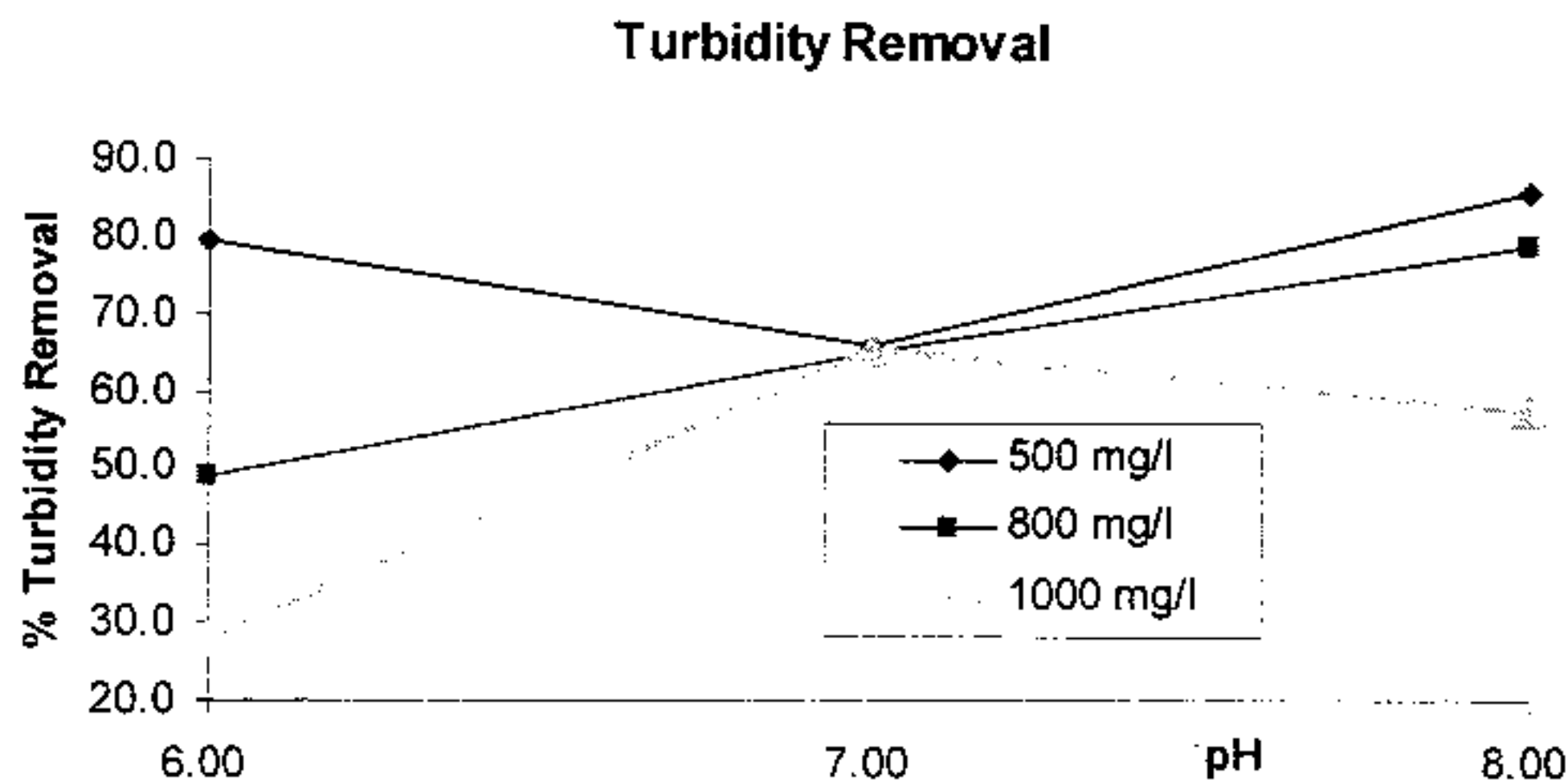
การทดลองใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่า สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดความขุ่น เท่ากับ 86.23 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัดความขุ่น ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 79.35, 48.82 และ 27.73 ตามลำดับ

2) ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 65.94, 64.95 และ 65.68 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 86.23, 79.20 และ 57.75 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.5 และ 4.6



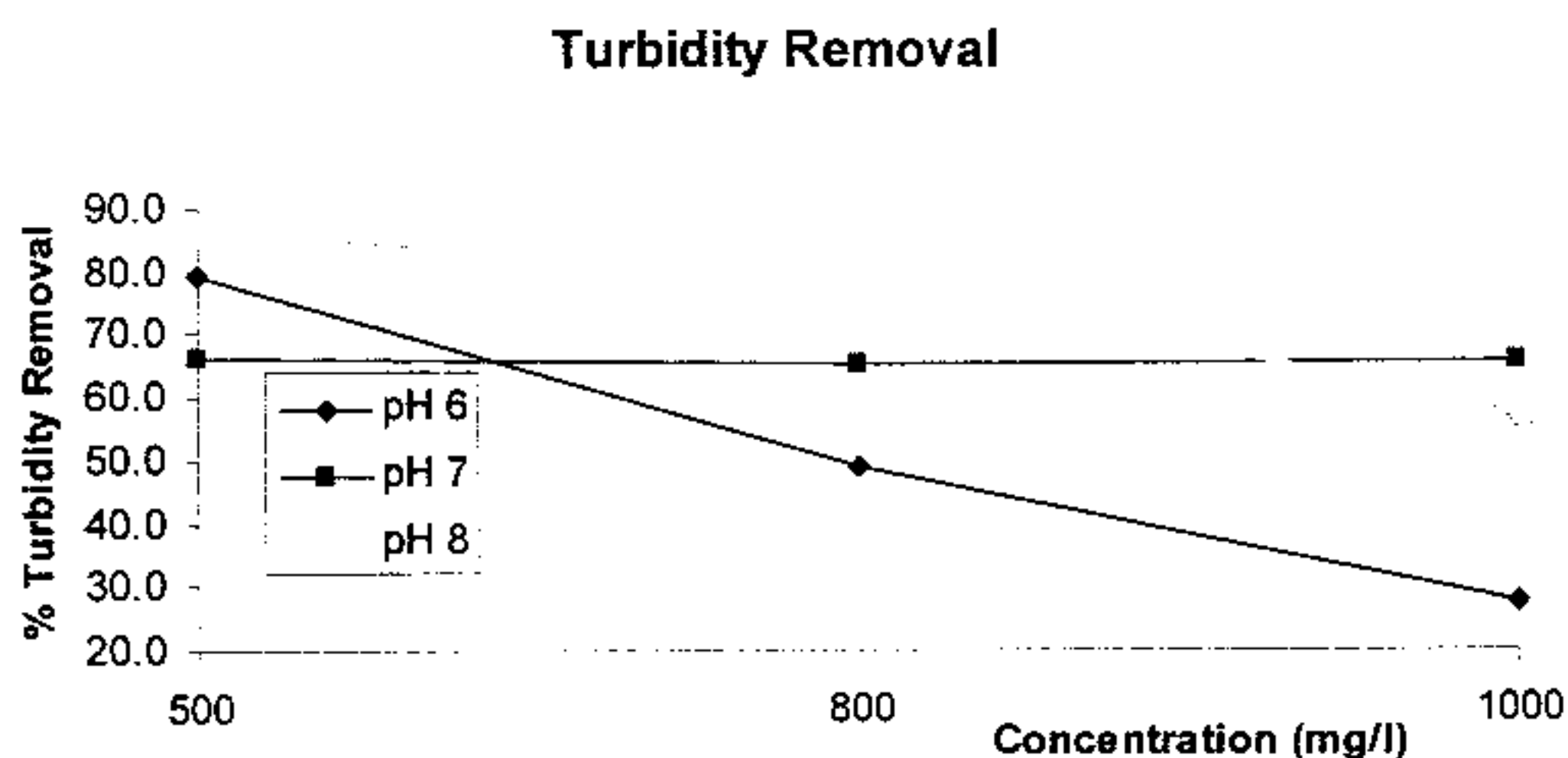
ภาพที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นมีค่าต่ำสุด เนื่องจากประจุบวกคงเหลือในน้ำเสียน้อยไม่เพียงพอต่อการจับกับอนุภาคคอลลอยด์ เพราะไม่มีการเพิ่มปริมาณของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่เกิดจากการปรับสมดุลของการละลาย การเกิดการรวมกลุ่มตะกอนจึงน้อยกว่าที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6 และ 8 ซึ่งมีประจุบวกสุทธิมากกว่า โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ปริมาณประจุบวกเกิดจาก Al^{3+} (จากการละลายของสารส้ม) H^+ (จากสภาวะที่เป็นกรด) และ $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้ม และที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ปริมาณประจุบวกเกิดจาก Al^{3+} (จากการละลายของสารส้ม) $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้ม $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรักษาสสมดุลการละลายของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง (มี OH^-) เพิ่มขึ้น

ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ซึ่งเกิดจากการที่เมื่อเพิ่มปริมาณ OH^- จะเกิดการสะเทิน H^+ ที่

เกิดจากการละลายของสารส้ม จึงทำให้เกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ มากขึ้น การรวมกลุ่มตะกอนตามสมการที่ 2 และ 3 จึงเพิ่มขึ้น เมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น

ส่วนที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 เป็นสภาวะที่มีประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นสูงกว่าที่ ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 และ 8 เนื่องจากที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 เป็นจุดที่มีปริมาณประจุบวกสุทธิเหมาะสมต่อการทำลายเสถียรของประจุลบที่มีในอนุภาคคอลลอยด์ (มีเพียง Al^{3+} จากการละลายของสารส้ม) และ $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำ) ส่วนที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 และ 8 มีปริมาณประจุบวกสุทธิมากเกินไป โดยที่ ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 มีปริมาณประจุบวกที่เกิดจาก Al^{3+} (จากการละลายของสารส้ม) H^+ (จากสภาวะที่เป็นกรด) และ $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้ม และที่ ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 มีปริมาณประจุบวกที่เกิดจาก Al^{3+} (จากการละลายของสารส้ม) $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรวมตัวกับ OH^- ของอนุพันธ์ที่เกิดจากการละลายน้ำของสารส้ม $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ ที่เกิดจากการรักษาสสมดุลการละลายของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง (มี OH^-) เพิ่มขึ้นจากการมีปริมาณประจุบวกในปริมาณมากดังกล่าว ทำให้มากเกินไปในการทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ที่ในน้ำเสีย ประจุบวกส่วนที่เหลือจึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุ ทำให้ความขุ่นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นจึงลดลง



ภาพที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารส้ม ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.6 พบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสีย ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 และ 8 มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการมีประจุบวกของสารเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมมากเกินไป ทำให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักแยกออกจากกัน และไม่เกิดการรวมกลุ่มตะกอน จึงทำให้น้ำขุ่นมากขึ้น ส่วนสภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 แนวโน้มของประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นมีค่าคงที่ ซึ่งเกิดจากที่สภาวะดังกล่าว ไม่มีการรบกวนสมดุลการละลายของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ด้วย OH^- และ H^+ ทำให้ไม่เกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ เพิ่มขึ้น การรวมกลุ่มตะกอนกับอนุภาคคอลลอยด์จึงคงที่

การบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยสารส้ม น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณลักษณะทางกายภาพคือ ใส มีปริมาณกากตะกอนมาก การบรรจุตัวของตะกอนไม่แน่น ฟุ้งง่าย สภาพความเป็นกรด - ด่าง (pH) มีความเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.0 – 5.8) ซึ่งเกิดจากเมื่อสารส้มละลายน้ำ จะเกิด H^+ ทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง ลดลง

ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำที่ผ่านการบำบัด ให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง ก่อนนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ

เมื่อแยกพิจารณาในค่าประสิทธิภาพการบำบัด COD สี และความขุ่น ของตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ที่บำบัดด้วยสารส้มพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการขจัด COD คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง (pH) เท่ากับ 8 ความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดสี คือ ที่ pH 8 ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร และ สภาวะที่เหมาะสมในการขจัด ความขุ่น คือ ที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงอาจกล่าวได้ว่าที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ด้วยสารส้ม ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา (500 – 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมของการบำบัด สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถขจัดได้ทั้ง COD สี และความขุ่น คือ ที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถขจัด COD สี และความขุ่น ได้ร้อยละ 88.89, 85.60 และ 86.23 ตามลำดับ และน้ำเสียหลังการบำบัดที่สภาวะนี้มีค่าความเป็นกรด - ด่าง เฉลี่ยเท่ากับ 5.84 ซึ่งเป็นกรดเล็กน้อยจึงต้องมีการปรับคุณภาพน้ำตัวอย่างให้เป็นกลางด้วยด่าง ก่อนนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

4.3.2 ไคโตซาน

การทดลองใช้ไคโตซานเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนในปริมาณเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4, 5 และ 6 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียด้วยไคโตซาน ที่ความเข้มข้นและสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ต่างกัน

ความเป็นกรด - ด่าง	ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด (% Removal)		ความเป็นกรด - ด่างหลังบำบัด
		สี	ความขุ่น	
4.00	60	44.44	69.20	0.59
	80	41.88	69.51	0.66
	100	44.37	67.15	1.21
5.00	60	46.53	63.41	0.59
	80	40.64	73.81	0.48
	100	39.66	71.91	0.40
6.00	60	44.50	63.78	0.73
	80	59.10	69.13	0.60
	100	53.53	67.43	0.47

4.3.2.1 ประสิทธิภาพในการขจัด COD (COD Removal)

การทดลองใช้ไคโตซานเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน ไม่สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการขจัด COD ได้ เนื่องจากพบว่าน้ำหลังการบำบัดมีปริมาณ COD เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการใช้ 5 % HCl ในการละลายไคโตซาน ปริมาณคลอไรด์ที่มีรบกวนการทดสอบ COD โดยมีผลการศึกษาดังนี้

- 1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของไคโตซานเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณ COD เพิ่มขึ้นเป็น 897, 794.25 และ 382.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจากค่า COD ก่อนการทดสอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณ COD เพิ่มขึ้น 820.50, 1,200.50 และ 2,341.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณ COD เพิ่มขึ้น 479.75, 948.50 และ 1335.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.3.2.2 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (Color Removal)

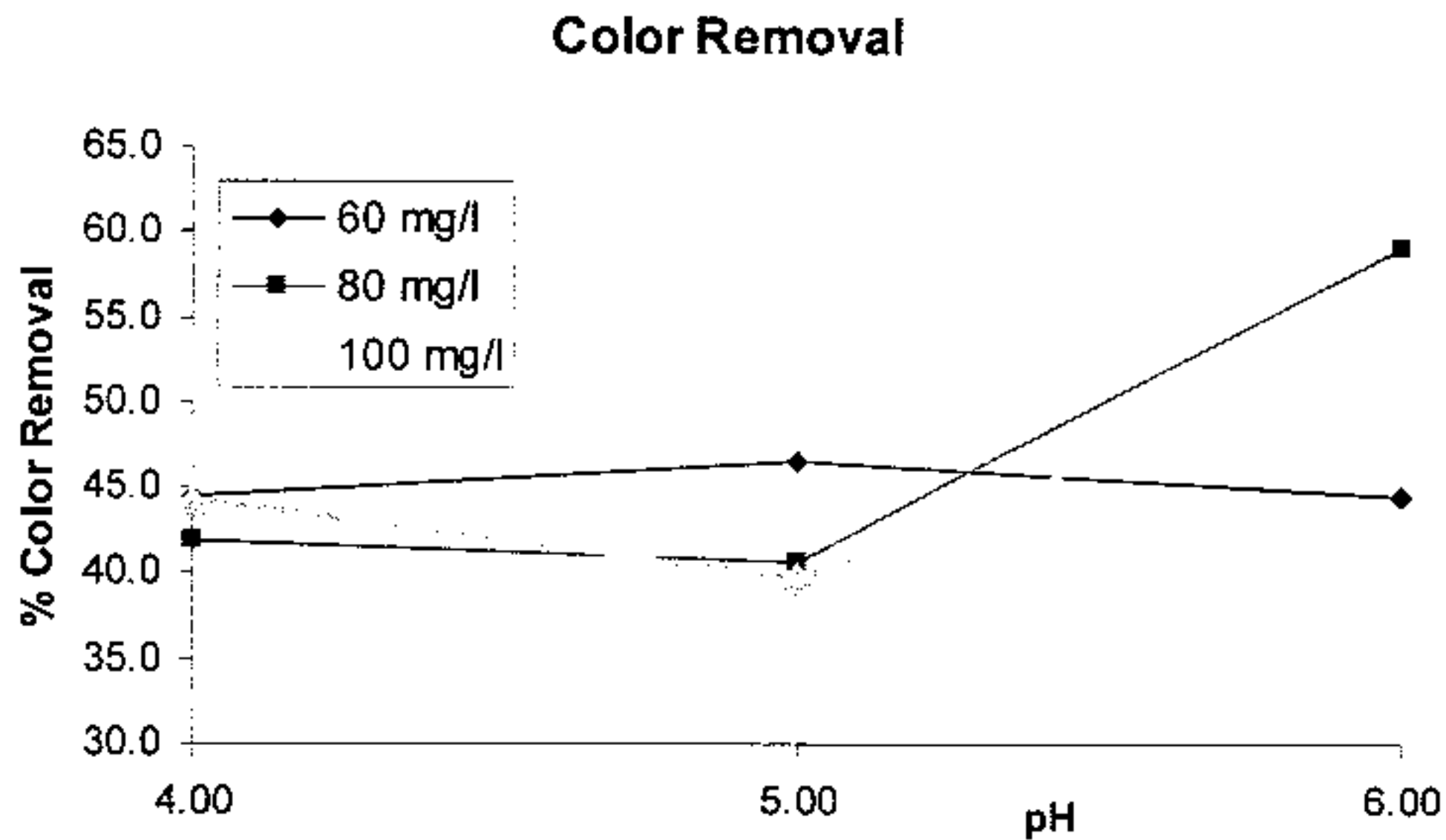
การทดลองใช้โคโคซานเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนพบว่า สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดสีเท่ากับ 59.10 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัดสี ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 44.44, 41.88 และ 44.37 ตามลำดับ

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 46.53, 40.64 และ 39.66 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโคโคซาน เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 44.50, 59.10 และ 53.53 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยโคโคซาน ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ต่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.7 และ 4.8

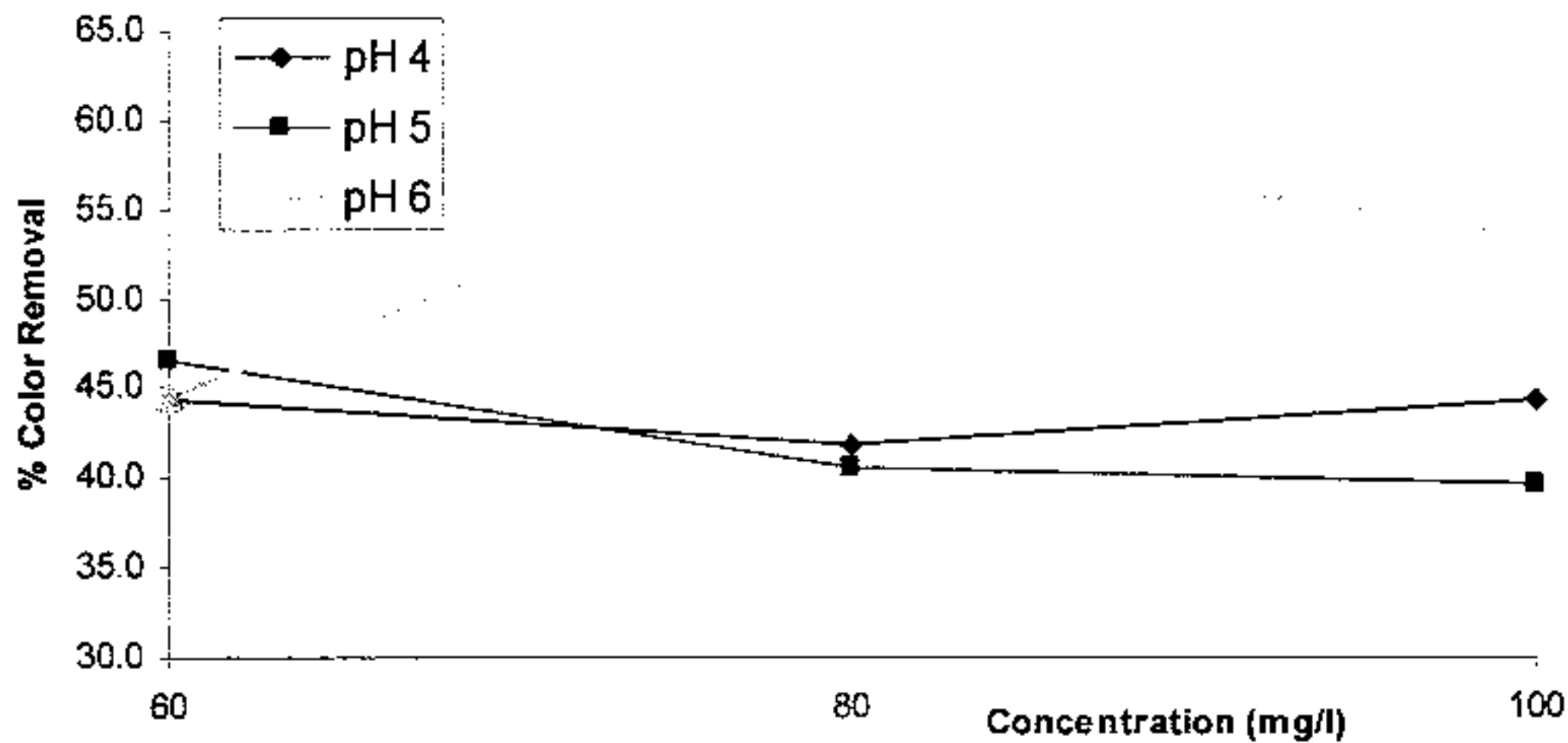


ภาพที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดค่าสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยไคโตซาน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

ไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ประจุบวกจากธรรมชาติ ที่มีสายโซ่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนได้ง่าย และในการเตรียมสารละลายไคโตซานที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ต้องละลายในสารละลายกรด จึงเป็นการเพิ่มปริมาณประจุบวกในสารละลายมากขึ้น

จากภาพที่ 4.7 พบว่า สภาพความเป็นกรด - ด่าง เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งเกิดจาก เมื่อเพิ่มสภาพความเป็นกรด - ด่าง ก็คือ การเพิ่มค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) หรือประจุลบ (ไฮดรอกไซด์ไอออน) ให้กับน้ำเสีย ทำให้เกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่มากในสารละลายไคโตซาน ทำให้ประจุบวกสุทธิมีความเหมาะสมต่อการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดสี ตกตะกอนได้เพิ่มขึ้น เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ส่วนที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตรประสิทธิภาพในการขจัดสีมีแนวโน้มคงที่ แม้ว่าค่าความเป็นกรด - ด่าง จะเพิ่มขึ้น เกิดจากที่ความเข้มข้นนี้ ปริมาณประจุบวกที่มี ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับประจุลบที่มีในอนุภาคคอลลอยด์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดค่าสีคงที่

Color Removal



ภาพที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดค่าสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโคโตซาน ที่ความเป็นกรด - ด่างต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.8 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโคโตซานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดสีของโคโตซานที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4 และ 5 มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งเกิดจาก เมื่อค่าความเป็นด่างคงที่ แต่มีการเพิ่มปริมาณโคโตซาน ซึ่งก็คือการเพิ่มประจุบวก (จากไฮโดรเจนไอออนและโคโตซาน) ให้กับน้ำเสีย แต่ปริมาณไอออนลบ (จากไฮดรอกไซด์ไอออน และคอลลอยด์) มีปริมาณคงที่ ทำให้การทำลายความเสถียรของคอลลอยด์เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดความขุ่นไม่ตกตะกอนเพิ่มขึ้น แม้ว่าความเข้มข้นของโคโตซานจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ส่วนที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6 เมื่อความเข้มข้น 60 เป็น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัดสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประจุบวกที่จะทำให้เกิดการรวมกลุ่มตะกอนกับอนุภาคคอลลอยด์ เมื่อความเข้มข้น 80 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัดสีลดลง เกิดจากการมีปริมาณประจุบวกมากเกินไป มากเกินไปในการทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ที่ในน้ำเสีย จึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุ ทำให้ค่าสีเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดสีจึงลดลง

4.3.2.3 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น (Turbidity Removal)

การทดลองใช้โคโตซานเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนพบว่า สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความ

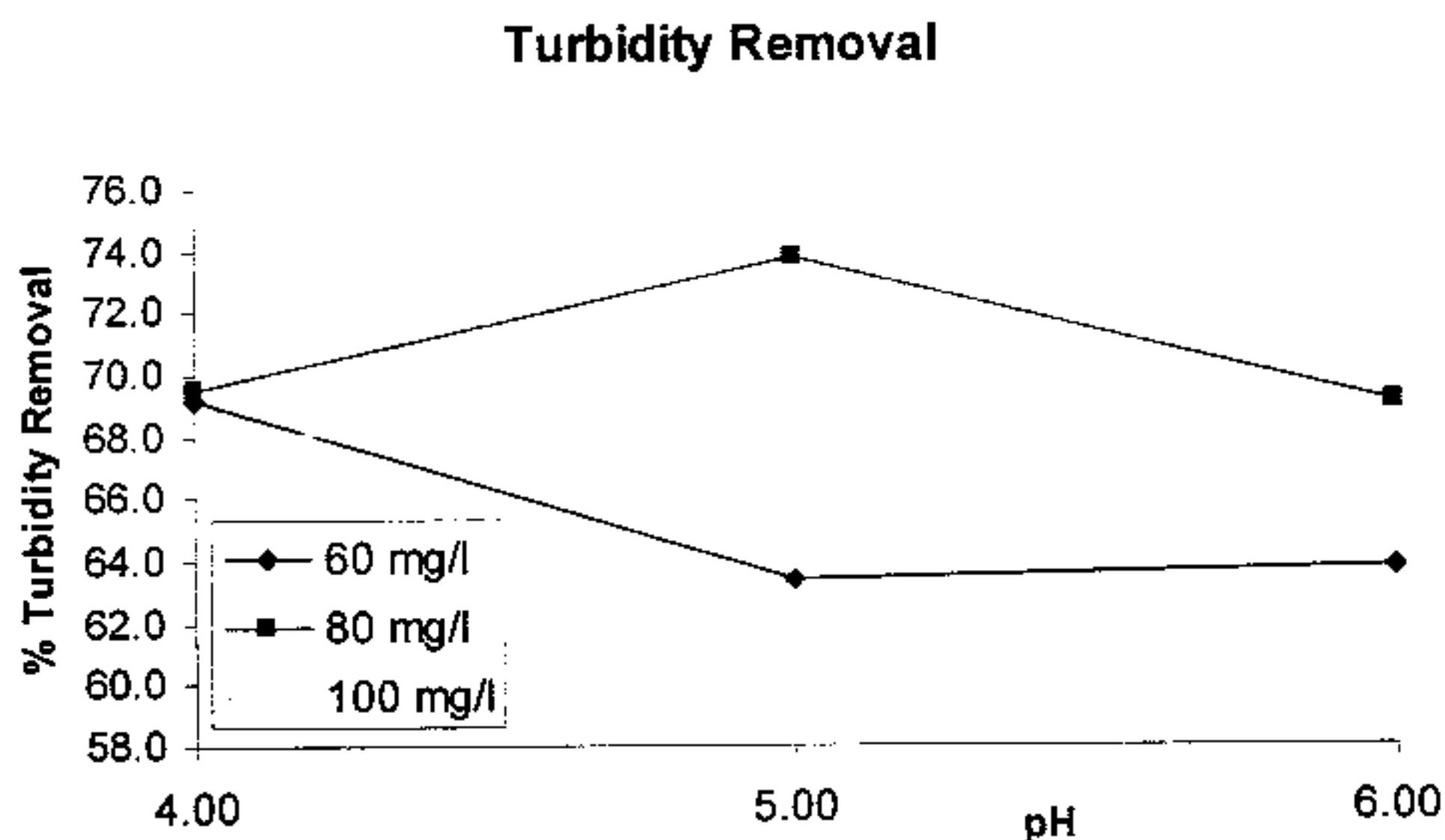
เป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดความขุ่นเท่ากับ 73.81 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัดความขุ่น ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 69.20, 69.51 และ 67.15 ตามลำดับ

2) ที่ สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 63.41, 73.81 และ 71.91 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 63.78, 69.13 และ 67.43 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดความขุ่นของโคโคซาน ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ต่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.9 และ 4.10

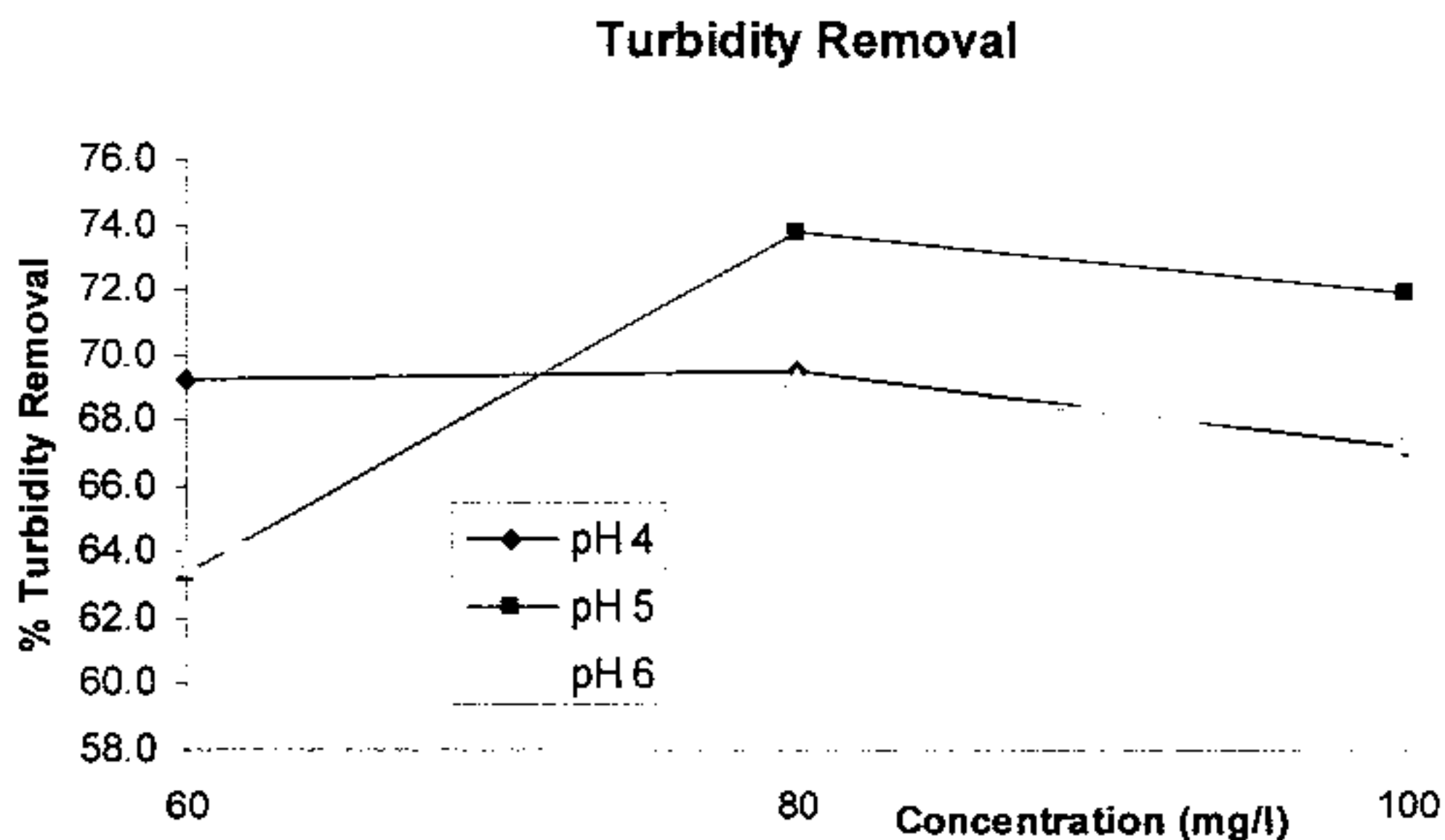


ภาพที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยโคโคซาน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ต่าง (pH) เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.9 พบว่า ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยโคโคซาน ที่ความเข้มข้น 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สภาวะความเป็น

กรด - ด่าง เท่ากับ 5 ซึ่งที่สภาวะดังกล่าว เป็นสภาวะที่มีปริมาณประจุบวกสุทธิที่เหมาะสมในการทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4 เป็นสภาวะที่ไม่มีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) หรือประจุลบ (ไฮดรอกไซด์ไอออน) ในน้ำเสีย จึงทำให้ปริมาณประจุบวก (จากไฮโดรเจนไอออนและโคโคซาน) มากเกินกว่าปริมาณประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้มีไอออนบวกคงเหลือในปริมาณมาก เกิดแรงผลักระหว่างประจุ ทำให้ความขุ่นไม่ลดลง ส่วนที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6 เป็นสภาวะที่มีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) มากเกินไปทำให้เหลือประจุบวกที่จะทำลายเสถียรของคอลลอยด์ไม่เพียงพอ และตกตะกอนได้น้อยลง ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นจึงลดลงเช่นเดียวกับที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4

ที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่าง เพิ่มขึ้น จาก 4 เป็น 5 เนื่องจาก ที่ความเข้มข้นนี้เป็นสภาวะที่โคโคซานมีประจุบวกสุทธิ ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับประจุลบที่มีในอนุภาคคอลลอยด์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4 เป็นสภาวะที่ไม่มีค่าความเป็นด่าง ประจุบวกที่เกิดจากการละลายของโคโคซานทั้งหมด จึงเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดค่าสูงกว่ที่ เมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 5 และ 6 ที่ประจุบวกบางส่วนต้องใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับ OH^- ที่มีในตัวอย่างน้ำเสีย



ภาพที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโคโคซาน ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.10 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโคโคซาน ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นสูงสุด ที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดจากการที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสภาวะที่มีปริมาณประจุบวกสุทธิที่เหมาะสมในการทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ ส่วนที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสภาวะที่มีประจุบวกไม่เพียงพอที่จะทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ตกตะกอนได้น้อย ส่วนที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสภาวะที่มีประจุบวกมากเกินไป ทำให้เหลือประจุบวกในน้ำเสียมาก เกิดแรงผลักระหว่างประจุ และเกิดการรวมกลุ่มตะกอนได้น้อยลง

การบำบัดด้วยน้ำเสียด้วยโคโคซาน น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณลักษณะทางกายภาพคือค่อนข้างใส มีปริมาณตะกอนน้อย การบรรจุตัวของตะกอนแน่น เกิดจากการที่โคโคซานซึ่งเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้ว ทำให้เกิดการตกตะกอนได้เร็ว สภาพน้ำหลังการบำบัดมีค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 ซึ่งเกิดจากการละลายโคโคซานที่ใช้ เตรียมโดยการละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์ (5% HCl) ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงวิธีการละลายโคโคซานด้วยวิธีอื่น ๆ ที่ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังการบำบัด หรือทดสอบการรวมกลุ่มตะกอนในช่วงความเป็นกรด - ด่าง ที่สูงขึ้น เพื่อให้บำบัดด้วยน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ (Alkalinity) เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับน้ำที่ผ่านการบำบัดในครั้งนี้ ต้องมีการปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง ให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง ก่อนนำไปใช้ในงานกิจกรรมต่าง ๆ

สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดสี ในน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดสีเท่ากับ 59.10

สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดความขุ่นในน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของโคโคซานเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดความขุ่นเท่ากับ 73.81

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โคโคซานมีประสิทธิภาพในการขจัดทั้งสีและความขุ่น เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพรวม พบว่า สภาวะที่สามารถขจัดทั้งสีและความขุ่น คือ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถขจัดสีและความขุ่นได้ร้อยละ 59.10 และ 69.13 ตามลำดับ

4.3.3 เฟอริกคลอไรด์

การทดลองใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนในปริมาณเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8, 9 และ 10 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยเฟอริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น และสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ต่างกัน

ความเป็นกรด - ด่าง	ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด (% Removal)			ความเป็นกรด - ด่างหลังบำบัด
		COD	สี	ความขุ่น	
8.00	500	80.56	77.36	-11.09	2.79
	800	76.39	23.56	-109.77	2.44
	1000	88.89	-32.20	-109.77	2.30
9.00	500	97.69	71.79	48.59	2.84
	800	94.91	17.02	54.29	2.39
	1000	87.50	-49.02	4.61	2.27
10.00	500	100.00	84.23	60.29	4.56
	800	89.81	22.84	-195.39	2.51
	1000	89.35	-41.69	-484.12	2.33

4.3.3.1 ประสิทธิภาพในการขจัด COD (COD Removal)

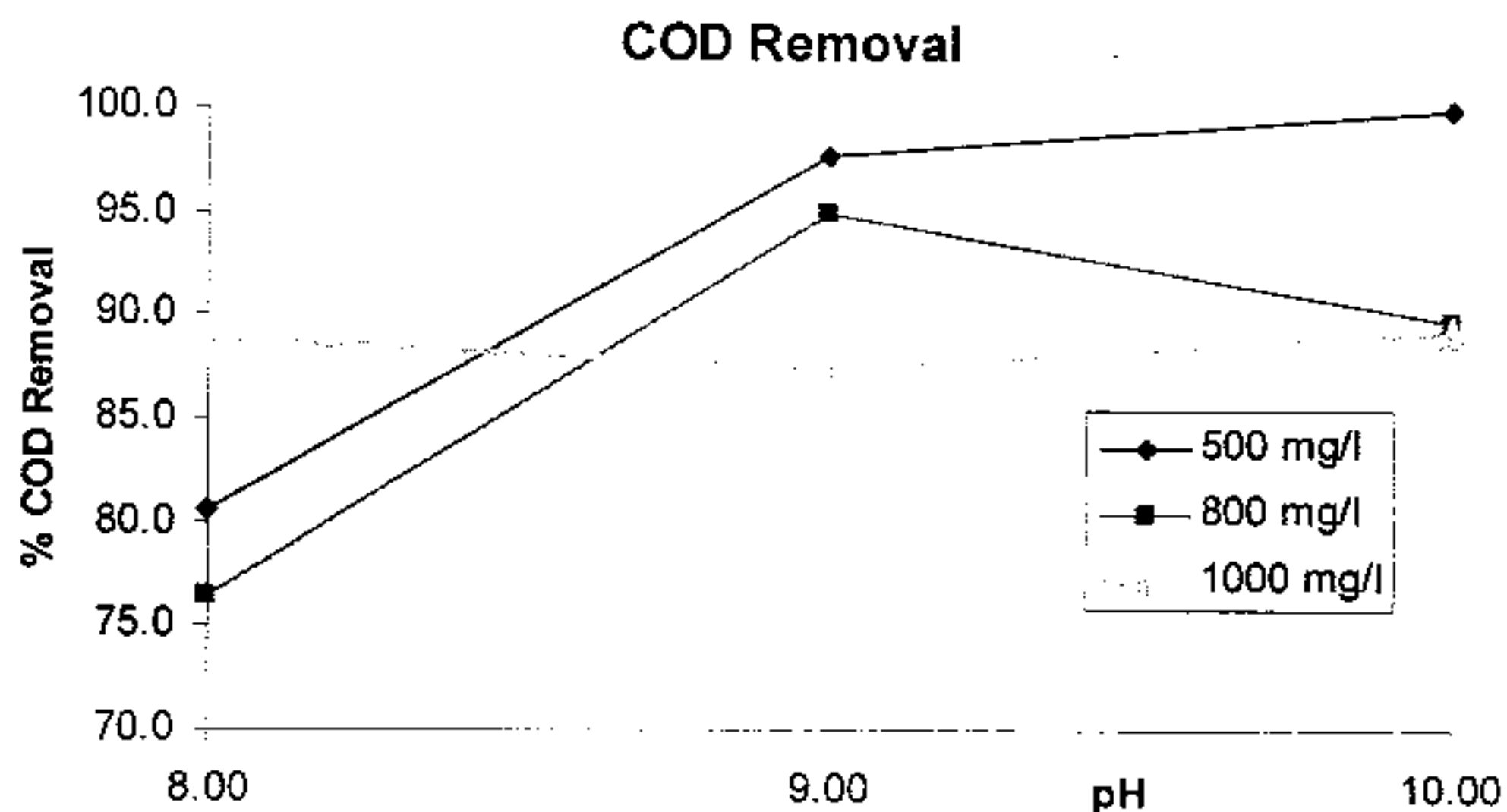
การทดลองใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่าสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัด COD เท่ากับ 100.00 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของ ร้อยละการขจัด COD ดังนี้

- 1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 80.56, 76.39 และ 88.89 ตามลำดับ

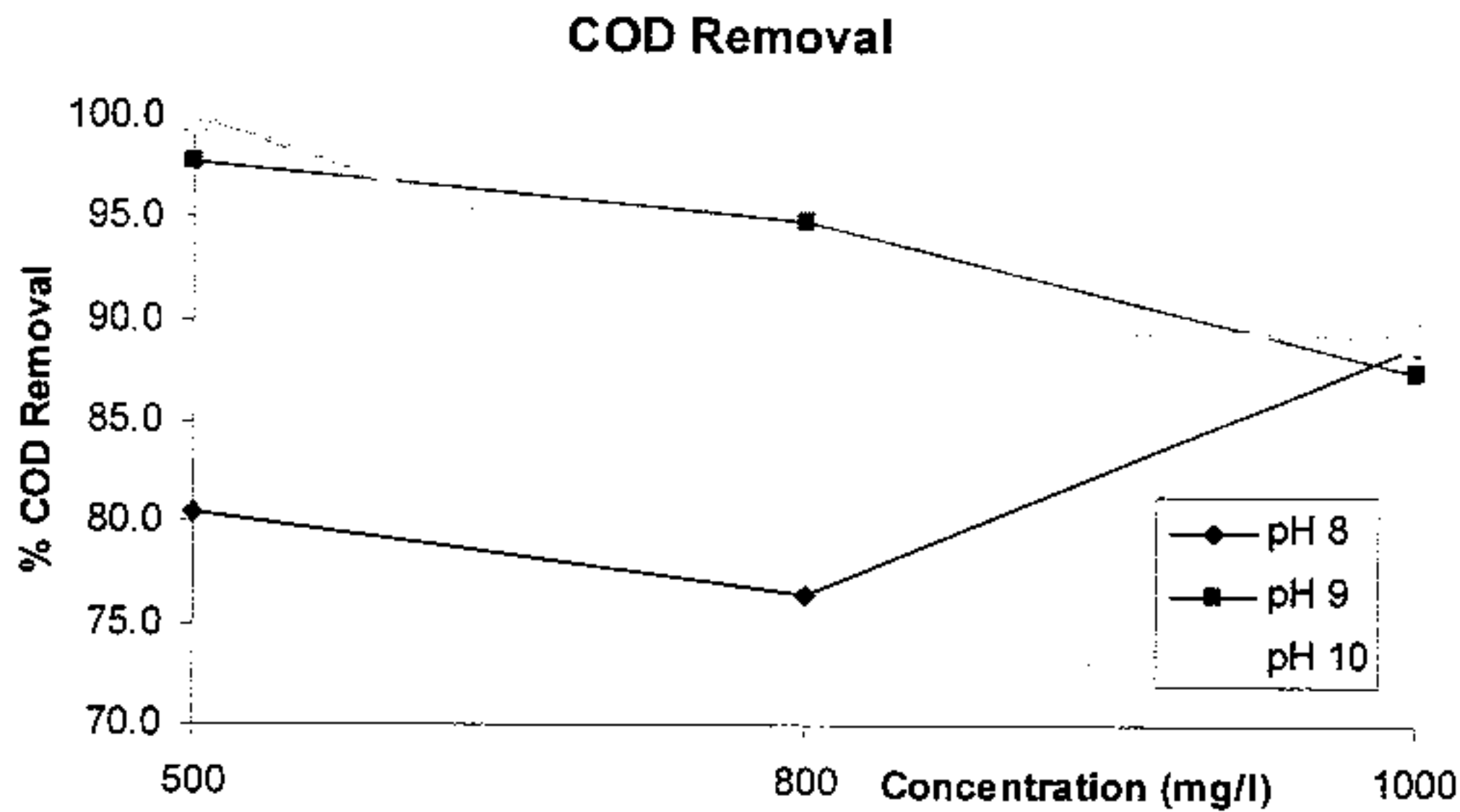
2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 97.69, 94.91 และ 87.50 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 100.00, 89.81 และ 89.35 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัด COD ของเฟอริกคลอไรด์ ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.11 และ 4.12



ภาพที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

กระบวนการรวมกลุ่มตะกอน เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน มีกระบวนการและปฏิกิริยาคู่คล้ายกับการใช้สารส้มเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน ต่างกันที่เฟอร์ริกคลอไรด์จะมีสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ต่ำกว่าสารส้ม

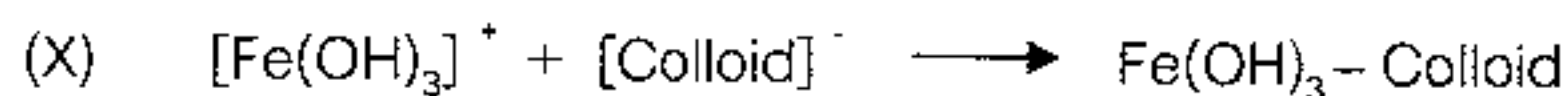
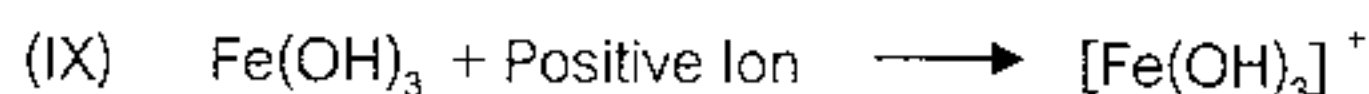
กระบวนการรวมกลุ่มตะกอนเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้

เมื่อเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ลงไปน้ำ โมเลกุลของเฟอร์ริกคลอไรด์เกิดการแตกตัวเป็น Fe^{3+} และ Cl^- และสารเชิงซ้อนที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของเฟอร์รัส เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ รวมตัวกันเป็นโซ่ยาวของ Polymeric Ferrous Hydroxide ที่มีประจุบวกมากขึ้น และรวมตัวกับคอลลอยด์ที่มีประจุลบ ทำให้ประจุบนอนุภาคคอลลอยด์เกิดการสะเทิน เกิด Agglomeration ของคอลลอยด์เป็นก้อนใหญ่ขึ้น

ประจุบวกของเฟอร์ริกคลอไรด์ สามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์ แล้วตกตะกอนดังสมการ



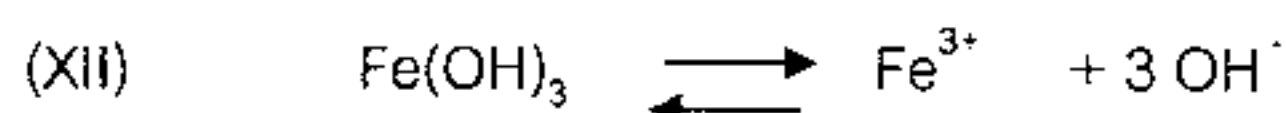
เฟอริกคลอไรด์สามารถทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่มีในน้ำได้ เช่นเดียวกันกับสารส้ม เกิดเป็นตะกอนเล็ก ๆ ของ Fe(OH)₃ แล้วรวมตัวกับอนุภาคอื่น ๆ เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวก และไปจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ดังสมการที่ 9 และ 10



เมื่อเฟอริกคลอไรด์ ละลายน้ำจะเกิด H⁺ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลง ดังสมการที่ 11



เพื่อให้มีการสะเทิน H⁺ ที่เกิดขึ้นจึงต้องมีการเพิ่มความเป็นด่าง (ปรับสภาวะความเป็นกรด - ด่าง) ของน้ำเสียที่จะทำการบำบัดให้เหมาะสม และ Fe(OH)₃ มีคุณสมบัติเป็น Amphoteric Hydroxide โดยมีช่วงของสมดุลง่ายในการละลายที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง ช่วง 4 – 8 นั่นคือ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง น้อยกว่า 4 และมากกว่า 8 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อรักษาสมดุลง่ายดังสมการที่ 12 (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544: 100 - 102)



จากภาพที่ 4.11 พบว่า ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัด COD ของเฟอริกคลอไรด์ เพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่มีปริมาณประจุบวกสุทธิเหมาะสมกับปริมาณค่าความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้น

ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มความเป็นกรด - ด่าง เพิ่มจาก 8 เป็น 9 ประสิทธิภาพในการขจัด COD เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมี OH⁻ เพิ่มขึ้น ทำให้การทำลายเสถียรระหว่างประจุลบสัมพันธ์กับปริมาณประจุบวกที่เกิดจากการละลายของเฟอริกไฮดรอกไซด์ ส่วนที่ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 10 เป็นสภาวะที่มี OH⁻ มากเกินไปทำให้รบกวนสมดุลง่ายการละลายของ Fe(OH)₃ ดังสมการที่ 12 และเกิดปริมาณประจุบวกตามสมการที่ 9 มากขึ้น ทำให้มีประจุบวกมากเกินไปที่จะใช้ในการทำลายเสถียรไอออนลบของคอลลอยด์ ประจุบวกส่วนที่เหลือจึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุและเกิดการรวมกลุ่มตะกอนได้น้อยลง

ส่วนที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มความเป็นกรด - ด่าง ประสิทธิภาพในการขจัด COD ค่อนข้างคงที่ เกิดจากการที่เมื่อมีปริมาณไฮดรอกไซด์ของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์มากเกินไปปริมาณไฮดรอกไซด์ของคอลลอยด์ ทำให้มีประจุบวกส่วนที่เหลือในน้ำ จึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุและเกิดการรวมกลุ่มตะกอนได้น้อยลง แม้ว่าค่าความเป็นด่าง (ประจุลบ : OH⁻) จะเพิ่มขึ้นก็ไม่เพียงพอสำหรับการสะเทินประจุบวก (ไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์) ที่เกิดจากการละลายน้ำของเฟอร์ริกคลอไรด์ และหากพิจารณาในเชิงสมดุลของการละลายของ Fe(OH)₃ จะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์ (ค่าความเป็นด่าง) จะทำให้เกิด Fe(OH)₃ มากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลของการละลาย ดังสมการที่ 12

ผลดังกล่าวทำให้เกิดประจุบวกของสารเชิงซ้อนของ Fe(OH)₃ เพิ่มขึ้นได้ดังสมการที่ 9 และ 10 ซึ่งเป็นผลจากการรักษาสมดุลการละลาย

จากภาพที่ 4.12 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ขณะที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง คงที่ ประสิทธิภาพของการขจัด COD มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการมีปริมาณประจุลบ (ความเป็นด่างและไฮดรอกไซด์ในคอลลอยด์) คงที่ เมื่อเพิ่มปริมาณประจุบวก (ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์) มากขึ้น แต่สัดส่วนการทำปฏิกิริยายังคงที่ ทำให้มีประจุบวกส่วนที่เหลือในน้ำ จึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุและเกิดการรวมกลุ่มตะกอนได้น้อยลง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการขจัด COD ลดลง

4.3.3.2 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (Color Removal)

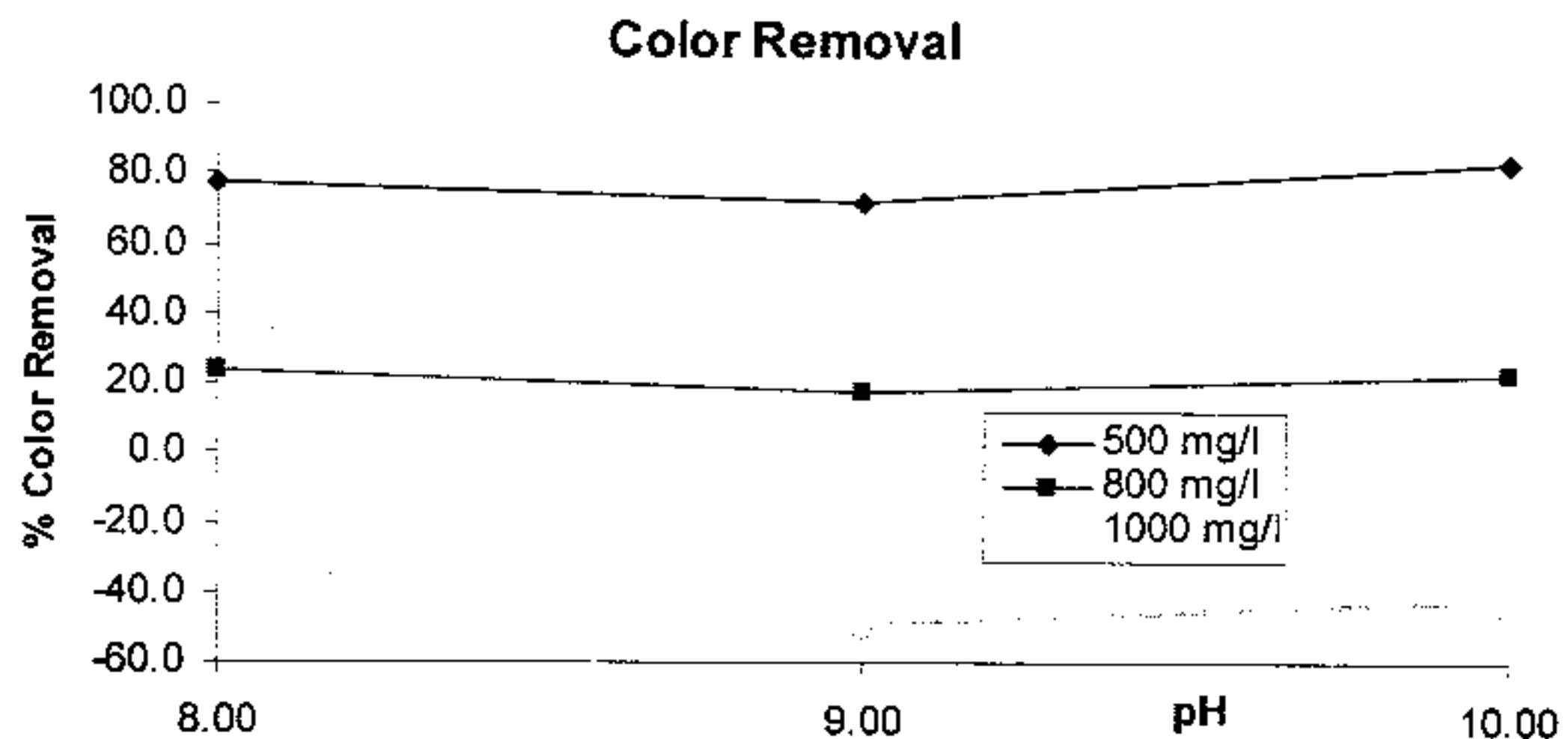
การทดลองใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่าสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดสี เท่ากับ 84.23 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของการขจัดสี ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 77.36, 23.56 และ -32.20 ตามลำดับ ค่าที่ติดลบแสดงว่าค่าสีหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 71.79, 17.02 และ -49.02 ตามลำดับ ค่าที่ติดลบแสดงว่าค่าสีหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 84.23, 22.84 และ -41.69 ตามลำดับ ค่าที่ติดลบแสดงว่าค่าสีหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น

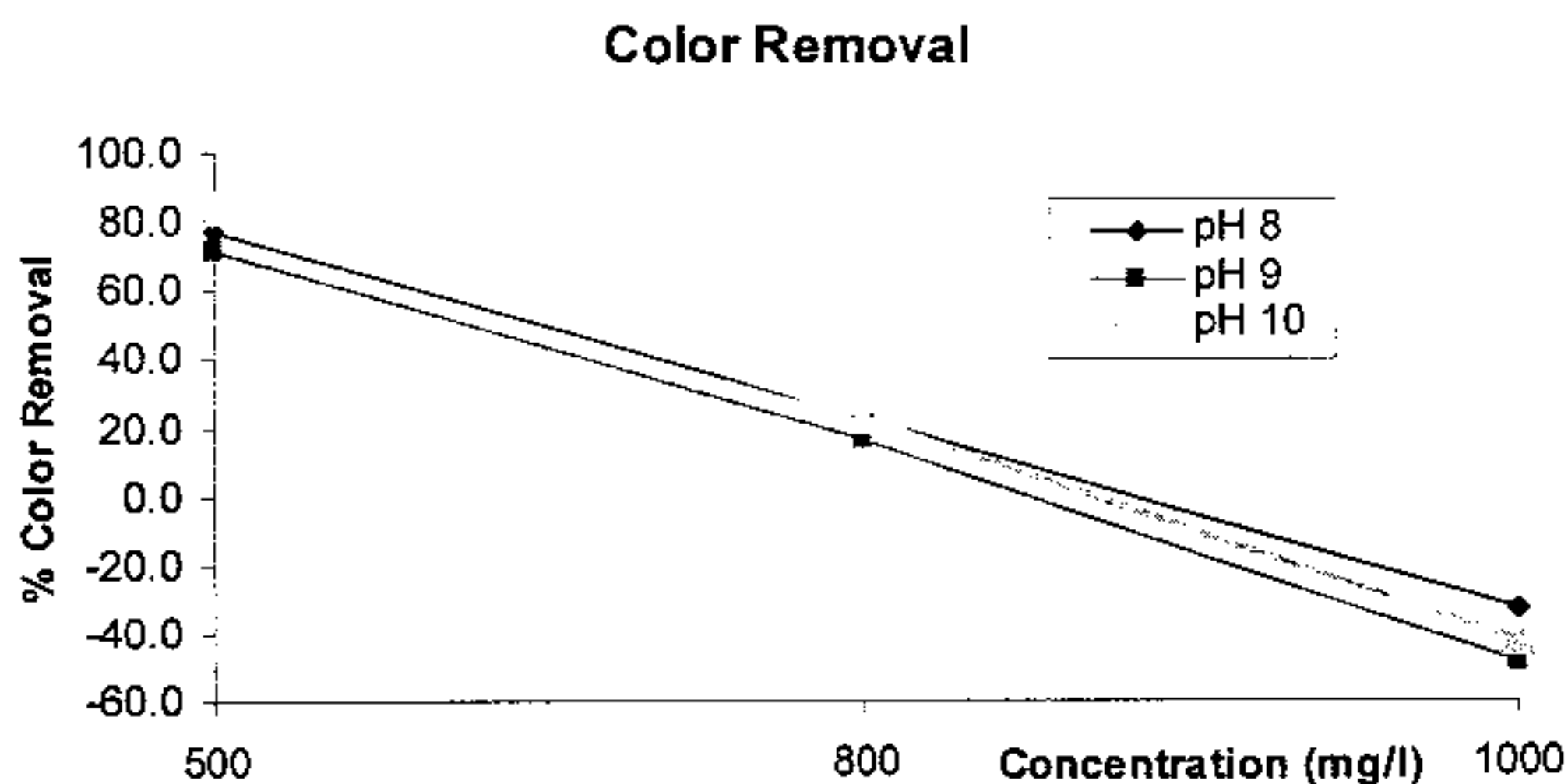
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดสีของเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.13 และ 4.14



ภาพที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสี ในตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.13 เมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดสีของเฟอร์ริกคลอไรด์ค่อนข้างคงที่ ทุกความเข้มข้นที่ศึกษา เนื่องจาก ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 เป็นสภาวะที่ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ อยู่ในสภาวะอิ่มตัวและเกิดเป็นตะกอนได้ดี ทำให้เกิดการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ได้มากขึ้น ดังสมการที่ 10 ทำให้คอลลอยด์ตกตะกอนได้ เมื่อความเป็นกรด - ด่างเพิ่มเป็น 9 และ 10 แม้ว่า $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จะละลายได้มากขึ้น ทำให้ลดการเกิด $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^+$ ที่จะไปทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ก็ตาม แต่ที่สภาวะดังกล่าวมีปริมาณความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ทำให้รบกวนสมดุลการละลายของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ นั่นคือเมื่อมี OH^- เพิ่มขึ้น ตะกอน $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและเกิดการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ได้เช่นกัน ผลดังกล่าวจึงทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีจึงคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ข โดยพบว่า หลังการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่ทุกสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ที่ทำการศึกษา ค่าสีเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. > 0.05)

แม้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด - ด่าง จะเป็นการเพิ่มปริมาณ OH^- ที่จะทำให้เกิดการสะเทินกับ H^+ ที่เกิดจากการละลายน้ำของเฟอร์ริกคลอไรด์ ตามสมการ 9 ซึ่งจะทำให้เกิด $\text{Fe}(\text{OH})_3$ เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสมดุลของการละลายของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จะพบว่าที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 และ 10 เป็นสภาวะที่ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ เกิดการละลายทำให้มี Fe^{3+} และ OH^- มากขึ้น และลดปริมาณ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ลง ดังนั้นการเพิ่มความเป็นด่างของน้ำจึงไม่ทำให้เกิดการรวมกลุ่มตะกอนเพิ่มขึ้น ตามสมการที่ 9 และ 10 เกิดเพียงการรวมกลุ่มตะกอนตามสมการที่ 8 ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีคงที่



ภาพที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.14 เมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มขึ้น จาก 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัดสีลดลง ทุกสภาวะความเป็นกรด - ด่างที่ศึกษา เนื่องจากเมื่อปริมาณไฮดรอกไซด์ (OH^- และปริมาณคอลลอยด์) คงที่ แต่มีปริมาณ Fe^{3+} เพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณประจุบวกของ เฟอร์ริลไฮดรอกไซด์ Fe^{3+} และ FeCl_3 คงเหลือมากขึ้น ทำให้น้ำมีสีเหลืองส้มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสี มีค่าติดลบ เมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ข โดยพบว่าหลังการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ที่ทุกสภาวะความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ค่าสีเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. < 0.05)

4.3.3.3 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น (Turbidity Removal)

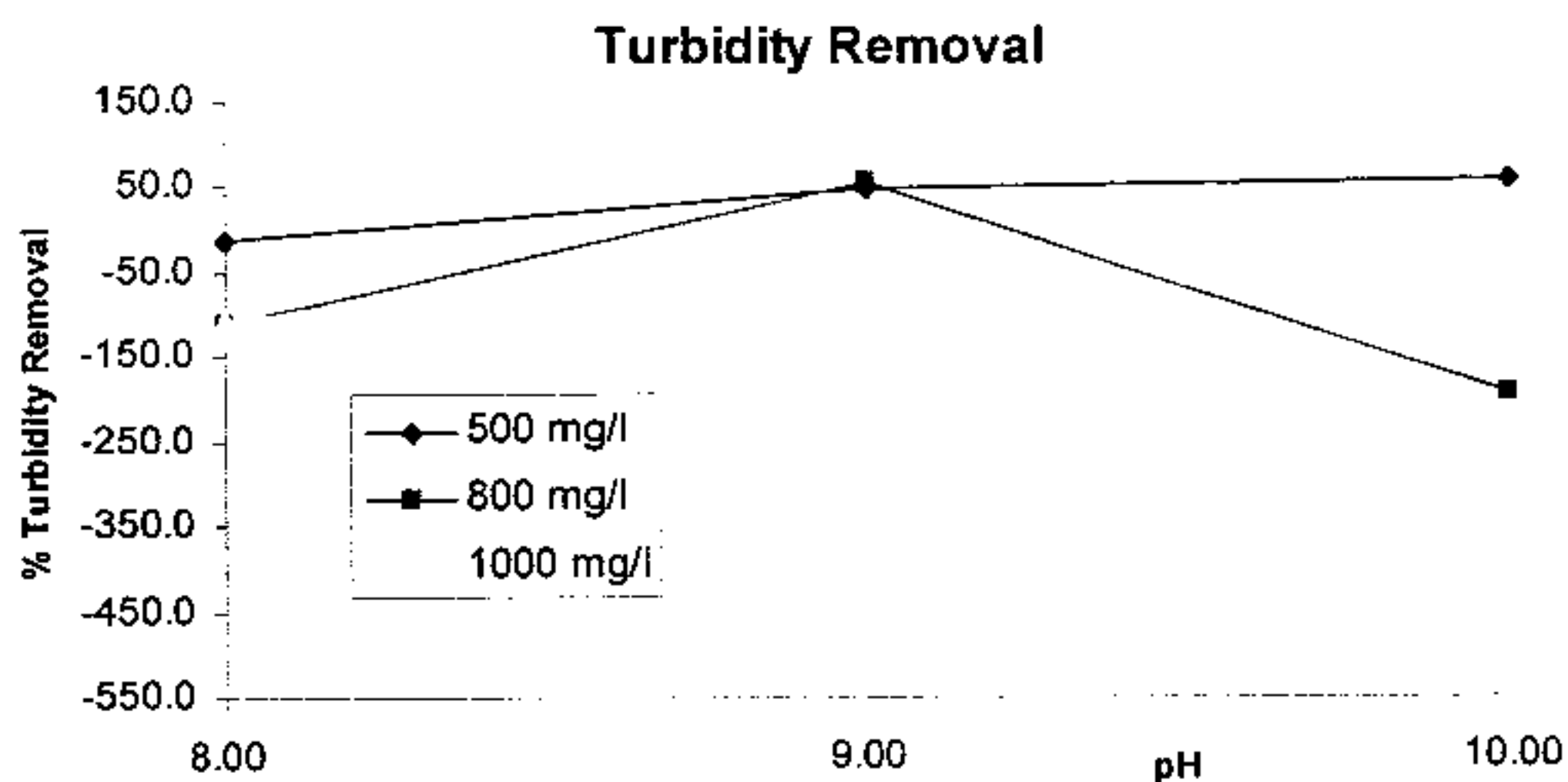
การทดลองใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่า สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดความขุ่น เท่ากับ 60.29 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของ ร้อยละการขจัดความขุ่น ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ -11.09, -109.77 และ -109.77 ตามลำดับ ค่าที่ติดลบแสดงว่าความขุ่นหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ร้อยละ 48.59, 54.29 และ 4.61 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น ได้ ร้อยละ 60.29, -195.39 และ -484.12 ตามลำดับ ค่าที่ติดลบแสดงว่าความขุ่นหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น

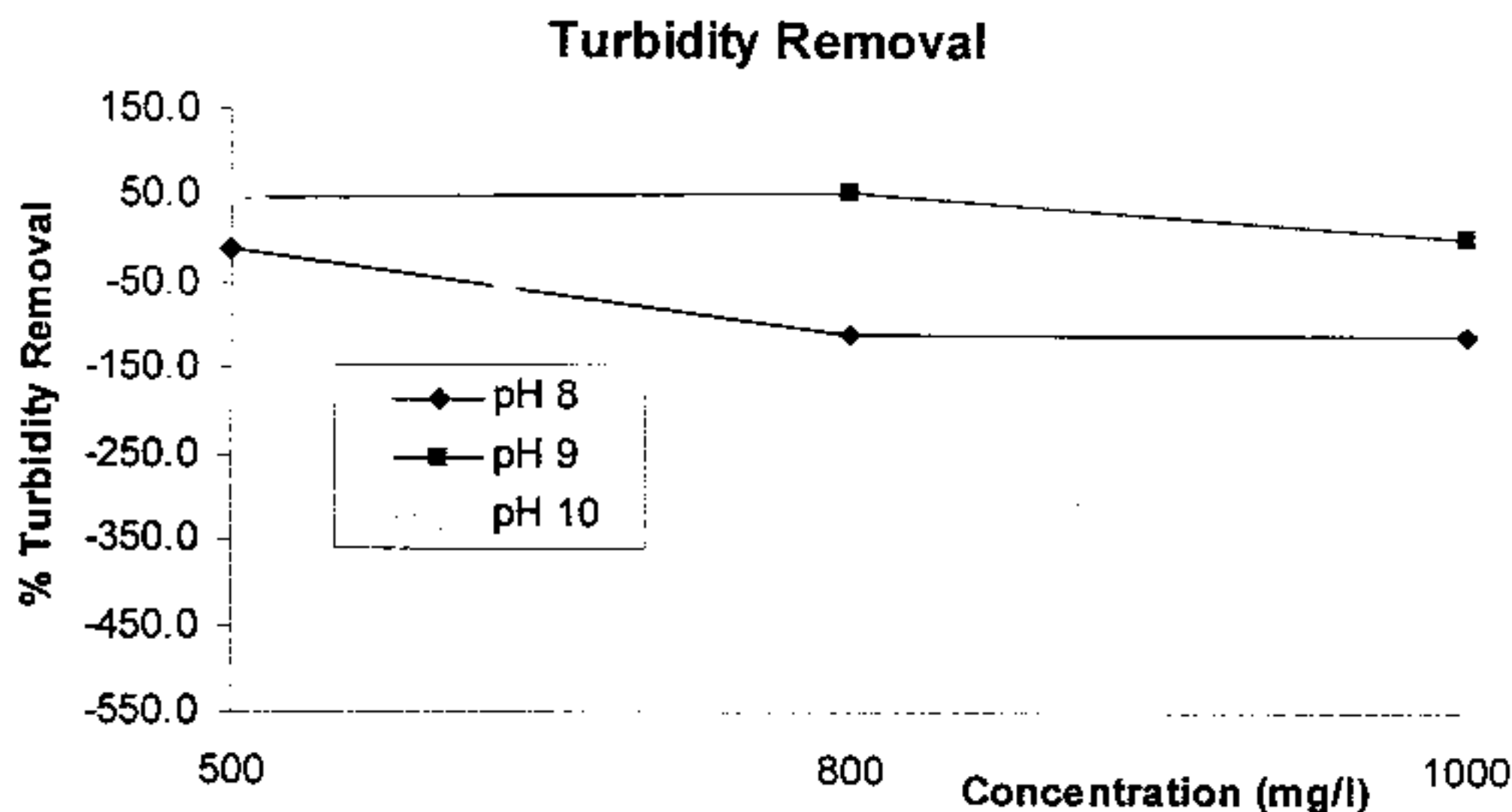
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดความขุ่นของเฟอริกคลอไรด์ ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.15 และ 4.16



ภาพที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.15 เมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นของเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อค่าความเป็นกรด - ด่าง เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 และ 10 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ -11.09 เป็น 48.59 และ 60.29 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่มีปริมาณประจุบวกสุทธิเหมาะสมกับปริมาณความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้น

ความเข้มข้น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นสูงสุดคือที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 ส่วนที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 และ 10 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นลดลง เนื่องจากที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8 เป็นสภาวะที่ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ อยู่ในสภาวะอิ่มตัวและเกิดเป็นตะกอนได้ดี ทำให้เกิดกระบวนการเกิดทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ ตามสมการที่ 9 และ 10 และมี Fe^{3+} ปริมาณมาก ทำให้เหลือประจุบวกสุทธิปริมาณมากกว่าปริมาณอออนลบที่มี และเกิดแรงผลักระหว่างอออนบวกส่วนที่เหลือ ทำให้ไม่เกิดการตกตะกอน ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 จะมีความเป็นด่างสูง จากสมดุลย์การละลายจะเกิด $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และ $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^-$ ได้มากเกินไปกว่าปริมาณอออนลบที่มี และเกิดแรงผลักระหว่างอออนบวกส่วนที่เหลือ ทำให้ไม่เกิดการตกตะกอน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นมีค่าติดลบ



ภาพที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.16 เมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มขึ้น ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 9 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นของเฟอร์ริกคลอไรด์ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากที่ความเป็นกรด - ด่างนี้ แม้จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ H^+ และประจุบวก ปริมาณประจุลบและ OH^- ที่มีอยู่สามารถทำให้เกิดการสะเทินได้พอดี การเพิ่มความเข้มข้นจึงไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการขจัดความขุ่น

ส่วนที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 และ 10 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นลดลงและมีค่าติดลบ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณประจุบวกมากขึ้น ทำให้ประจุบวกสุทธิมีปริมาณมากกว่าปริมาณอออนลบที่มี และเกิดแรงผลักระหว่างอออนบวกส่วนที่เหลือทำให้ไม่เกิดการตกตะกอน และอีกสาเหตุหนึ่งของการที่ความขุ่นเพิ่มขึ้น คือ เมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มขึ้น จะมีปริมาณ $FeCl_3$ และอนุพันธ์ของ Fe^{3+} เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความขุ่นและสีเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นจึงลดลง

การบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณลักษณะทางกายภาพคือ ไส้ มีปริมาณตะกอนมาก การบรรจุตัวของตะกอนไม่แน่น ตะกอนฟุ้งง่าย การที่ความขุ่นเพิ่มขึ้น เกิดจากการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์มากเกินไป ทำให้อออนประจุบวก (ที่เกิดจากการแตกตัวของเฟอร์ริกคลอไรด์) มีมากเกินไป ทำให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างกัน และไม่เกิดการรวมกลุ่มตะกอน จึงทำให้น้ำขุ่นมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งค่าสี และความขุ่นจึงมีค่าเป็นลบ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าความเป็นกรด - ด่าง เป็นกรด (2 - 3) ต้องมีการปรับสภาพความเป็นกรด - ด่าง ให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง ก่อนนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัด COD ในน้ำเสีย คือ ที่ pH 10 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัด COD เท่ากับ 100.00

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดสี ในน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดสี เท่ากับ 84.23

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดความขุ่นในน้ำเสีย คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดความขุ่น เท่ากับ 60.29

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เฟอร์ริกคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการขจัดทั้ง COD สี และความขุ่นสูงกว่าที่ความเข้มข้น 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพรวม พบว่าสภาวะที่สามารถขจัดทั้ง COD สี และความขุ่น คือ ที่ pH 10 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถขจัด COD สีและความขุ่นได้ ร้อยละ 100.00, 84.23 และ 60.29 ตามลำดับ

4.3.4 โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก

การทดลองใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนในปริมาณเท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตรที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6, 7 และ 8 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่ความเข้มข้นและสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ต่างกัน

ความเป็นกรด - ด่าง	ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด (% Removal)			ความเป็นกรด - ด่าง หลังบำบัด
		COD	สี	ความขุ่น	
6.00	0.3	56.94	37.76	79.52	7.04
	0.5	61.57	33.57	76.52	6.87
	0.7	52.78	50.72	77.09	6.79
7.00	0.3	28.40	16.32	56.02	7.49
	0.5	40.12	15.18	56.49	7.68
	0.7	41.36	18.06	63.95	7.58
8.00	0.3	54.94	29.06	80.46	8.20
	0.5	61.11	26.53	75.41	8.20
	0.7	59.88	29.84	71.47	8.23

4.3.4.1 ประสิทธิภาพในการขจัด COD (COD Removal)

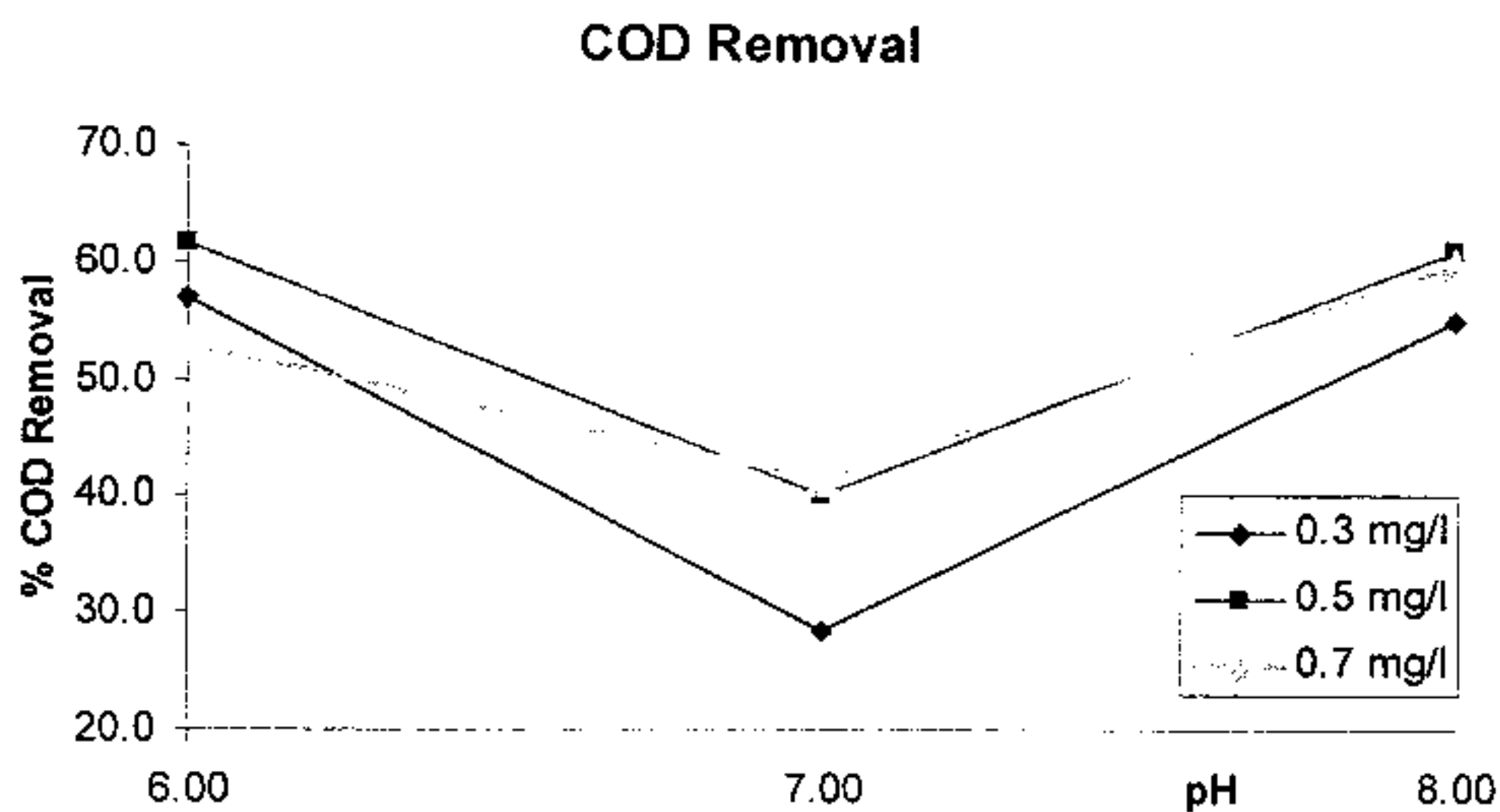
การทดลองใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่าสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัด COD เท่ากับ 61.57 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัด COD ดังนี้

- 1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 56.94, 61.57 และ 52.78 ตามลำดับ

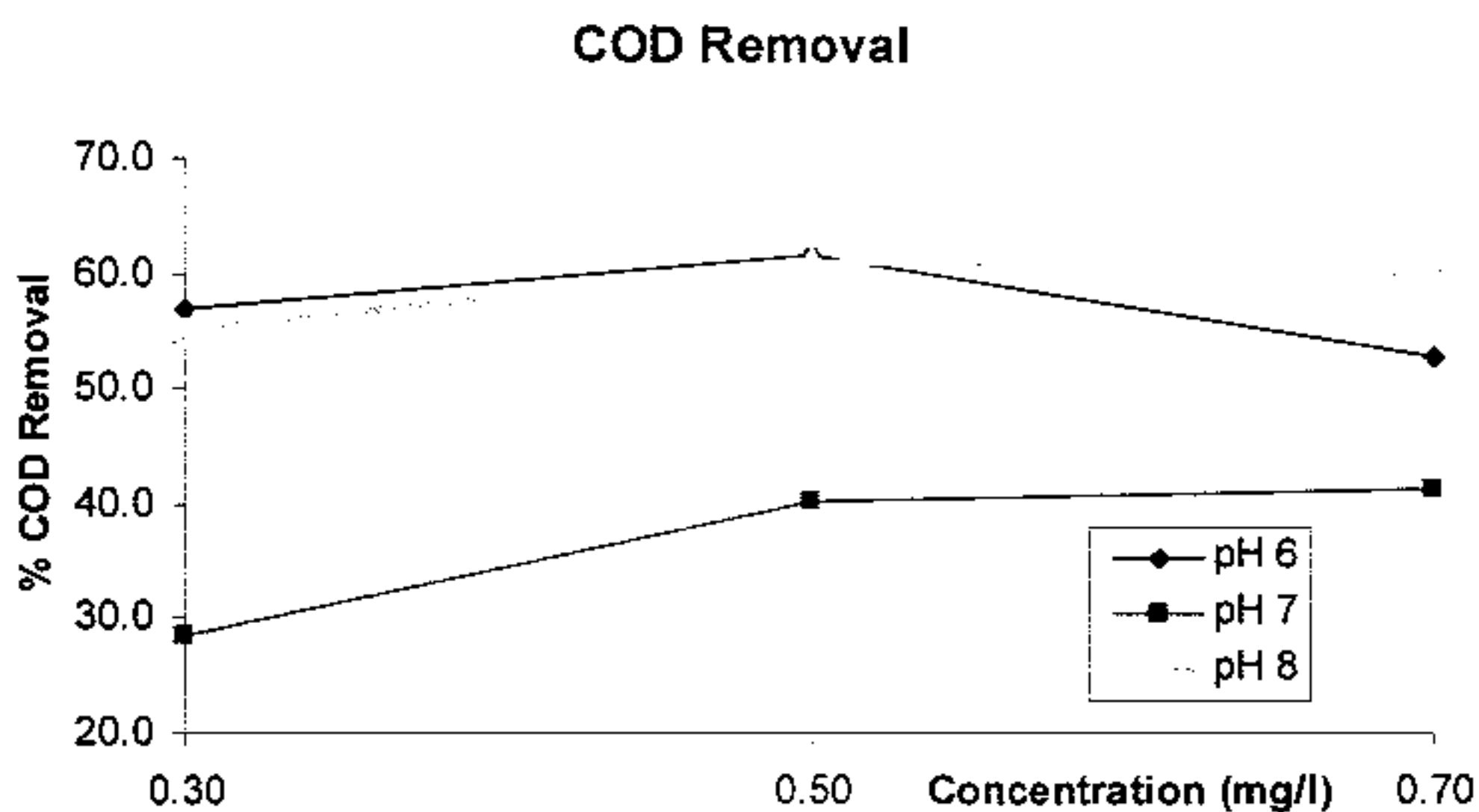
2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของโพสโซิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 28.40, 40.12 และ 41.36 ตามลำดับ

3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพสโซิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณ COD ได้ร้อยละ 54.94, 61.11 และ 59.88 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัด COD ของโพสโซิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.17 และ 4.18



ภาพที่ 4.17 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโพสโซิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.18 แสดงประสิทธิภาพในการขจัด COD ในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่ยาว มีประจุบวกจำนวนมาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ทำให้เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้ดีขึ้น สารละลายของโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกมีความเป็นกรด - ด่างที่ประมาณ 7 - 8 (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540: 89)

จากภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพในการขจัด COD ของโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 มีค่าต่ำสุด เกิดจากที่สภาวะดังกล่าวมีประจุมีความเป็นกลาง (Neutralize) ทางไฟฟ้า เมื่อความเข้มข้น (ประจุบวก) ที่มาจากโพลีอิเล็กโทรไลต์คงที่ การทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 จึงเกิดได้น้อยกว่า ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 และ 8 ซึ่งมีศักย์ทางไฟฟ้า (H^+ และ OH^-) จึงสามารถเพิ่มการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ได้

จากภาพที่ 4.18 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการขจัด COD เพิ่มขึ้น ที่ทุกสภาวะความเป็นกรด - ด่าง เนื่องจากการเพิ่มประจุบวกมากขึ้น จึงเพิ่มการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์อินทรีย์ ทำให้เกิดการขจัด COD ได้มากขึ้น

4.3.4.2 ประสิทธิภาพในการขจัดสี (Color Removal)

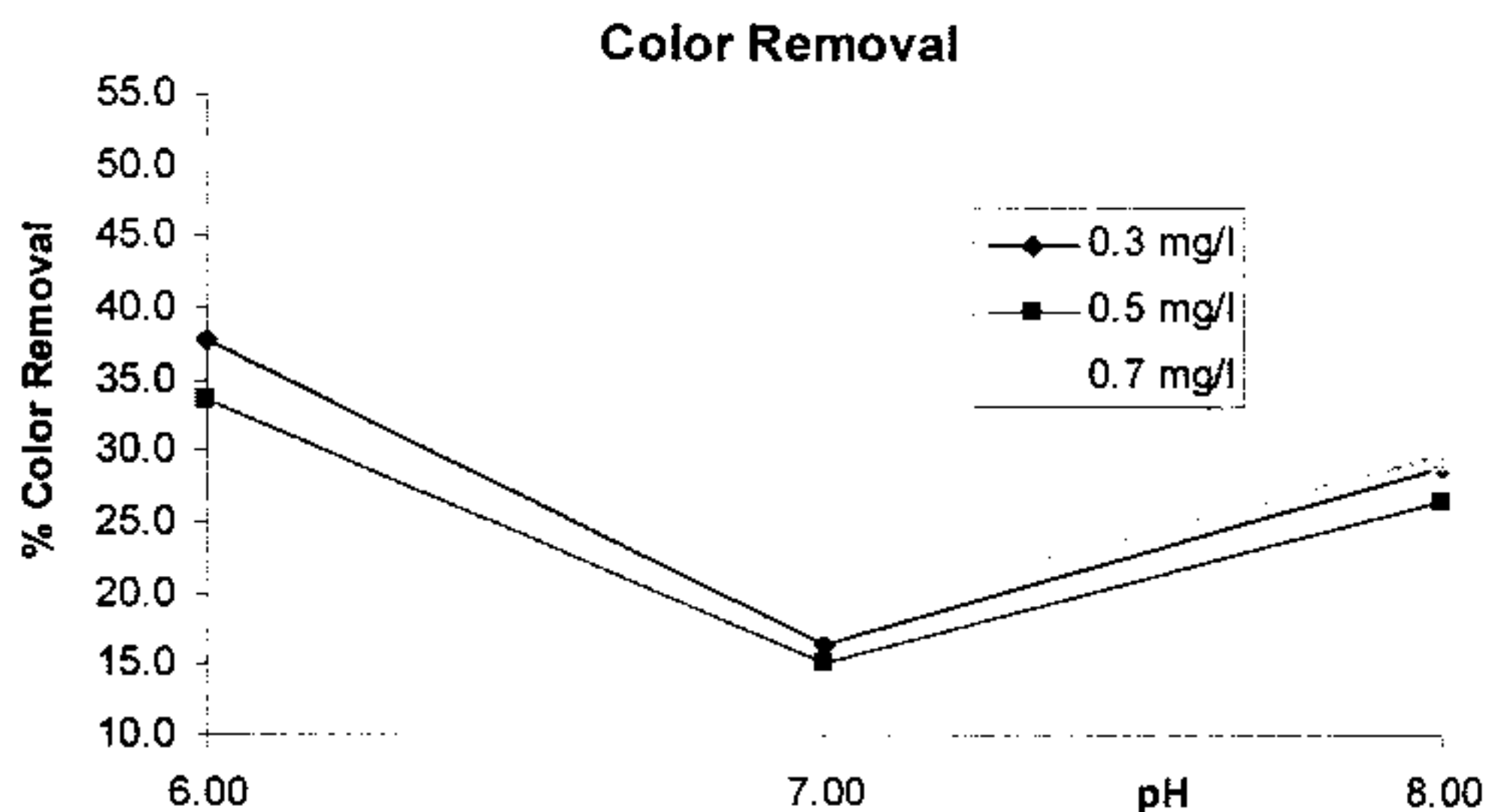
การทดลองใช้ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่าสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละของการขจัดสี เท่ากับ 50.72 ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการขจัดสี ดังนี้

1) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 37.76, 33.57 และ 50.72 ตามลำดับ

2) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 16.32, 15.18 และ 18.06 ตามลำดับ

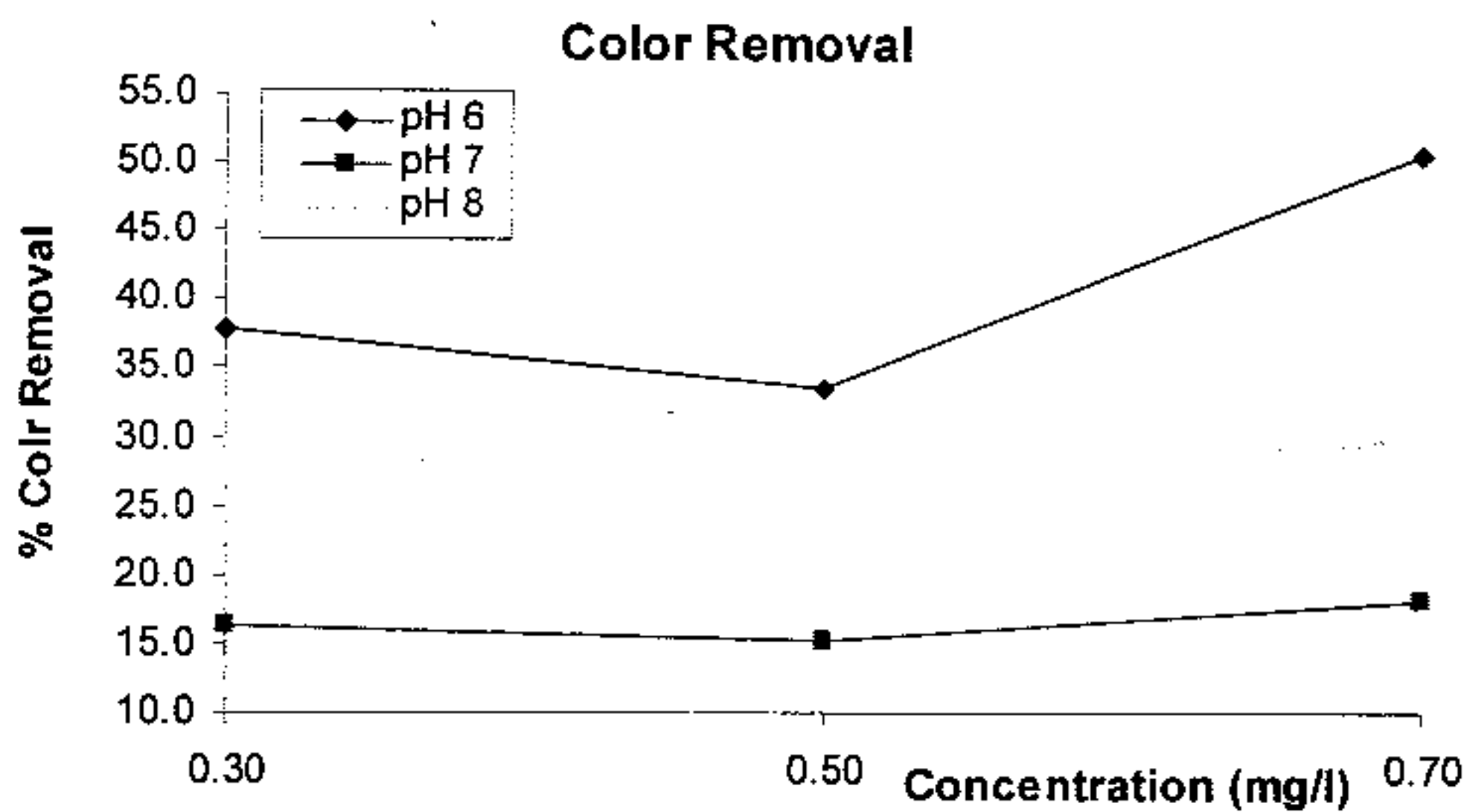
3) ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสี ได้ร้อยละ 29.06, 26.53 และ 29.84 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดสี ในตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่แต่ละสภาวะความเป็นกรด - ด่าง และความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 4.19 และ 4.20



ภาพที่ 4.19 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสีย ด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.19 พบว่าเมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดสีของโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 มีค่าต่ำสุด เกิดจากที่สภาวะดังกล่าว ประจุในตัวอย่างน้ำเสียมีความเป็นกลาง (Neutralize) ทางไฟฟ้า เมื่อความเข้มข้น (ประจุบวก) ที่มาจากโพลีอิเล็กโทรไลต์คงที่ การทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 จึงเกิดได้น้อยกว่าที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 และ 8 ซึ่งมีศักย์ทางไฟฟ้า (H^+ และ OH^-) จึงสามารถเพิ่มการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ได้



ภาพที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดสีในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.20 เมื่อความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกเพิ่มขึ้น ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 และ 8 ประสิทธิภาพของการขจัดมีค่าคงที่ เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ไม่แตกต่างกันมากนัก การทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดสีจึงคงที่ ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีไม่แตกต่างกัน ส่วนที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ประสิทธิภาพของการขจัดมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวมีประจุบวกเพิ่มขึ้นทำให้สามารถทำลายความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น

4.3.4.3 ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่น (Turbidity Removal)

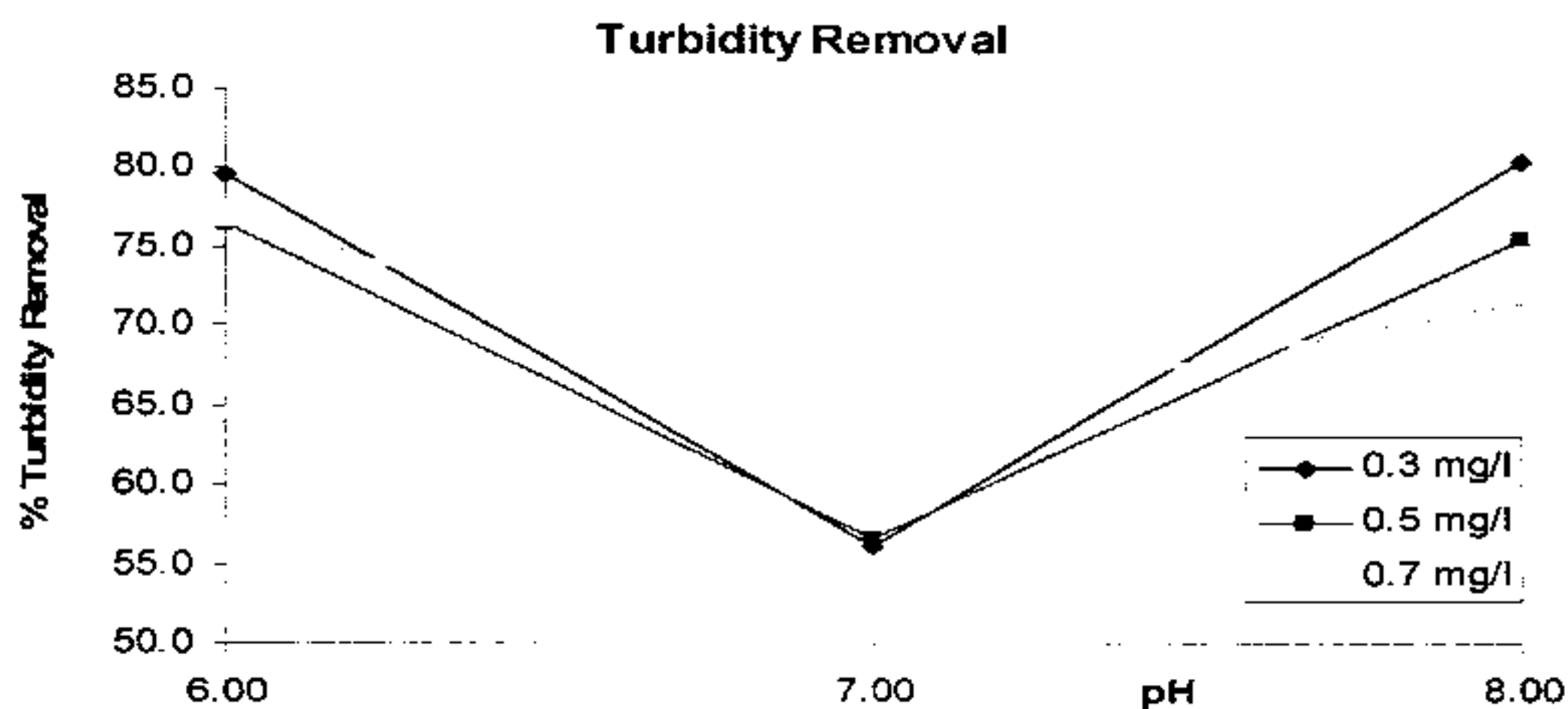
การทดลองใช้ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเป็นสารเคมีรวมกลุ่มตะกอน พบว่า สภาพที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดความขุ่น ในตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ คือ ที่ สภาพความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละของการขจัดความขุ่น เท่ากับ 80.46 ส่วนที่สถานะอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละของการขจัดความขุ่น ดังนี้

1) ที่สภาพความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น เท่ากับ ร้อยละ 79.52, 76.52 และ 77.09 ตามลำดับ

2) ที่สภาพความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น เท่ากับ ร้อยละ 56.02, 56.49 และ 63.95 ตามลำดับ

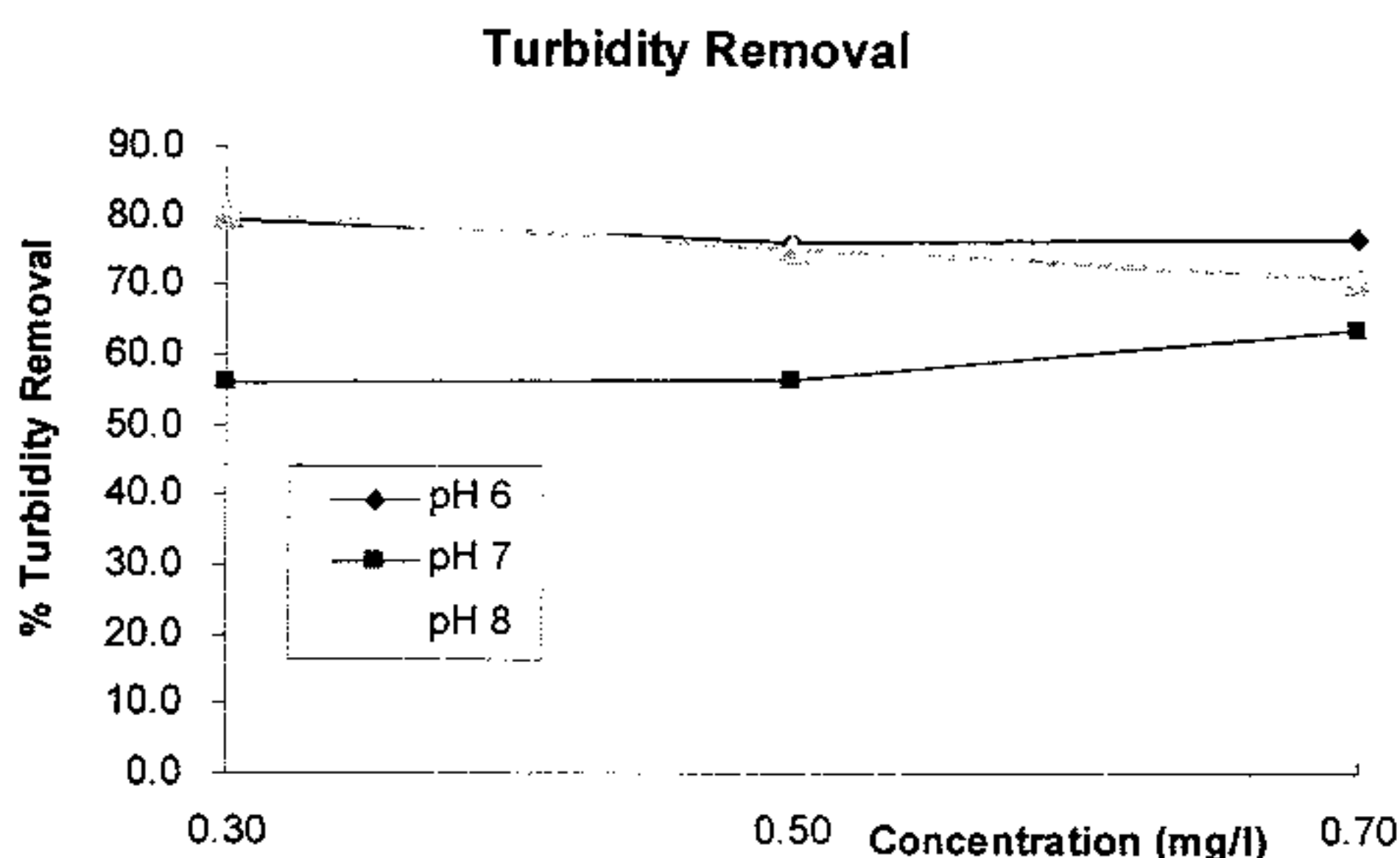
3) ที่สภาพความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณความขุ่น เท่ากับ ร้อยละ 80.46, 75.41 และ 71.47 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขจัดความขุ่น ของโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่แต่ละสภาพความเป็นกรด - ด่าง และ ความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่ศึกษา แสดงดังภาพ ที่ 4.21 และ 4.22



ภาพที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเป็นกรด - ด่าง (pH) เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.21 พบว่าเมื่อสภาวะความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 มีค่าต่ำสุด เกิดจากที่สภาวะดังกล่าวมีประจุมีความเป็นกลาง (Neutralize) ทางไฟฟ้า เมื่อความเข้มข้น (ประจุบวก) ที่มาจากโพลีอิเล็กโตรไลต์คงที่ การทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 จึงเกิดได้น้อยกว่า ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 และ 8 ซึ่งมีศักย์ทางไฟฟ้า (H^+ และ OH^-) จึงสามารถเพิ่มการทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ได้



ภาพที่ 4.22 แสดงประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ที่ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.22 เมื่อความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการขจัดความขุ่นค่อนข้างคงที่ เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ไม่แตกต่างกันมากนัก การทำลายความเสถียรของคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดความขุ่นจึงเพิ่มขึ้นได้น้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นไม่แตกต่างกัน

การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณลักษณะทางกายภาพคือ ใส มีปริมาณตะกอนน้อย การบรรจุตัวของตะกอนแน่น ซึ่งเกิดจากโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกที่ใช้ มีโครงสร้างที่เป็นโซ่ยาว มีประจุไฟฟ้า และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (1,000,000 – 10,000,000 ATU) จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์มาจับที่โพลีอิเล็กโตรไลต์

ประจุบวกได้ดีขึ้น และตกตะกอนได้เร็วขึ้น สภาพความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำหลังการบำบัดมีสภาพเป็นกลาง (6 – 8) ไม่ต้องมีการปรับสภาพก่อนนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัด COD ในน้ำเสีย คือ ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัด COD เท่ากับ 61.57

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดสี ในน้ำเสีย คือ ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดสี เท่ากับ 50.72

สภาวะที่เหมาะสมในการขจัดความขุ่นในน้ำเสีย คือ ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าร้อยละการขจัดความขุ่น เท่ากับ 80.46

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมของการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดทั้ง COD สี และความขุ่น คือ ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถขจัด COD สี และความขุ่น ได้ร้อยละ 52.78, 50.72 และ 77.09 ตามลำดับ

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด COD สี และความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ โดยใช้สารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด COD สีและความขุ่น 3 อันดับแรก ของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิดที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปประสิทธิภาพในการขจัด COD สี และความขุ่น 3 อันดับแรกในการรวมกลุ่มตะกอน

	ประสิทธิภาพสูงสุด pH / ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพอันดับ 2 pH / ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพอันดับ 3 pH / ความเข้มข้น (mg/l)
%COD Removal	เพอร์ริคคลอไรด์ pH 8 / 500 (100.00)*	เพอร์ริคคลอไรด์ pH 9 / 500 (97.69)*	เพอร์ริคคลอไรด์ pH 9 / 800 (94.91)*
%Color Removal	สารส้ม pH 8 / 800 (90.31)*	สารส้ม pH 8 / 500 (85.60)*	สารส้ม pH 6 / 500 (85.54)*
%Turbidity Removal	สารส้ม pH 8 / 500 (86.23)*	โพสิโอเลคโตรไลต์ pH 8 / 0.3 (80.46)*	สารส้ม pH 8 / 800 (79.20)*

หมายเหตุ: () * คือ ค่าร้อยละการขจัด

จากตารางที่ 4.10 พบว่า เพอร์ริคคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพสูงในการขจัด COD สารส้มให้ประสิทธิภาพสูงในการขจัดสีและความขุ่น

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมสูงสุดในการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งคิดจากผลรวมของ ค่าร้อยละของการขจัด COD สี และความขุ่น ของแต่ละสภาวะในการบำบัด ปรากฏผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด

ชนิดของ สารเคมี รวมกลุ่ม ตะกอน	สถานะความ เป็น กรด - ด่าง	ความเข้มข้น (mg/l)	ร้อยละการ ขจัด COD (%COD Removal)	ร้อยละการ ขจัดสี (%Color Removal)	ร้อยละการขจัด ความขุ่น (% Turbidity Removal)	ประสิทธิภาพ (Total Efficiency)	สถานะความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยหลังบำบัด
สารส้ม	8	500	88.89	85.60	86.23	260.72	5.84
โคโคซาน	6	80	-*	59.10	69.13	128.23 *	0.60
เพอร์ริคคัลไรต์	10	500	100.00	84.23	60.29	244.52	4.56
โพตัสเลกโตรไลต์	6	0.7	52.78	50.72	77.09	180.59	6.79

หมายเหตุ * ประสิทธิภาพรวมของการบำบัดด้วยโคโคซาน ไม่รวมประสิทธิภาพในการขจัด COD

จากตารางที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมของการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ พบว่า

- 1) สารส้มที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุด
- 2) เพอร์ริกคลอไรด์ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 10 ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพรวมอันดับ 2
- 3) โพสซิเลกโตรไลท์ที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพรวมอันดับ 3
- 4) ไคโตซานที่สภาวะความเป็นกรด - ต่างเท่ากับ 6 ความเข้มข้นเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพรวมอันดับที่ 4 โดยที่ ไม่ได้นำค่าประสิทธิภาพการขจัด COD มารวมด้วย

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่ต้องใช้ในการเลือกสารเคมีในการรวมกลุ่มตะกอน เพื่อให้สามารถเกิดประสิทธิผลสูงสุดเมื่อนำมาใช้งานจริง ซึ่งได้แก่ ปริมาณของกากตะกอน การฟุ้งของกากตะกอน สภาพความเป็นกรด - ต่างหลังการบำบัด ซึ่งได้จากการสังเกต และบันทึกลักษณะตัวอย่างน้ำขณะทำการทดลอง รวมทั้งปัจจัยด้านราคาของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด ปรากฏผลดังตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 สรุปประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบ ด้วยสารเคมี
รวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด

รายการ	สารส้ม	โคโคซาน	เพอร์ริกคลอไรด์	โพสิอิลิก ไตรไลต์
ปริมาณกากตะกอน	มาก	น้อย	มาก	น้อย
การฟุ้งของกากตะกอน	มาก	น้อย	มาก	น้อย
ประสิทธิภาพในการบำบัด COD สี และความขุ่น เฉลี่ย (ร้อยละ) *	86.91	64.12	81.51	60.20
pH หลังการบำบัด	เป็นกรด เล็กน้อย (4-6)	เป็นกรด มาก (0.5-1)	เป็นกรดเล็กน้อย (2-5)	เป็นกลาง (6-8)
ความสะดวกในการเตรียม ราคา ** (บาท/กิโลกรัม)	สะดวก ประมาณ 5	ยุ่งยาก 500 – 1000	สะดวก ประมาณ 15 -30	สะดวก ประมาณ 100
ค่าใช้จ่ายในการบำบัด ต่อ น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร (บาท) ***	2.5	40 - 80	7.5 - 15	0.07

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย ณ สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุดของการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่ม
ตะกอนแต่ละชนิด

** ราคาตลาดที่สำรวจ ณ มิถุนายน 2549

*** คิดที่ความเข้มข้นที่ให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุด ของสารเคมีแต่ละชนิด และไม่รวม
ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำเสีย

ตารางที่ 4.13 สรุปความเหมาะสมในการใช้งาน ของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด

เกณฑ์การพิจารณา	ความเหมาะสม อันดับ 1	ความเหมาะสม อันดับ 2	ความเหมาะสม อันดับ 3
ประสิทธิภาพรวมใน การบำบัด (ร้อยละ)	สารส้ม (260.72)	เพอร์ริกคลอไรด์ (244.52)	โพสโซเลกโตรไลท์ (180.59)
ความเป็นกรด - ด่าง หลังการบำบัด *	โพสโซเลกโตรไลท์ (6.79)	สารส้ม (5.84)	เพอร์ริกคลอไรด์ (4.56)
ค่าใช้จ่ายในการบำบัด ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์ เมตร (บาท) *	โพสโซเลกโตรไลท์ (0.07)	สารส้ม (2.5)	เพอร์ริกคลอไรด์ (7.5-15)

หมายเหตุ: * คิดที่สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุดของสารเคมีแต่ละชนิด

เมื่อสรุปจากตารางที่ 4.10 – 4.13 สรุปได้ว่า ถ้าต้องการประสิทธิภาพในการบำบัดสูง การบำบัดด้วยสารส้ม ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ทั้งในด้านประสิทธิภาพรวม ราคา และวิธีการในการเตรียมที่ไม่ยุ่งยาก แต่ต้องมีวิธีการที่ดีสำหรับการกากตะกอนที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีปริมาณกากตะกอนในปริมาณมากเมื่อเทียบกับ ไคโตซาน เพอร์ริกคลอไรด์ และโพสโซเลกโตรไลท์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Mutairi, Hamoda และ Al-Ghusian (2004) ศึกษาการตกตะกอนน้ำจากโรงฆ่าสัตว์โดยใช้สารส้ม ซึ่งสามารถขจัดความขุ่นและของแข็งแขวนลอยได้ ร้อยละ 76-93 และ 98-99 ตามลำดับ รวมทั้งงานวิจัยของ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2527) ที่พบว่า สารส้มสามารถขจัดสีจากน้ำเสียในอุตสาหกรรมสีย้อม ได้มากกว่าร้อยละ 70 แต่ถ้าไม่ต้องการปรับสภาวะความเป็นกรด - ด่าง ของตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัด และต้องการประสิทธิภาพการบำบัดไม่สูงมากนัก ก็สามารถเลือกใช้โพสโซเลกโตรไลท์ในการบำบัดได้เช่นเดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนหรือ โคแอกกูเลชัน (Coagulation) โดยใช้สารเคมีรวมกลุ่มตะกอน 4 ชนิด คือ สารส้ม ไคโตซาน เพอร์ริกคลอไรด์ และ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำของคลองแสนแสบก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซึ่งพิจารณาจากค่าร้อยละในการขจัด COD สี ความขุ่น และสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด พิจารณาจากสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการขจัดสูงสุด โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด

5.1.1.1 คุณภาพตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัด

ตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบที่เก็บตัวอย่างแบบผสมรวมในวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2548 มีคุณภาพดังนี้

1. ความเป็นกรด-ด่าง 7.62
2. อุณหภูมิ 29.3 องศาเซลเซียส
3. ค่าการนำไฟฟ้า 91.0 mS/m
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. COD 54 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. BOD 26.3 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ค่าสี 38.2 Pt.Co.

8. ความขุ่น 26.60 NTU

จากคุณภาพข้างต้น พบว่าคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งมาตรฐานน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และมาตรฐานน้ำทิ้ง

5.1.1.2 คุณภาพตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิดและแต่ละสภาวะ มีคุณภาพดังที่แสดงในตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 โดยสรุป การบำบัดด้วยสารส้มและโพแทสเซียมไดโครเมตที่ประจุบวกสังเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการทดสอบดีขึ้น นั่นคือมีค่า COD สี และความขุ่นลดลงจากก่อนทำการบำบัด และมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

การบำบัดด้วยโคโคซานคุณภาพน้ำหลังการบำบัดดีขึ้นโดยค่าสีและความขุ่นลดลงจากก่อนทำการบำบัด ส่วนค่า COD หลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณคลอรีนในตัวอย่างน้ำเสีย ที่เกิดจากการใช้กรดไฮโดรคลอริกในการละลายโคโคซาน คลอรีนที่มีอยู่นี้จะรบกวนการวิเคราะห์ COD ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

การบำบัดด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ สามารถลด COD ได้ทุกสภาวะของการทดสอบ และมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนค่าสีและความขุ่นจะมีค่าสูงขึ้น ที่ความเข้มข้นของเพอร์ริกคลอไรด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากการมีปริมาณเพอร์ริกคลอไรด์และประจุบวกมากเกินไป ทำให้มีสีและความขุ่นเพิ่มขึ้น

5.1.2 ประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ ด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด สรุปได้ดังนี้

1. สารส้ม สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด คือ ที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการขจัด COD สี และความขุ่น ได้ร้อยละ 88.89, 85.60 และ 86.23 ตามลำดับ

2. โคโคซาน ไม่สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการขจัด COD ได้ ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดสี และความขุ่น คือ ที่ pH 6 ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการขจัด สี และความขุ่น ได้ร้อยละ 59.10 และ 69.13 ตามลำดับ

3. เพอร์ริกคลอไรด์ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด คือ ที่ pH 10 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการขจัด COD, สี และความขุ่น ได้ร้อยละ 100.00, 84.23

และ 60.29 ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่เหมาะสมต่อการขจัดสีและความขุ่น เนื่องจากเป็นความเข้มข้นสูงเกินกว่าจุดที่เหมาะสม และมีปริมาณ FeCl_3 และอนุพันธ์ของ Fe^{3+} ทำให้เพิ่มสีและความขุ่นมากขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดจึงลดลง

4. โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกสังเคราะห์ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด คือ ที่ pH 6 ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการขจัด COD, สี และความขุ่น ได้ร้อยละ 52.78 , 50.72 และ 77.09 ตามลำดับ

เมื่อสรุปประสิทธิภาพในการขจัด COD สี และความขุ่น พบว่า

1. สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการขจัด COD สูงสุดคือ การใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการขจัด COD ได้ร้อยละ 100.00

2. สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการขจัดสี สูงสุดคือ การใช้สารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8 ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการขจัดสี ได้ร้อยละ 90.31

3. สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการขจัดความขุ่นสูงสุด คือ การใช้สารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการขจัดสี ได้ร้อยละ 86.23

เมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพรวม พบว่าสารส้มที่สภาวะความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดรวม เท่ากับ 260.72 ดังตารางที่ 4.1 จึงเป็นสารเคมีที่มีความเหมาะสมจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบทั้งในด้านประสิทธิภาพรวม ราคา และวิธีการในการเตรียมที่ไม่ยุ่งยาก แต่ต้องมีวิธีการที่ดีสำหรับกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้น ในส่วนการบำบัดด้วยโคโคซานซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ธรรมชาติที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำสุด และกากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเกษตรได้นั้น ยังต้องมีการศึกษาในส่วนของการละลายที่เหมาะสมต่อไป

คุณสมบัติในการบำบัดเฉพาะตัวของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด เป็นดังนี้

1. สารส้ม สามารถขจัด COD สี และความขุ่น ได้ดี แต่น้ำหลังการบำบัดจะมีค่าความเป็นกรด - ด่าง เป็นกรดเล็กน้อย (pH 4 - 6) จึงต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนนำไปใช้

2. เฟอร์ริกคลอไรด์ สามารถขจัด COD สี และความขุ่น ได้ดี แต่น้ำหลังการบำบัดจะมีค่าความเป็นกรด - ด่าง ค่อนข้างต่ำ (pH 2 - 5) จึงต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนนำไปใช้

3. โพลีอิเล็กโทรไลต์ สามารถขจัด COD สี และความขุ่น ได้ปานกลาง และน้ำหลังการบำบัดมีสภาพเป็นกลาง (pH 7 - 8)

4. ไคโตซาน สามารถขจัด สี และความขุ่น ได้ปานกลาง แต่น้ำหลังการบำบัดจะมีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วงเป็นกรด (pH 0.5 - 1) จึงต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนนำไปใช้

5. โดยสรุปพบว่า การใช้สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพรวมในการขจัด COD สี และความขุ่น สูงกว่าการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์และไคโตซาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1. ควรมีการศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายไคโตซาน และวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการขจัด COD ของไคโตซานได้ถูกต้องยิ่งขึ้น เนื่องจากไคโตซานเป็นสารที่ได้มาจากวัสดุธรรมชาติ (เปลือกกุ้ง ปู) ซึ่งในประเทศไทยมีอัตราการส่งออกกุ้งแช่แข็งในปริมาณที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ การที่สามารถนำของเสียกลับมาใช้เป็นสารรวมกลุ่มตะกอนได้จึงเป็นการลดของเสียที่แหล่งกำเนิดได้วิธีหนึ่ง รวมทั้งการที่ไคโตซานเป็นสารจากธรรมชาติ กากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ย และย่อยสลายโดยธรรมชาติได้

2. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจาร์เทสต์ควรเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานมากขึ้น

3. สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบจาร์เทสต์ ควรอยู่ใกล้กับสถาบันฯ เพื่อความสะดวกและประหยัดเวลาในการขนส่งตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการทดสอบ เนื่องจากตามวิธีการมาตรฐานต้องใช้ปริมาณน้ำเสีย 1,000 มิลลิลิตร ต่อการทดสอบ 1 สภาวะ

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาถึงการตกค้างของสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนที่มีอยู่ในส่วนที่ใสและในกากตะกอน

2. ควรมีการศึกษา ปริมาณโลหะหนัก บีโอดี โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ที่มีอยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิด
3. ควรมีการศึกษาถึงการใช้สารรวมกลุ่มตะกอนแบบผสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัด และได้คุณภาพน้ำที่ตรงตามวัตถุประสงค์ในการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ยิ่งขึ้น
4. ควรมีการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพ และสถานะที่เหมาะสมในการขจัดกลิ่นของน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัญหาหลักประการหนึ่งของคลองแสนแสบ
5. ควรมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และการยอมรับของชุมชน ต่อการใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล เพื่อใช้ในการจัดการน้ำเสียและทรัพยากรน้ำ โดยเป็นการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อหาข้อมูลด้านเทคนิคและวิทยาศาสตร์ เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ข้อมูลและข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาสามารถเป็นทางเลือก และช่วยในการตัดสินใจในการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้น โดยผลในการศึกษา สามารถใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการน้ำเสียและทรัพยากรน้ำ นั่นคือเป็นการแสวงหาวิธีการเทคโนโลยีที่เหมาะสม ในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ (Reuse/Recycle) ให้มากที่สุดที่จะทำได้ ส่วนการลดการเกิดน้ำเสีย (Reduce) ต้องใช้วิธีการด้านสังคม การรณรงค์ประชาสัมพันธ์ การกระตุ้นจิตสำนึก การมีส่วนร่วม และมาตรการด้านการศึกษา เพื่อให้ประชาชน ชุมชน องค์กร ที่เป็นต้นทางของน้ำเสีย มีความรู้ ความเข้าใจ ทักษะและจิตสำนึก ที่จะให้ความร่วมมือในการลดปัญหาที่เกิดขึ้น ในการจัดการปัญหาด้านน้ำเสียจำเป็นต้องใช้กระบวนการในการจัดการใหม่ (Re management) ซึ่งข้อมูลด้านวิชาการ เทคนิค ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม จะเป็นเครื่องมือของการจัดการให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการจัดการสิ่งแวดล้อม คือต้องเกิดความ ยุติธรรมและเสมอภาค (Equity) เกิดประสิทธิภาพ (Efficiency) และเกิดความยั่งยืน (Sustainable)

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก วิธีมาตรฐานในการทดสอบคุณภาพน้ำ
- ภาคผนวก ข ผลการทดสอบทางสถิติ
- ภาคผนวก ค คุณภาพน้ำคลองต่าง ๆ ในเขต กรุงเทพมหานคร
และวิธีมาตรฐานในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับ
การวิเคราะห์
- ภาคผนวก ง ภาพการเก็บตัวอย่าง และการทดลอง

ภาคผนวก ก

วิธีมาตรฐานในการทดสอบคุณภาพน้ำ

ภาคผนวก ก

วิธีมาตรฐานในการทดสอบคุณภาพน้ำ

1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

1.1 การวัดที่จุดเก็บตัวอย่าง

วัดโดยใช้เครื่องวัดพีเอชแบบมือถือ โดยจุ่มเครื่องวัดพีเอช ลงในน้ำบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำประมาณ 50 เซนติเมตร นำค่าที่ได้ทุกจุดมาหาค่าเฉลี่ย

1.2 การวัดในห้องปฏิบัติการ

วัดโดยใช้เครื่องวัดพีเอชแบบตั้งโต๊ะ โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่าง อ่านค่าที่ปรากฏบนหน้าจอ

2. อุณหภูมิ

วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท โดยจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในน้ำบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำประมาณ 50 เซนติเมตร นำค่าที่ได้ทุกจุดมาหาค่าเฉลี่ย

3. สี

สีในน้ำตามธรรมชาติเกิดจากสารต่างๆ หลายชนิด น้ำตามธรรมชาติจะมีสีออกเหลือง น้ำตาล จากการทดลองพบว่าสารละลายของ K_2PtCl_6 (Potassium Chloroplatinate) เมื่อผสมกับกับ $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (Cobaltous Chloride) จำนวนเล็กน้อยจะให้ Shade สีเหมือนน้ำธรรมชาติ และสามารถปรับสีให้เหมือนน้ำธรรมชาติมากขึ้น โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของโคบอลต์คลอไรด์ ดังนั้นได้กำหนดหน่วยมาตรฐานสำหรับวัดสีดังนี้ 1 mg/l ของ Pt ในรูป K_2PtCl_6 จะมีสี = 1 unit of color

ในการทดลองนี้ใช้การวัดสีด้วย Spectrophotometer โดยหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ให้ Absorption Maxima สำหรับ Color Standard แล้วใช้ความยาวคลื่นนี้วัดสีในตัวอย่างน้ำ อ่านค่าความเข้มของสีจาก Standard Curve

3.1 การเตรียม Standard Curve

3.1.1 ละลาย K_2PtCl_6 1.246 กรัม (สมมูลกับ 500 mg Pt) และ $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 1.00 กรัม (สมมูลกับ 250 mg Co) ในน้ำกลั่นซึ่งเติม Conc. HCl 100 มิลลิลิตร เขย่าแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จะได้ Stock Color Solution 500 units

3.1.2 เตรียมอนุกรมของ Standard ที่ค่า 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 Pt.Co.

3.1.3 นำ Color Solution ไปวัดค่า Absorbance ที่ ความยาวคลื่นที่เหมาะสม

3.1.4 บันทึกค่าเป็น Standard Curve ในเครื่อง

3.1.5 นำตัวอย่างวัดค่าจากเครื่อง ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น Pt.Co.

4. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS)

การทดสอบหาปริมาณของแข็งแขวนลอยใช้วิธี Gravimetric กรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง อบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C จนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณของแข็งที่ค้างอยู่บนกระดาษกรอง

ของแข็งทั้งหมด (Total Solid) หมายถึง สารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C สิ่งที่เหลืออยู่คือตะกอนของสารที่มีในตัวอย่างน้ำเท่านั้น ตะกอนที่คงเหลืออยู่นั้นมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ของแข็งทั้งหมดประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids) คือสารที่ค้างอยู่บนกระดาษกรอง (2.0 µm Pore Size) และของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) คือ ส่วนที่ผ่านกระดาษกรอง

การหาค่าของแข็งแขวนลอยเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายหากใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย จึงควรใช้ตัวอย่างปริมาณมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับน้ำที่มีความสกปรกน้อยอาจใช้ปริมาตรตัวอย่างถึง 1 ลิตร

รายละเอียดการประกันคุณภาพ

- QA Limit สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ เท่ากับร้อยละ 10
- ปริมาณของตะกอนบนกระดาษกรองหลังจากนำไปอบแห้งแล้วควรมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 – 200 มิลลิกรัม

4.1 หลักการ

กรองน้ำตัวอย่างที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันผ่านกระดาษกรอง GF/C (Glass-Fiber Filter) ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำกระดาษกรองพร้อมตะกอนที่ค้างอยู่ด้านบนไปอบที่อุณหภูมิ 103–105 °C จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือ ปริมาณของแข็งที่แขวนลอย

4.2 สิ่งรบกวน

แยกตะกอนขนาดใหญ่ที่ลอยน้ำหรือจมน้ำอยู่ที่ไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของตัวอย่างออก

4.3 การเก็บรักษาตัวอย่าง

ควรเก็บตัวอย่างด้วยขวดแก้วหรือขวดพลาสติก ในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันทีให้แช่เย็นตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 °C โดยไม่ต้องเติมสารใด ๆ และเก็บไว้ได้นานไม่เกิน 7 วัน

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 4.4.1 กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
- 4.4.2 อุปกรณ์ชุดกรอง
- 4.4.3 เครื่องดูดอากาศ
- 4.4.4 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ $103 - 105^{\circ}\text{C}$
- 4.4.5 โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น
- 4.4.6 เครื่องชั่งอย่างละเอียด ที่สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.0001 g
- 4.4.7 กระดาษอะลูมิเนียมเพื่อทำเป็นภาชนะสำหรับใส่กระดาษกรอง
- 4.4.8 กระบอกตวง (Cylinder)
- 4.4.9 คีมคีบ (Forceps)

4.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์

4.5.1 การเตรียมกระดาษกรอง

- 1) นำกระดาษกรองไปใส่ในถ้วยกระดาษอะลูมิเนียมที่ทำรหัสไว้
- 2) อบด้วยกระดาษอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองที่อุณหภูมิ $103 - 105^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในโถทำแห้ง (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนักในถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรอง
- 3) เก็บถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองไว้ในโถทำแห้งจนกว่าจะนำมาใช้
- 4) การวิเคราะห์ การเลือกตัวอย่างอย่างน้อยร้อยละ 10 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด สำหรับการวิเคราะห์ซ้ำ เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำสำหรับนำไปกรองที่จะให้ค่าของแข็งแขวนลอยโดยประมาณ 2.5 – 200 มิลลิกรัม กรณีที่เก็บตัวอย่างแช่เย็นไว้ ให้ทำให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องก่อน
- 5) ใช้คีมหนีบคีบกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักในโถทำแห้ง มาวางลงบนกรวยในชุดกรอง ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศโดยให้ด้านขรุขระของกระดาษกรองอยู่ด้านบน
- 6) ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก และให้ดูดติดแน่นกับกรวย
- 7) เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันดี แล้วเทตัวอย่างใส่กระบอกตวงครั้งเดียวให้ได้ปริมาตรใกล้เคียงกับที่ต้องการ แล้วจดบันทึกปริมาตรที่เทได้
- 8) เทตัวอย่างใส่ชุดกรอง เปิดเครื่องดูดอากาศ
- 9) ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่อาจติดอยู่ข้างกระบอกตวง และชุดกรองจนหมดและรอจนกว่ากระดาษกรองจะแห้ง

- 10) ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้คีมหนีบคีมกระดาษกรองใส่ถ้วยอะลูมิเนียมอันเดิม
- 11) นำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 12) ทิ้งไว้ให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิของห้องในโถทำแห้ง จากนั้นชั่งหาน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองใหม่
- 13) ให้ทำซ้ำ 11 -12 ซ้ำอีกจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง แตกต่างกันไม่มากกว่า 0.0005 กรัม หรือ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักครั้งแรก

4.6 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (SS) (mg/l)} = \frac{(B - A) \times 1,000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

A = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรอง (mg)

B = น้ำหนัก (ที่ชั่งได้ค่าน้อยที่สุด) ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมกระดาษกรองและตัวอย่าง (mg)

5. ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นเกิดจากการมีสารแขวนลอย อยู่ในน้ำแล้วทำให้เกิดการกระจาย (Scattered) และดูดกลืน (Absorbed) ของแสง การวัดความขุ่นแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

5.1 Turbidimetric Method คือการวัดความขุ่นของน้ำโดยการให้แสงสีขาวยส่องผ่านตัวอย่างน้ำ แล้วเปรียบเทียบกับแสงที่ส่องผ่าน Standard Suspension วิธีนี้ต่างจากวิธี Nephelometric Method คือเป็นการวัดผลของ Transmission of Light ในขณะที่วิธี Nephelometric Method เป็นการวัดผลของ Scattering of Light เครื่องมือวัดความขุ่นที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ Jackson Candle Turbidimeter และ Standard Bottle

5.1.1 Jackson Candle Turbidimeter เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับความขุ่น ประกอบด้วย Calibrate Glass Tube , Holder และ Candle

Jackson Tube เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกกันแบน ข้างหลอดมีขีดบอกความสูงเป็นเซนติเมตร ระยะจากกันหลอดถึงขีดสูงของตัวอย่างน้ำในหลอดแก้วที่ทำให้แสงของเปลวเทียนมาตรฐานหายไปพอดี เรียกว่า Light Path จากค่าที่ได้ก็นำไปเปรียบเทียบกับค่าความขุ่นของน้ำนั้นได้จากตารางมาตรฐาน สำหรับ Tube ที่ใช้มีทั้งชนิดสั้นและยาว

ชนิดสั้น (Short Tube) ใช้หาความขุ่นตั้งแต่ 100 – 1000 Units of Turbidity

ชนิดยาว (Long Tube) ใช้หาความขุ่นตั้งแต่ 25 – 1000 Units of Turbidity ในกรณีที่ความขุ่นมากกว่า 1000 หน่วย ต้องเจือจางตัวอย่างก่อนวัด

Standard Candle ทำจากขี้ผึ้งกับไขปลาวาฬ มีอัตราการเผาไหม้ 114 – 120 เกรน/ชั่วโมง

ขาตั้ง (Holder) ประกอบด้วย Supporter ที่มีสปริง อยู่ด้านล่างเพื่อดันปลายเทียนให้ห่างจากขอบแก้ว 7.6 เซนติเมตร เสมอ

ข้อควรระวัง

1. ต้องเช็คหลอดแก้วให้สะอาดอยู่เสมอ โดยเฉพาะตรงกันหลอด
2. ต้องตั้งเทียนไขให้จรดกับฝาครอบของ Supporter เสมอ
3. การจุดเทียนแต่ละครั้งต้องนาน ไม่เกิน 2-3 นาที ถ้ามากกว่านี้จะทำให้ไส้เทียนบิดงอ เปลวเทียนจะอยู่ห่างจากขอบแก้วไม่ถึง 7.6 เซนติเมตร
4. อย่าปล่อยให้หลอดแก้วถูกอุณหภูมิร้อนเพราะจะทำให้เกิดการขยายตัว
5. ควรทำการทดลองในที่มืด และต้องไม่มีฟองอากาศในหลอดแก้วขณะทำการทดลอง และไม่มีการสัมผัสเทียนของหลอดด้วย

5.1.2 Standard Bottle คือขวดมาตรฐานใช้วัดความขุ่นตั้งแต่ 5 -100 Units โดยเปรียบเทียบกับสารละลายที่ต้องเตรียมไว้ ในการเปรียบเทียบต้องใช้ขวดชนิดเดียวกัน ปริมาตรเท่ากัน (ประมาณ 1 ลิตร) ทั้งของสารละลายมาตรฐานและตัวอย่าง โดยมากใช้ขวดที่ทำด้วย Pyrex หรือ Resistant Glass มีจุกแก้วพร้อม

Standard Suspension ต้องเตรียมโดยใช้ Jackson Turbidimeter วัดก่อน ปกติใช้ Stock Supply ที่มีความขุ่นเท่ากับ 100 หน่วย แล้วเจือจางให้ได้ความขุ่นต่าง ๆ กัน เป็นอนุกรม ข้อเสียของวิธีนี้คือ Standard Suspension ต้องเปลี่ยนบ่อยเพราะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและจำนวนของ Particle Size และยังคงควบคุม Biological Growth ด้วย $HgCl_2$

ทั้ง Jackson Candle Turbidimeter และ Standard Bottle เป็นการวัดความขุ่นโดยวิธี Visual Method

การวัดความขุ่นของน้ำควรตรวจวัดทันที ถ้าเก็บไว้เกิน 24 ชั่วโมง ต้องเติม $HgCl_2$ ต่อ 1 sample และเก็บไว้ในตู้เย็น ในการวิเคราะห์ต้องเขย่าขวดตัวอย่างก่อนทุกครั้ง

อาจใช้ Spectrophotometer หรือ Photometer ไต ๆ แทน Turbidimeter ได้ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่ม ความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดความขุ่น ควรวัดที่ 420 nm

5.2 Nephelometric Method คือ การวัดความขุ่นโดยการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่กระจัดกระจาย (Light Scattered) ของตัวอย่างกับสารมาตรฐานภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน ถ้าความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายมีมากความขุ่นก็จะมากขึ้นเช่นกัน วิธีนี้แสงจะถูกปล่อยให้กระทบ Suspension เป็นมุมฉากกับตาผู้สังเกต หรือ Photoelectric Cell ของเครื่องมือ แสงที่ถูกสะท้อนโดยสารแขวนลอย จะถูกรวบรวมโดย Reflector และ Record ไว้ หลักการนี้ใช้ได้ดีกับการวัดความขุ่นต่ำ ๆ เพราะความขุ่นเล็กน้อยก็สามารถเกิดการกระจัดกระจายของแสงได้ อาจใช้เครื่องมือนี้ในการวัด อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ด้วย

Standard Suspension สำหรับวิธีนี้คือ Formazin Polymer เป็น Turbidity Standard Reference เพราะเตรียมง่าย ให้ค่าความขุ่นที่เชื่อถือได้ในคุณสมบัติที่เกี่ยวกับ Light Scattered

สิ่งขัดขวางในการทดสอบ

- สิ่งเน่าเปื่อย ตะกอนหยาบ ซึ่งนอนกันอย่างเร็ว
- ฟองอากาศ
- ความสกปรกและรอยขีดข่วนบนเครื่องแก้ว
- การสั่นสะเทือนบนผิวน้ำ ทำให้รบกวนการมอง
- True Color ที่มีในตัวอย่างน้ำ ทำให้เกิดการดูดซับ (Absorb) แสงทำให้ค่าความขุ่นที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

สำหรับการวัดความขุ่นในการทดลอง ครั้งนี้ใช้เครื่อง Hach Model 2100 P - Portable Turbidity Meter ซึ่งใช้หลักการเดียวกับการวัดความขุ่นโดยใช้ Nephelometric Method ข้อมูลจำเพาะของเครื่อง ได้แก่

- Measurement Method Ratio Nephelometric Signal (90 °) Scatter Light Ratio to Transmitted Light
- ช่วงการวัด 0 – 1000 NTU
- Accuracy $\pm 2 \%$
- Resolution 0.01 NTU
- Light Source Tungsten Filament Lamp
- Detector Silicon Photovoltaic
- Sample Cell Borosilicate Glass with Screw Caps
- Sample Required 15 ml

วิธีการวัดความขุ่น

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
2. เช็ดตัวอย่างน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. รินตัวอย่างน้ำเล็กน้อยลงใน Sample Cell เพื่อกลั้ว Cell ประมาณ 2 – 3 ครั้ง
4. รินตัวอย่างน้ำใส่ใน Sample Cell ให้ถึงขีดบอกระดับตัวอย่าง ระวังอย่าให้เกิดฟอง ปิดฝา Cell ให้สนิท
5. ใช้ผ้าเช็ดรอบ ๆ Cell ให้สะอาด ระวังไม่ให้เกิดรอยขีดข่วน หรือรอยนิ้วมือ
6. วาง Cell ลงใน Sample Holder ปิดฝา กด Read เพื่ออ่านค่าที่ได้

6. Chemical Oxygen Demand (COD)

หลักการ

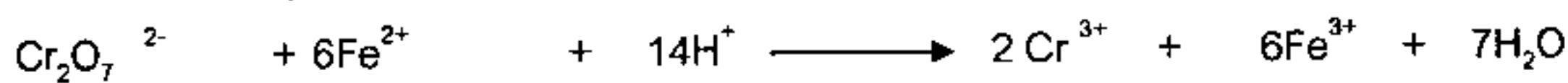
ความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอาจบอกได้จากค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ซึ่งปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยอาศัยหลักการที่ว่า สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด สามารถถูกออกซิไดซ์โดยตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด



จากปริมาณตัวออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยา จะสามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ได้ ตัวเดิมออกซิเจนที่ใช้ในการหาค่า COD ของน้ำมีอยู่หลายตัวเช่น potassium permanganate, potassium iodide, potassium dichromate สำหรับการทดลองครั้งนี้จะใช้ potassium dichromate โดยในการทดลองจะเติม potassium dichromate ไปมากเกินไปพอ ซึ่ง Dichromate ion จะถูก Reduced ไปเป็น Cr^{3+} ตามสมการ



ปริมาณของ Potassium Dichromate ที่เหลือจะหาได้โดยการไทเทรตย้อนกลับ (Back Titration) กับสารละลายมาตรฐานของ Ferrous โดยมี Ferrion เป็น Redox Indicator ตามสมการ



ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีจะมีสารสอดแทรก (Interference) ที่สำคัญคือ คลอไรด์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแก้ไขโดยการใส่สารเคมีที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่น เมอร์คิวริกซัลเฟต (HgSO_4) ลงไปตอนรีฟลักซ์ เพื่อจะไปจับอิออนคลอไรด์ (Cl^-) ให้อยู่ในรูปของเมอร์คิวริกคลอไรด์คอมเพล็กซ์

อุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในชุดการรีฟลักซ์ (Reflux Apparatus) ประกอบด้วย
 - 1.1 ขวด Erlenmeyer Flask ขนาดบรรจุ 250 ลบ.ซม. หรือขวดกลมก้นแบน (Flat-bottom Flask) ชนิดที่มีปากกว้างจอยท์ด้านในขนาด 24/40
 - 1.2 เครื่องความแน่น (Condenser) ซึ่งมีแจ็คเก็ต (Jacket) ขนาด 300 มิลลิเมตร มีกรวยจอยท์ด้านนอก ขนาด 24/40
 - 1.3 เตาชนิด Hot Plate หรือ Heating Mantle ซึ่งสามารถให้กำลังไฟฟ้าอย่างน้อย 14 วัตต์ ตารางเซนติเมตร ที่ผิวหน้าเตา
2. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 ลิตร
3. ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
5. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
6. ขวดชมพู ขนาด 500 มิลลิลิตร

ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นสารละลายไอออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตไดไฮดรเอต

การทดลอง

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแท่งเซียมไดโครเมต 10.00 มิลลิลิตร มาเติมน้ำ 90 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 30 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับไอออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอร์โรอิน (Ferrouin) จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง แล้วคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

$$\text{ความเข้มข้น FAS (โมล / ลบ.ตม.)} = \frac{(\text{ลบ.ซม. } 0.047 \text{ MK}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times 0.25}{\text{ลบ.ซม. Fe (NH}_4)_2(\text{SO}_4)}$$

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาค่า COD

การทดลอง

1. ใส่เมอร์คิวรี (II) ซัลเฟต (HgSO_4) ประมาณ 4.5 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมตัวอย่างน้ำ หรือตัวอย่างน้ำที่เจือจางแล้วลงไป 20.00 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจนละลาย การใช้เมอร์คิวรี (II) ซัลเฟตเพื่อกำจัด Cl^- โดยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^-$ เป็น 10:1 และถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยหลังจากเติมเมอร์คิวรี (II) ซัลเฟตลงไปแล้ว ก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการวิเคราะห์แต่อย่างใด

2. เติมน้ำละลายมาตรฐานโปรแทสเซียมไดโครเมตจำนวน 10.00 มิลลิลิตร แล้วค่อย ๆ เติมน้ำละลายกรดซัลฟิวริกเรเจนต์ จำนวน 30.00 มิลลิลิตร ลงไป
3. ใส่ลูกแก้ว (Glass Beads) ลงไป 5 - 6 เม็ดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรง ก่อนที่จะทำการรีฟลักซ์ จะต้องผสมสารละลายในขวดให้เข้ากันเสียก่อน มิฉะนั้นเมื่อสารละลายในส่วนก้นขวดเริ่มร้อนอาจทำให้ส่วนผสมพุ่งออกจากเครื่องควบแน่น
4. นำขวดรีฟลักซ์ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น ใช้ปิเปตอร์ขนาดเล็กล้างเปิดปลายด้านเปิดของเครื่องควบแน่นเพื่อป้องกันสารต่าง ๆ จากภายนอกหลุดเข้าไป แล้วรีฟลักซ์หรือต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ทั้งไว้ให้เย็นล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะถอดเครื่องควบแน่นออกจากขวดรีฟลักซ์
5. ทำส่วนผสมที่ได้ในข้อ 4 ให้เจือจางลงด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตร ทำให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วจึงไตเตรตหาปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินไป ด้วยสารละลายมาตรฐานไอโธน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) โดยใช้เฟอร์โรซินเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปใช้ประมาณ 2-3 หยด การเปลี่ยนสีของส่วนผสมเมื่อถึงจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ควรใช้เมื่อตอนที่สีเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลแดงทันที ถึงแม้ว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้สักครู่หนึ่งสีนั้นอาจเปลี่ยนกลับไปเป็นสีน้ำเงินเขียวใหม่ก็ตาม
6. การทำแบบลงค์ควรทำไปพร้อมกับตัวอย่าง ใช้น้ำกลั่น 20.00 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างน้ำเติมเรเจนต์ต่าง ๆ ที่ใช้และทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกันกับตัวอย่างทุกประการ ในการที่ใช้ปริมาณของตัวอย่างต่าง ๆ กัน อัตราส่วนของสารละลายอื่น ๆ จะต้องเปลี่ยนแปลงด้วย ดังแสดงไว้ในตารางดังต่อไปนี้

Sample Size. (ml)	0.0417 M std. Dichromate, (ml)	Conc. H ₂ SO ₄ With Ag ₂ SO ₄ (ml)	HgSO ₄ (g)	Molarity of Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂	Final Volume Before Titration (ml)
10	5	15	0.2	0.05	70
20	15	30	0.4	0.10	140
30	15	45	0.6	0.15	210
40	20	60	0.8	0.20	280
50	25	75	1.0	0.25	350

จาก Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, 1998

การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มิลลิกรัม O}_2\text{ /ลูกบาศก์เดซิเมตร)} = \frac{(A-B) \times M \times 8,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ

A = ปริมาตรสารละลายไอโอรอน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตรเตรตสำหรับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรสารละลายไอโอรอน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตรเตรตสำหรับตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

M = โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ไอโอรอน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต

8000 = มิลลิกรัมสมมูลย์ของออกซิเจน $\times$ 1000 มิลลิลิตร/ลิตร

ตอนที่ 3 วิธีการวิเคราะห์ COD Close Reflux (Dichromate Reflux Method)

เนื่องจากการวิเคราะห์ซีไอดีแบบเปิด (Open Reflux) ต้องใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมงในการทดสอบ และในการรีฟลักซ์ เตาที่ใช้ในการให้ความร้อนมีจำนวน 5 เตาต่อการรีฟลักซ์ 1 ครั้ง ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานาน ในการทดสอบทดลองครั้งนี้ ซึ่งมีปริมาณตัวอย่างถึง 144 ตัวอย่าง จึงต้องใช้วิธี Close Reflux ซึ่งเป็นวิธีที่ พัฒนาจากวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ COD วิธีดังกล่าวพัฒนาโดย บริษัท Hach และได้รับการรับรองจาก US EPA สำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย

อุปกรณ์

1. หลอด Reagent สำเร็จรูป ของ Hach
2. Spectrophotometer Hach DR 2010
3. ปิเปต 2 มิลลิลิตร
4. ลูกยาง
5. ขวดน้ำกลั่น
6. Heating Box (COD Reactor) สำหรับ Digest ที่ 150 ° C

วิธีการ

1. ปิเปตตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดรีเอเจนท์สำเร็จรูป ปิดฝา เขย่าให้เข้ากัน
2. นำเข้า Heating Box เพื่อ Digest ที่ 150 ° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. ทิ้งให้เย็น แล้ววัดค่าที่ได้โดยใช้โปรแกรม และกราฟมาตรฐาน สำเร็จรูปที่มีในเครื่อง Spectrophotometer Hach DR 2010 บันทึกค่า COD ที่อ่านได้จากเครื่อง มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบทางสถิติ

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบทางสถิติ

การบำบัดด้วยสารส้ม

1. ผลของความเป็นกรด – ด่าง

1.1 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับ COD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด การบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 11.83, 11.67 และ 4.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 2.41, 1.87 และ 2.15 ตามลำดับ

1.2 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 6.76, 9.26 และ 5.11 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 1.37, 3.05 และ 2.39 ตามลำดับ

1.3 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดมีคุณภาพดังนี้

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 12.78, 9.17 และ 6.81 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 6.66, 1.28 และ 3.54 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases		Missing		Total	
		Valid	Percent	N	Percent	N	Percent
COD	pH						
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	7.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	7.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	7.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

COD	pH			Statistic	Std. Error
	6.00	Mean		11.8333	.6945
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.3048	
			Upper Bound	13.3619	
		5% Trimmed Mean		11.8148	
		Median		12.0000	
		Variance		5.788	
		Std. Deviation		2.4058	
		Minimum		8.00	
		Maximum		16.00	
		Range		8.00	
		Interquartile Range		4.5000	
		Skewness		-.001	.637
		Kurtosis		-.678	1.232
	7.00	Mean		11.6667	.5412
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.4754	
			Upper Bound	12.8579	
		5% Trimmed Mean		11.7407	
		Median		11.5000	
		Variance		3.515	
		Std. Deviation		1.8749	
		Minimum		8.00	
		Maximum		14.00	
		Range		6.00	
		Interquartile Range		3.5000	
		Skewness		-.313	.637
		Kurtosis		-.349	1.232
	8.00	Mean		4.9167	.6211
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	3.5497	
			Upper Bound	6.2836	
		5% Trimmed Mean		5.0185	
		Median		5.0000	
		Variance		4.629	
		Std. Deviation		2.1515	
		Minimum		.00	

Color	6.00	Maximum		8.00	
		Range		8.00	
		Interquartile Range		2.7500	
		Skewness		-.857	.637
		Kurtosis		1.341	1.232
		Mean		6.7583	.3970
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	5.8844	
			Upper Bound	7.6322	
		5% Trimmed Mean		6.7148	
		Median		6.7000	
	7.00	Variance		1.892	
		Std. Deviation		1.3754	
		Minimum		5.00	
		Maximum		9.30	
		Range		4.30	
		Interquartile Range		1.8750	
		Skewness		.587	.637
		Kurtosis		-.057	1.232
		Mean		9.2583	.8806
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.3203	
	8.00		Upper Bound	11.1964	
		5% Trimmed Mean		9.2037	
		Median		10.0000	
		Variance		9.304	
		Std. Deviation		3.0503	
		Minimum		5.10	
		Maximum		14.40	
		Range		9.30	
		Interquartile Range		5.5250	
		Skewness		-.028	.637
	8.00	Kurtosis		-1.032	1.232
		Mean		5.1083	.6911
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	3.5872	
			Upper Bound	6.6295	
		5% Trimmed Mean		4.9370	
		Median		4.2000	
		Variance		5.732	
		Std. Deviation		2.3941	
		Minimum		2.90	
		Maximum		10.40	
Turbidity	6.00	Range		7.50	
		Interquartile Range		3.6000	
		Skewness		1.413	.637
		Kurtosis		.773	1.232
		Mean		12.7775	1.9234
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	8.5441	
			Upper Bound	17.0109	
		5% Trimmed Mean		12.7933	
		Median		13.4000	
		Variance		44.394	
		Std. Deviation		6.6629	
		Minimum		4.17	

7.00	Maximum		21.10	
	Range		16.93	
	Interquartile Range		13.5100	
	Skewness		-.092	.637
	Kurtosis		-1.899	1.232
	Mean		9.1708	.3709
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	8.3544	
		Upper Bound	9.9872	
	5% Trimmed Mean		9.1681	
	Median		9.0650	
	Variance		1.651	
	Std. Deviation		1.2849	
	Minimum		7.19	
	Maximum		11.20	
8.00	Range		4.01	
	Interquartile Range		2.4300	
	Skewness		.034	.637
	Kurtosis		-1.338	1.232
	Mean		6.8108	1.0217
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	4.5621	
		Upper Bound	9.0595	
	5% Trimmed Mean		6.7370	
	Median		5.0700	
	Variance		12.526	
	Std. Deviation		3.5392	
	Minimum		2.55	
	Maximum		12.40	
	Range		9.85	
	Interquartile Range		6.6275	
	Skewness		.538	.637
	Kurtosis		-1.402	1.232

1.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่าผลการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยสารส้มที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นค่าสี ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8

Tests of Normality

	pH	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	6.00	.149	12	.200	.953	12	.639
	7.00	.143	12	.200	.931	12	.422
	8.00	.168	12	.200	.938	12	.468
Color	6.00	.154	12	.200	.920	12	.346
	7.00	.141	12	.200	.945	12	.526
	8.00	.350	12	.000	.764	12	.010
Turbidity	6.00	.201	12	.193	.878	12	.090
	7.00	.164	12	.200	.946	12	.538
	8.00	.271	12	.015	.884	12	.109

* This is a lower bound of the true significance.

** This is an upper bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

1.5 Test of Homogeneity of Variances

จากการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของการบำบัดตัวอย่างน้ำ ด้วยสารส้มที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 พบว่า ค่า COD หลังการบำบัดมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p > 0.05$) ส่วนค่าความขุ่นหลังการบำบัดมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p < 0.05$)

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
COD	.256	2	33	.776
Turbidity	31.274	2	33	.000

1.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยสถิติทดสอบ ANOVA

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยสารส้มที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6, 7 และ 8 มีค่า COD เฉลี่ย และ ค่าความขุ่นเฉลี่ย ต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลังการบำบัด ของแต่ละคู่พบว่า

- COD เฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6 และ 7 ไม่แตกต่างกัน (sig. > 0.05)
- COD เฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6 และ 8 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- COD เฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 7 และ 8 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6 และ 7 ไม่แตกต่างกัน (sig. > 0.05)

- ค่าความชันเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6 และ 8 ไม่แตกต่างกัน (sig. > 0.05)
- ค่าความชันเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 7 และ 8 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	373.722	2	186.861	40.238	.000
	Within Groups	153.250	33	4.644		
	Total	526.972	35			
Turbidity	Between Groups	216.715	2	108.358	5.550	.008
	Within Groups	644.283	33	19.524		
	Total	860.998	35			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD

			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
	(I) pH	(J) pH				Lower Bound	Upper Bound
LSD	6.00	7.00	.1667	.8798	.851	-1.6232	1.9566
		8.00	6.9167	.8798	.000	5.1268	8.7066
	7.00	6.00	-.1667	.8798	.851	-1.9566	1.6232
		8.00	6.7500	.8798	.000	4.9601	8.5399
	8.00	6.00	-6.9167	.8798	.000	-8.7066	-5.1268
		7.00	-6.7500	.8798	.000	-8.5399	-4.9601

* The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Color

Dunnett T3

			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
	(I) pH	(J) pH				Lower Bound	Upper Bound
6.00	7.00		-2.5000	.9698	.059	-5.0782	7.819E-02
		8.00	1.6500	.9698	.146	-.4373	3.7373
7.00	6.00		2.5000	.9698	.059	-7.8187E-02	5.0782
		8.00	4.1500	.9698	.004	1.2579	7.0421
8.00	6.00		-1.6500	.9698	.146	-3.7373	.4373
		7.00	-4.1500	.9698	.004	-7.0421	-1.2579

* The mean difference is significant at the .05 level.

1.7 การทดสอบความแตกต่างของการแจกแจงของตัวแปร โดยสถิติทดสอบ Non Parametric Test

ผลการทดสอบทางสถิติของการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยสารส้ม ค่าสีหลังการบำบัดที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6, 7 และ 8 มีผลการทดสอบดังนี้

ค่าสีเฉลี่ยของการบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7 มีค่าสูงสุด
ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8 มีค่าต่ำสุด

ค่าเฉลี่ยของการบำบัดด้วยสารส้ม ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 6, 7 และ 8 มีแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
pH 6	12	6.7583	1.3754	5.00	9.30
pH 7	12	9.2583	3.0503	5.10	14.40
pH 8	12	5.1083	2.3941	2.90	10.40

Ranks

	Mean Rank
pH 6	2.00
pH 7	2.58
pH 8	1.42

Test Statistics

	N	12
Chi-Square	8.167	
df	2	
Asymp. Sig.	.017	
a. Friedman Test		

2. ผลของความเข้มข้น

2.1 ผลของความเข้มข้นต่อCOD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 9.83, 10.58 และ 8.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 3.27, 4.25 และ 3.91 ตามลำดับ

2.2 ผลของความเข้มข้น กับค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 6.70, 7.77 และ 6.65 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 2.89, 3.70 และ 1.88 ตามลำดับ

2.3 ผลของความเข้มข้น กับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 6.07, 9.49 และ 13.19 NTU. ตามลำดับ

- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 2.63, 4.59 และ 4.75 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases		Missing		Total	
	Dose	Valid N	Percent	N	Percent	N	Percent
COD	500	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	800	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	1000	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	500	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	800	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	1000	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	500	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	800	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	1000	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

	Dose		Statistic	Std. Error
COD	500	Mean	9.8333	.9441
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	7.7553	
		Upper Bound	11.9114	
		5% Trimmed Mean	9.9259	
		Median	11.0000	
		Variance	10.697	
		Std. Deviation	3.2706	
		Minimum	4.00	
		Maximum	14.00	
		Range	10.00	
		Interquartile Range	4.7500	
		Skewness	-.534	
		Kurtosis	-.684	
	800	Mean	10.5833	1.2276
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	7.8815	
		Upper Bound	13.2852	
		5% Trimmed Mean	10.6481	
		Median	12.0000	
		Variance	18.083	
		Std. Deviation	4.2525	
		Minimum	4.00	
		Maximum	16.00	
		Range	12.00	
		Interquartile Range	8.0000	
		Skewness	-.453	
		Kurtosis	-1.541	
	1000	Mean	8.0000	1.1282
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	5.5170	
		Upper Bound	10.4830	
		5% Trimmed Mean	8.2222	
		Median	8.5000	
		Variance	15.273	
		Std. Deviation	3.9080	
		Minimum	.00	

Color	500	Maximum	12.00	
		Range	12.00	
		Interquartile Range	7.0000	
		Skewness	-.866	.637
		Kurtosis	-.085	1.232
		Mean	6.7000	.8333
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	4.8659	
		Upper Bound	8.5341	
		5% Trimmed Mean	6.6333	
		Median	5.4000	
	800	Variance	8.333	
		Std. Deviation	2.8866	
		Minimum	2.90	
		Maximum	11.70	
		Range	8.80	
		Interquartile Range	5.3250	
		Skewness	.677	.637
		Kurtosis	-.933	1.232
		Mean	7.7750	1.0689
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	5.4225	
	1000	Upper Bound	10.1275	
		5% Trimmed Mean	7.6444	
		Median	8.0000	
		Variance	13.709	
		Std. Deviation	3.7026	
		Minimum	3.50	
		Maximum	14.40	
		Range	10.90	
		Interquartile Range	6.4250	
		Skewness	.331	.637
Turbidity	500	Kurtosis	-.964	1.232
		Mean	6.6500	.5424
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	5.4562	
		Upper Bound	7.8438	
		5% Trimmed Mean	6.5944	
		Median	6.7500	
		Variance	3.530	
		Std. Deviation	1.8788	
		Minimum	3.70	
		Maximum	10.60	
	500	Range	6.90	
		Interquartile Range	2.8000	
		Skewness	.436	.637
		Kurtosis	.535	1.232
		Mean	6.0717	.7596
		95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	4.3999	
		Upper Bound	7.7435	
		5% Trimmed Mean	6.0563	
		Median	5.1300	
		Variance	6.923	
		Std. Deviation	2.6312	
		Minimum	2.55	
		Maximum	9.87	
		Range	7.32	
		Interquartile Range	4.7075	
		Skewness	.239	.637

800	Kurtosis	-1.741	1.232
	Mean	9.4900	1.3250
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6.5737
		Upper Bound	12.4063
	5% Trimmed Mean	9.2056	
	Median	7.9200	
	Variance	21.067	
	Std. Deviation	4.5899	
	Minimum	4.40	
	Maximum	19.70	
	Range	15.30	
	Interquartile Range	5.3175	
	Skewness	1.199	.637
	Kurtosis	1.113	1.232
	Mean	13.1975	1.3714
1000	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.1790
		Upper Bound	16.2160
	5% Trimmed Mean	13.0922	
	Median	11.3500	
	Variance	22.570	
	Std. Deviation	4.7508	
	Minimum	7.19	
	Maximum	21.10	
	Range	13.91	
	Interquartile Range	8.1375	
	Skewness	.651	.637
	Kurtosis	-1.093	1.232

2.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่าผลการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ทุกความเข้มข้นที่ศึกษา

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Dose	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	500	.223	12	.103	.932	12	.429
	800	.215	12	.131	.872	12	.077
	1000	.167	12	.200	.901	12	.223
Color	500	.232	12	.074	.896	12	.184
	800	.173	12	.200	.922	12	.360
	1000	.121	12	.200	.969	12	.842
Turbidity	500	.213	12	.138	.894	12	.174
	800	.214	12	.136	.877	12	.086
	1000	.233	12	.070	.888	12	.135

* This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

2.5 Test of Homogeneity of Variances

จากการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของการบำบัดตัวอย่างน้ำ ด้วยสารส้ม ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD และความขุ่นหลังการบำบัด มีค่าความแปรปรวนเท่ากันที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p > 0.05$) ส่วนค่าสีหลังการบำบัดมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p < 0.05$)

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
COD	.734	2	33	.488
Color	4.012	2	33	.028
Turbidity	1.832	2	33	.176

2.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยสถิติทดสอบ ANOVA

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยสารส้ม ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าความขุ่นเฉลี่ย แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig.<0.05) อย่างน้อย 1 คู่ ส่วน COD เฉลี่ย มีค่าไม่แตกต่างกัน (sig. >0.05)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลังการบำบัด ของแต่ละคู่พบว่า

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 500 และ 800 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 800 และ 1000 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 500 และ 1000 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าสีเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 ไม่แตกต่างกัน (sig. > 0.05)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	42.389	2	21.194	1.443	.251
	Within Groups	484.583	33	14.684		
	Total	526.972	35			
Turbidity	Between Groups	304.832	2	152.416	9.044	.001
	Within Groups	556.166	33	16.854		
	Total	860.998	35			

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) Dose	(J) Dose	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
COD	500	800	-.7500	1.5644	.635	-3.9328	2.4328
		1000	1.8333	1.5644	.250	-1.3495	5.0162
	800	500	.7500	1.5644	.635	-2.4328	3.9328
		1000	2.5833	1.5644	.108	-.5995	5.7662
	1000	500	-1.8333	1.5644	.250	-5.0162	1.3495
		800	-2.5833	1.5644	.108	-5.7662	.5995
Turbidity	500	800	-3.4183	1.6760	.049	-6.8281	-8.5208E-03
		1000	-7.1258	1.6760	.000	-10.5356	-3.7160
	800	500	3.4183	1.6760	.049	8.521E-03	6.8281
		1000	-3.7075	1.6760	.034	-7.1173	-.2977
	1000	500	7.1258	1.6760	.000	3.7160	10.5356
		800	3.7075	1.6760	.034	.2977	7.1173

* The mean difference is significant at the .05 level.

ANOVA

Color

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.695	2	4.847	.569	.572
Within Groups	281.292	33	8.524		
Total	290.987	35			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Color

Dunnett T3

(I) Dose	(J) Dose	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
500	800	-1.0750	1.1919	.813	-4.5766	2.4266
	1000	5.000E-02	1.1919	1.000	-2.5408	2.6408
800	500	1.0750	1.1919	.813	-2.4266	4.5766
	1000	1.1250	1.1919	.727	-2.0514	4.3014
1000	500	-5.0000E-02	1.1919	1.000	-2.6408	2.5408
	800	-1.1250	1.1919	.727	-4.3014	2.0514

การบำบัดด้วยโคโตซาน

1. ผลของความเป็นกรด – ด่าง

1.1 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับ ค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 6 ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 21.56, 22.05 และ 18.19 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 1.12, 2.67 และ 5.39 ตามลำดับ

1.2 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 6 ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 8.35, 8.06 และ 8.84 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 1.05, 2.99 และ 1.45 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases		Missing		Total	
		Valid	Percent	N	Percent	N	Percent
COD	pH						
	4.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	5.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	4.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	5.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	4.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	5.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

		Statistic		Std. Error	
COD	pH				
	4.00	Mean	691.2500	109.8307	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	449.5142	
			Upper Bound	932.9858	
		5% Trimmed Mean	688.0000		
		Median	764.0000		
		Variance	144753.47		
			7		
		Std. Deviation	380.4648		
		Minimum	224.00		
		Maximum	1217.00		
		Range	993.00		
		Interquartile Range	828.0000		
		Skewness	.080	.637	
		Kurtosis	-1.406	1.232	

Color	5.00	Mean		1454.0000	416.6352
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	536.9922	
			Upper Bound	2371.0078	
		5% Trimmed Mean		1290.3333	
		Median		1116.5000	
		Variance		2083018.182	
		Std. Deviation		1443.2665	
		Minimum		150.00	
		Maximum		5704.00	
		Range		5554.00	
		Interquartile Range		788.2500	
		Skewness		2.660	.637
		Kurtosis		7.986	1.232
	6.00	Mean		921.2500	106.3357
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	687.2068	
			Upper Bound	1155.2932	
		5% Trimmed Mean		923.2222	
		Median		927.5000	
		Variance		135687.295	
		Std. Deviation		368.3576	
		Minimum		436.00	
		Maximum		1371.00	
		Range		935.00	
		Interquartile Range		806.7500	
		Skewness		-.130	.637
		Kurtosis		-1.591	1.232
	4.00	Mean		21.5583	.3225
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	20.8485	
			Upper Bound	22.2682	
		5% Trimmed Mean		21.5648	
		Median		21.6500	
		Variance		1.248	
		Std. Deviation		1.1172	
		Minimum		19.20	
		Maximum		23.80	
		Range		4.60	
		Interquartile Range		1.3500	
		Skewness		-.157	.637
		Kurtosis		1.872	1.232
	5.00	Mean		22.0500	.7701
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	20.3549	
			Upper Bound	23.7451	
		5% Trimmed Mean		22.3667	
		Median		22.7000	
		Variance		7.117	
		Std. Deviation		2.6678	
		Minimum		13.90	
		Maximum		24.50	
		Range		10.60	
		Interquartile Range		1.1250	

Turbidity	6.00	Skewness	-2.992	.637
		Kurtosis	9.824	1.232
		Mean	18.1917	1.5541
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	14.7711
			Upper Bound	21.6122
		5% Trimmed Mean	17.6352	
		Median	16.8500	
		Variance	28.983	
		Std. Deviation	5.3836	
		Minimum	12.90	
		Maximum	33.50	
		Range	20.60	
		Interquartile Range	4.5250	
		Skewness	2.344	.637
		Kurtosis	6.522	1.232
	4.00	Mean	8.3467	.3036
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.6784
			Upper Bound	9.0149
		5% Trimmed Mean	8.3930	
		Median	8.2250	
		Variance	1.106	
		Std. Deviation	1.0518	
		Minimum	5.97	
		Maximum	9.89	
		Range	3.92	
		Interquartile Range	1.3600	
		Skewness	-.674	.637
		Kurtosis	1.288	1.232
	5.00	Mean	8.0575	.8624
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6.1594
			Upper Bound	9.9556
		5% Trimmed Mean	7.6622	
		Median	7.4150	
		Variance	8.925	
		Std. Deviation	2.9874	
		Minimum	5.93	
		Maximum	17.30	
		Range	11.37	
		Interquartile Range	1.1675	
		Skewness	3.148	.637
		Kurtosis	10.473	1.232
	6.00	Mean	8.8367	.4196
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.9131
			Upper Bound	9.7603
		5% Trimmed Mean	8.7935	
		Median	8.5750	
		Variance	2.113	
		Std. Deviation	1.4536	
		Minimum	6.75	
		Maximum	11.70	
		Range	4.95	
		Interquartile Range	1.8800	

Skewness	.834	.637
Kurtosis	.335	1.232

1.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่าผลการบำบัดด้วยน้ำด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 6 ส่วนใหญ่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงต้องใช้สถิติทดสอบแบบ Non Parametric

Tests of Normality

	pH	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	4.00	.204	12	.181	.876	12	.085
	5.00	.293	12	.005	.676	12	.010
	6.00	.194	12	.200	.878	12	.090
Color	4.00	.164	12	.200	.945	12	.523
	5.00	.379	12	.000	.585	12	.010
	6.00	.242	12	.051	.746	12	.010
Turbidity	4.00	.165	12	.200	.921	12	.355
	5.00	.378	12	.000	.541	12	.010
	6.00	.193	12	.200	.928	12	.397

** This is an upper bound of the true significance.

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

1.4.1 pH – Color

การทดสอบทางสถิติของการบำบัดด้วยน้ำด้วยโคโตซาน ค่าสีหลังการบำบัดที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 6 มีผลการทดสอบดังนี้

ค่าสีเฉลี่ยของการบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5 มีค่าสูงสุด ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 6 มีค่าต่ำสุด

ค่าสีเฉลี่ยของการบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 4, 5 และ 6 แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance < 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
pH 4	12	21.5583	1.1172	19.20	23.80
pH 5	12	22.0500	2.6678	13.90	24.50
pH 6	12	18.1917	5.3836	12.90	33.50

Ranks

	Mean Rank
pH 4	2.08
pH 5	2.75
pH 6	1.17

Test Statistics

N	12
Chi-Square	15.167
df	2
Asymp. Sig.	.001

a. Friedman Test

1.4.2 pH – Turbidity

การทดสอบทางสถิติของการบำบัดด้วยน้ำด้วยโคโคซาน ค่าความขุ่นหลังการบำบัด ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 6 มีผลการทดสอบดังนี้

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยโคโคซาน ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 6 มีค่าสูงสุด ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5 มีค่าต่ำสุด

ค่าความขุ่นเฉลี่ยของการบำบัดด้วยโคโคซาน ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 4, 5 และ 6 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significant > 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
pH 4	12	8.3467	1.0518	5.97	9.89
pH 5	12	8.0575	2.9874	5.93	17.30
pH 6	12	8.8367	1.4536	6.75	11.70

Ranks

	Mean Rank
pH 4	2.04
pH 5	1.54
pH 6	2.42

Test Statistics

N	12
Chi-Square	4.723
df	2
Asymp. Sig.	.094

a. Friedman Test

2. ผลของความเข้มข้น

2.1 ผลของความเข้มข้นต่อค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 20.95, 20.17 และ 20.68 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 4.94, 3.49 และ 3.05 ตามลำดับ

2.2 ผลของความเข้มข้นกับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 9.19, 7.76 และ 8.29 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 2.94, 0.86 และ 1.40 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases Valid		Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
COD	Dose 60	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	80	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	100	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	60	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	80	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	100	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	60	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	80	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	100	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

COD	Dose 60	Statistic		Std. Error
		Mean	Lower Bound	
		732.4167	489.6859	110.2828
		95% Confidence Interval for Mean	Upper Bound	
		5% Trimmed Mean	716.5185	
		Median	754.5000	
		Variance	145947.538	
		Std. Deviation	382.0308	
		Minimum	150.00	
		Maximum	1601.00	
		Range	1451.00	
		Interquartile Range	342.2500	
		Skewness	.983	.637
		Kurtosis	1.578	1.232

Color	80	Mean	981.0833	89.5769
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 783.9259	
			Upper Bound 1178.2408	
		5% Trimmed Mean	1002.1481	
		Median	1065.5000	
		Variance	96288.265	
		Std. Deviation	310.3035	
		Minimum	224.00	
		Maximum	1359.00	
		Range	1135.00	
		Interquartile Range	274.2500	
		Skewness	-1.494	.637
		Kurtosis	2.438	1.232
	100	Mean	1353.0000	432.2805
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 401.5570	
			Upper Bound 2304.4430	
		5% Trimmed Mean	1172.3333	
		Median	1073.5000	
		Variance	2242397.455	
		Std. Deviation	1497.4637	
		Minimum	254.00	
		Maximum	5704.00	
		Range	5450.00	
		Interquartile Range	1044.0000	
		Skewness	2.543	.637
		Kurtosis	7.377	1.232
	60	Mean	20.9500	1.4273
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 17.8086	
			Upper Bound 24.0914	
		5% Trimmed Mean	20.6444	
		Median	21.6500	
		Variance	24.445	
		Std. Deviation	4.9441	
		Minimum	13.90	
		Maximum	33.50	
		Range	19.60	
		Interquartile Range	5.3750	
		Skewness	1.301	.637
		Kurtosis	3.401	1.232
	80	Mean	20.1667	1.0352
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 17.8883	
			Upper Bound 22.4450	
		5% Trimmed Mean	20.3685	
		Median	21.8500	
		Variance	12.859	
		Std. Deviation	3.5859	
		Minimum	12.90	
		Maximum	23.80	
		Range	10.90	
		Interquartile Range	6.0000	
		Skewness	-.979	.637
		Kurtosis	-.361	1.232

Turbidity	100	Mean		20.6833	.8814
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	18.7435	
			Upper Bound	22.6232	
		5% Trimmed Mean		20.8370	
		Median		21.4500	
		Variance		9.322	
		Std. Deviation		3.0531	
		Minimum		14.10	
		Maximum		24.50	
		Range		10.40	
		Interquartile Range		1.9500	
		Skewness		-1.400	.637
		Kurtosis		1.522	1.232
	60	Mean		9.1867	.8488
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.3186	
			Upper Bound	11.0548	
		5% Trimmed Mean		8.9146	
		Median		8.8200	
		Variance		8.645	
		Std. Deviation		2.9402	
		Minimum		5.97	
		Maximum		17.30	
		Range		11.33	
		Interquartile Range		2.0850	
		Skewness		2.055	.637
		Kurtosis		5.510	1.232
	80	Mean		7.7633	.2476
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.2184	
			Upper Bound	8.3082	
		5% Trimmed Mean		7.8109	
		Median		8.0050	
		Variance		.736	
		Std. Deviation		.8576	
		Minimum		5.93	
		Maximum		8.74	
		Range		2.81	
		Interquartile Range		1.1350	
		Skewness		-1.147	.637
		Kurtosis		.555	1.232
	100	Mean		8.2908	.4054
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	7.3985	
			Upper Bound	9.1832	
		5% Trimmed Mean		8.1870	
		Median		7.7900	
		Variance		1.972	
		Std. Deviation		1.4044	
		Minimum		6.75	
		Maximum		11.70	
		Range		4.95	
		Interquartile Range		1.7600	
		Skewness		1.459	.637
		Kurtosis		2.134	1.232

2.3 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่าผลการบำบัดด้วยน้ำด้วยโคโคซานที่ความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงต้องใช้สถิติทดสอบแบบ Non Parametric

Tests of Normality

	Dose	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	60	.261	12	.023	.908	12	.268
	80	.243	12	.049	.862	12	.056
	100	.329	12	.001	.682	12	.010
Color	60	.256	12	.029	.868	12	.069
	80	.259	12	.026	.851	12	.042
	100	.283	12	.009	.819	12	.016
Turbidity	60	.264	12	.021	.796	12	.010
	80	.221	12	.110	.887	12	.127
	100	.223	12	.103	.869	12	.070

** This is an upper bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

2.3.1 Dose – Color

การทดสอบทางสถิติของการบำบัดด้วยน้ำด้วยโคโคซาน ค่าสีหลังการบำบัดที่ความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลการทดสอบดังนี้

ค่าสีเฉลี่ยของการบำบัดด้วยโคโคซาน ที่สภาวะความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance > 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Dose 60	12	20.9500	4.9441	13.90	33.50
Dose 80	12	20.1667	3.5859	12.90	23.80
Dose 100	12	20.6833	3.0531	14.10	24.50

Ranks

	Mean Rank
Dose 60	1.88
Dose 80	2.21
Dose 100	1.92

Test Statistics

N	12
Chi-Square	.809
Df	2
Asymp. Sig.	.667
a. Friedman Test	

2.3.2 Dose – Turbidity

การทดสอบทางสถิติของการบำบัดด้วยน้ำด้วยโคโตซาน ค่าความขุ่นหลังการบำบัด ที่ความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลการทดสอบดังนี้

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยโคโตซาน ที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุด และความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าต่ำสุด

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยโคโตซาน ที่สภาวะความเข้มข้น 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance > 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Dose 60	12	9.1867	2.9402	5.97	17.30
Dose 80	12	7.7633	.8576	5.93	8.74
Dose 100	12	8.2908	1.4044	6.75	11.70

Ranks

	Mean Rank
Dose 60	2.50
Dose 80	1.58
Dose 100	1.92

Test Statistics

N	12
Chi-Square	5.167
Df	2
Asymp. Sig.	.076
a. Friedman Test	

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์

1. ผลของความเป็นกรด – ด่าง

1.1 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับ COD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 8, 9 และ 10 ตัวอย่างน้ำ หลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 9.75, 3.58 และ 3.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 8.54, 2.94 และ 3.77 ตามลำดับ

1.2 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับ ค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 8, 9 และ 10 ตัวอย่างน้ำ
หลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 29.45, 33.13 และ 29.87 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 18.25, 19.83 และ 21.11 ตามลำดับ

1.3 ผลของความเป็นกรด - ด่าง กับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 8, 9 และ 10 ตัวอย่างน้ำ
หลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 47.05, 17.07 และ 81.50 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 20.37, 6.87 และ 71.66 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases		Missing		Total	
		Valid	Percent	N	Percent	N	Percent
COD	pH						
	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	9.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	10.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	9.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	10.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	9.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	10.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

COD	pH			Statistic	Std. Error
		Mean			
COD	8.00	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	9.7500	2.4653
			Upper Bound	4.3239	
		5% Trimmed Mean		15.1761	
		Median		9.0000	
		Variance		7.0000	
	9.00	Std. Deviation		72.932	.637
		Minimum		8.5400	
		Maximum		2.00	
		Range		31.00	
		Interquartile Range		29.00	
		Skewness		7.7500	1.232
		Kurtosis		1.815	
		Mean		2.883	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	3.5833	
			Upper Bound	1.7169	
		5% Trimmed Mean		5.4497	.8480
		Median		3.4815	
				2.5000	

		Variance	8.629	
		Std. Deviation	2.9375	
		Minimum	.00	
		Maximum	9.00	
		Range	9.00	
		Interquartile Range	4.7500	
		Skewness	.467	.637
		Kurtosis	-.938	1.232
10.00		Mean	3.7500	1.0880
	95% Confidence Interval	Lower Bound	1.3554	
	for Mean	Upper Bound	6.1446	
	5% Trimmed Mean		3.6111	
	Median		3.0000	
	Variance		14.205	
	Std. Deviation		3.7689	
	Minimum		.00	
	Maximum		10.00	
	Range		10.00	
	Interquartile Range		7.0000	
	Skewness		.453	.637
	Kurtosis		-1.402	1.232
Color	8.00	Mean	29.4500	5.2673
	95% Confidence Interval	Lower Bound	17.8567	
	for Mean	Upper Bound	41.0433	
	5% Trimmed Mean		29.3778	
	Median		29.2000	
	Variance		332.939	
	Std. Deviation		18.2466	
	Minimum		5.20	
	Maximum		55.00	
	Range		49.80	
	Interquartile Range		39.5000	
	Skewness		.059	.637
	Kurtosis		-1.355	1.232
9.00		Mean	33.1333	5.7257
	95% Confidence Interval	Lower Bound	20.5312	
	for Mean	Upper Bound	45.7354	
	5% Trimmed Mean		33.0815	
	Median		32.0000	
	Variance		393.399	
	Std. Deviation		19.8343	
	Minimum		7.50	
	Maximum		59.70	
	Range		52.20	
	Interquartile Range		43.4000	
	Skewness		.123	.637
	Kurtosis		-1.588	1.232
10.00		Mean	29.8750	6.0933
	95% Confidence Interval	Lower Bound	16.4637	
	for Mean	Upper Bound	43.2863	
	5% Trimmed Mean		29.4333	
	Median		28.9000	

Turbidity	8.00	Variance		445.542	
		Std. Deviation		21.1079	
		Minimum		3.00	
		Maximum		64.70	
		Range		61.70	
		Interquartile Range		42.8000	
		Skewness		.172	.637
		Kurtosis		-1.230	1.232
		Mean		47.0500	5.8802
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	34.1077	
	9.00		Upper Bound	59.9923	
		5% Trimmed Mean		47.2278	
		Median		47.0500	
		Variance		414.923	
		Std. Deviation		20.3697	
		Minimum		10.50	
		Maximum		80.40	
		Range		69.90	
		Interquartile Range		31.1500	
		Skewness		.088	.637
		Kurtosis		-.162	1.232
		Mean		17.0700	1.9829
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	12.7057	
	10.00		Upper Bound	21.4343	
		5% Trimmed Mean		16.8756	
		Median		14.2500	
		Variance		47.181	
		Std. Deviation		6.8688	
		Minimum		8.14	
		Maximum		29.50	
		Range		21.36	
		Interquartile Range		9.6750	
		Skewness		.808	.637
		Kurtosis		-.433	1.232
		Mean		81.5042	20.6864
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	35.9737	
			Upper Bound	127.0347	
		5% Trimmed Mean		76.9963	
		Median		64.6000	
		Variance		5135.135	
		Std. Deviation		71.6599	
		Minimum		6.15	
		Maximum		238.00	
		Range		231.85	
		Interquartile Range		117.6025	
		Skewness		.886	.637
		Kurtosis		.435	1.232

1.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่า การบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 8, 9 และ 10 มีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นค่า COD ที่บางสภาวะไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งต้องทำการทดสอบทางสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non Parametric Test)

Tests of Normality

	pH	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	8.00	.285	12	.008	.770	12	.010
	9.00	.205	12	.175	.928	12	.400
	10.00	.184	12	.200	.874	12	.081
Color	8.00	.136	12	.200	.916	12	.319
	9.00	.187	12	.200	.887	12	.129
	10.00	.152	12	.200	.938	12	.468
Turbidity	8.00	.160	12	.200	.963	12	.764
	9.00	.202	12	.191	.902	12	.228
	10.00	.147	12	.200	.909	12	.274

** This is an upper bound of the true significance.

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

1.5 Test of Homogeneity of Variances

จากการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่า สี และความขุ่นหลังการบำบัดตัวอย่างน้ำ ด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 8, 9 และ 10 ค่าสี มีค่าความแปรปรวนเท่ากันที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p > 0.05$) ส่วนค่าความขุ่นหลังการบำบัด มีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p < 0.05$)

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Color	.179	2	33	.837
Turbidity	15.511	2	33	.000

1.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยสถิติทดสอบ ANOVA

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 8, 9 และ 10 พบว่า

- ค่าสีเฉลี่ย ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig.>0.05)
- ค่าความขุ่นเฉลี่ย มีค่าแตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่ (sig. <0.05)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลังการบำบัด ของแต่ละคู่พบว่า

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 8 และ 9 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 9 และ 10 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าความขุ่นเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 8 และ 10 ไม่แตกต่างกัน (sig. > 0.05)

ANOVA Color

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	97.457	2	48.729	.125	.883
Within Groups	12890.679	33	390.627		
Total	12988.136	35			

ANOVA Turbidity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24950.607	2	12475.304	6.686	.004
Within Groups	61569.623	33	1865.746		
Total	86520.230	35			

Multiple Comparisons Dependent Variable: Turbidity Dunnett T3

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) pH	(J) pH				Lower Bound	Upper Bound
8.00	9.00	29.9800	17.6340	.001	13.1212	46.8388
	10.00	-34.4542	17.6340	.334	-92.8801	23.9717
9.00	8.00	-29.9800	17.6340	.001	-46.8388	-13.1212
	10.00	-64.4342	17.6340	.029	-122.2878	-6.5806
10.00	8.00	34.4542	17.6340	.334	-23.9717	92.8801
	9.00	64.4342	17.6340	.029	6.5806	122.2878

* The mean difference is significant at the .05 level.

1.7 การทดสอบความแตกต่างของการแจกแจงของตัวแปร โดยสถิติทดสอบ Non Parametric Test

ผลการทดสอบทางสถิติแบบ Non Parametric ของการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง 8, 9 และ 10 พบว่าค่า COD หลังการบำบัด มีผลการทดสอบดังนี้

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 8 มีค่าสูงสุด ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 10 มีค่าต่ำสุด

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 8, 9 และ 10 ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance > 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
pH 8	12	9.7500	8.5400	2.00	31.00
pH 9	12	3.5833	2.9375	.00	9.00
pH 10	12	3.7500	3.7689	.00	10.00

Ranks

	Mean Rank
pH 8	2.50
pH 9	1.83
pH 10	1.67

Test Statistics

N	12
Chi-Square	4.870
df	2
Asymp. Sig.	.088
a. Friedman Test	

2. ผลของความเข้มข้น

2.1 ผลของความเข้มข้น กับ COD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 3.92, 7.00 และ 6.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 6.82, 8.06 และ 2.41 ตามลำดับ

2.2 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับ ค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 8.48, 31.13 และ 53.85 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 3.80, 2.89 และ 5.88 ตามลำดับ

2.3 ผลของความเป็นกรด – ด่าง กับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

การบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 17.93, 48.84 และ 78.85 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 12.00, 35.88 และ 66.41 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases Valid		Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
COD	Dose 500	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	800	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	1000	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	500	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	800	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	1000	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	500	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	800	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	1000	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

COD	Dose			Statistic	Std. Error
		Mean	95% Confidence Interval for Mean		
500			Lower Bound	3.9167	1.9674
			Upper Bound	-.4135	
		5% Trimmed Mean		8.2468	
		Median		3.1296	
		Variance		1.0000	
		Std. Deviation		46.447	
		Minimum		6.8152	
		Maximum		.00	
		Range		22.00	
		Interquartile Range		22.00	
		Skewness		4.5000	
		Kurtosis		2.167	.637
	800	Mean		4.380	1.232
		95% Confidence	Lower Bound	7.0000	2.3257
				1.8811	

Color	1000	Interval for Mean			
			Upper Bound	12.1189	
		5% Trimmed Mean		6.0000	
		Median		5.0000	
		Variance		64.909	
		Std. Deviation		8.0566	
		Minimum		1.00	
		Maximum		31.00	
		Range		30.00	
		Interquartile Range		6.5000	
		Skewness		2.752	.637
		Kurtosis		8.501	1.232
	500	Mean		6.1667	.6945
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	4.6381	
			Upper Bound	7.6952	
		5% Trimmed Mean		6.2407	
		Median		6.5000	
		Variance		5.788	
		Std. Deviation		2.4058	
		Minimum		1.00	
		Maximum		10.00	
		Range		9.00	
		Interquartile Range		2.7500	
		Skewness		-.516	.637
	800	Kurtosis		.827	1.232
		Mean		8.4833	1.0960
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6.0711	
			Upper Bound	10.8956	
		5% Trimmed Mean		8.4204	
		Median		7.5000	
		Variance		14.414	
		Std. Deviation		3.7966	
		Minimum		3.00	
		Maximum		15.10	
		Range		12.10	
		Interquartile Range		6.6250	
	1000	Skewness		.370	.637
		Kurtosis		-.915	1.232
		Mean		30.1250	.8325
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	28.2927	
			Upper Bound	31.9573	
		5% Trimmed Mean		30.1333	
		Median		29.9000	
		Variance		8.317	
		Std. Deviation		2.8839	
		Minimum		25.30	
		Maximum		34.80	
		Range		9.50	
		Interquartile Range		4.5750	
		Skewness		.165	.637
		Kurtosis		-.639	1.232
		Mean		53.8500	1.6981
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	50.1126	

		Interval for Mean			
Turbidity	500		Upper Bound	57.5874	
		5% Trimmed Mean		53.8722	
		Median		54.3000	
		Variance		34.601	
		Std. Deviation		5.8823	
		Minimum		42.60	
		Maximum		64.70	
		Range		22.10	
		Interquartile Range		5.9750	
		Skewness		-.246	.637
		Kurtosis		.673	1.232
	800	Mean		17.9292	3.4661
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.3003	
			Upper Bound	25.5580	
		5% Trimmed Mean		17.0685	
		Median		13.3500	
		Variance		144.166	
		Std. Deviation		12.0069	
		Minimum		6.15	
		Maximum		45.20	
		Range		39.05	
		Interquartile Range		17.7775	
	1000	Skewness		1.337	.637
		Kurtosis		1.083	1.232
		Mean		48.8450	10.3566
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	26.0502	
			Upper Bound	71.6398	
		5% Trimmed Mean		46.6533	
		Median		53.0500	
		Variance		1287.114	
		Std. Deviation		35.8764	
		Minimum		8.14	
		Maximum		129.00	
		Range		120.86	
		Interquartile Range		56.4000	
		Skewness		.834	.637
		Kurtosis		.759	1.232
		Mean		78.8500	19.1696
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	36.6580	
			Upper Bound	121.0420	
		5% Trimmed Mean		73.2500	
		Median		50.3000	
		Variance		4409.674	
		Std. Deviation		66.4054	
		Minimum		20.50	
		Maximum		238.00	
		Range		217.50	
		Interquartile Range		91.9500	
		Skewness		1.464	.637
		Kurtosis		1.810	1.232

2.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่าผลการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าสีหลังการบำบัดมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนค่า COD และความขุ่น ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งต้องทำการทดสอบทางสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์

Tests of Normality

	Dose	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		df	Sig.
		Statistic	df	Statistic	df		
COD	500	.303	12	.651	12		.010
	800	.319	12	.645	12		.010
	1000	.147	12	.961	12		.735
Color	500	.186	12	.963	12		.760
	800	.118	12	.976	12		.921
	1000	.147	12	.968	12		.838
Turbidity	500	.263	12	.845	12		.037
	800	.145	12	.912	12		.295
	1000	.242	12	.833	12		.025

** This is an upper bound of the true significance.

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2.5 Test of Homogeneity of Variances

จากการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าสี หลังการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสี มีความแปรปรวนเท่ากันที่ทุกความเข้มข้น ที่ทำการศึกษา ($p > 0.05$)

Test of Homogeneity of Variances

Color				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
1.491	2	33	.240	

2.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยสถิติทดสอบ ANOVA

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่สภาวะความเข้มข้น 500, 800 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าเฉลี่ย มีค่าแตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่ (sig. <0.05)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลังการบำบัด ของแต่ละคู่พบว่า

- ค่าเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 500 และ 800 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 800 และ 1000 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
- ค่าเฉลี่ย ที่ความเข้มข้น 500 และ 1000 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)

ANOVA
Color

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12357.487	2	6178.744	323.315	.000
Within Groups	630.649	33	19.111		
Total	12988.136	35			

Multiple Comparisons
Dependent Variable: Color
LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) Dose	(J) Dose				Lower Bound	Upper Bound
500	800	-21.6417	1.7847	.000	-25.2726	-18.0107
	1000	-45.3667	1.7847	.000	-48.9976	-41.7357
800	500	21.6417	1.7847	.000	18.0107	25.2726
	1000	-23.7250	1.7847	.000	-27.3560	-20.0940
1000	500	45.3667	1.7847	.000	41.7357	48.9976
	800	23.7250	1.7847	.000	20.0940	27.3560

* The mean difference is significant at the .05 level.

2.7 การทดสอบความแตกต่างของการแจกแจงของตัวแปร โดยสถิติทดสอบ Non Parametric Test

ผลการทดสอบทางสถิติแบบ Non Parametric ของการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลการทดสอบดังนี้

2.7.1 ความเข้มข้น – COD

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุด ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าต่ำสุด

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance<0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Dose 500	12	3.9167	6.8152	.00	22.00
Dose 800	12	7.0000	8.0566	1.00	31.00
Dose 1000	12	53.8500	5.8823	42.60	64.70

Ranks

	Mean Rank
Dose 500	1.17
Dose 800	1.83
Dose 1000	3.00

Test Statistics

	N	12
Chi-Square	20.667	
df	2	
Asymp. Sig.	.000	
a. Friedman Test		

2.7.2 ความเข้มข้น – ความขุ่น

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุด ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าต่ำสุด

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยเฟอริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance<0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Dose 500	12	17.9292	12.0069	6.15	45.20
Dose 800	12	48.8450	35.8764	8.14	129.00
Dose 1000	12	78.8500	66.4054	20.50	238.00

Ranks	
	Mean Rank
Dose 500	1.25
Dose 800	2.00
Dose 1000	2.75

Test Statistics ^a		
	N	12
Chi-Square	13.500	
df	2	
Asymp. Sig.	.001	
a. Friedman Test		

การบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์

1. ผลของความเป็นกรด – ต่าง

การบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด-ต่าง 6, 7 และ 8 ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

1.1 ผลของความเป็นกรด – ต่าง กับ COD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

- ค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 23.17, 34.42 และ 22.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 5.32, 5.23 และ 2.47 ตามลำดับ

1.2 ผลของความเป็นกรด – ต่าง กับ ค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 22.66, 332.07 และ 27.59 Pt.Co. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 4.17, 1.23 และ 1.26 ตามลำดับ

1.3 ผลของความเป็นกรด – ต่าง กับค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 5.93, 11.09 และ 6.28 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 0.70, 1.62 และ 1.49 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases		Missing		Total	
		Valid		N	Percent	N	Percent
COD	pH						
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	7.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	7.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	6.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	7.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	8.00	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

				Statistic	Std. Error
COD	pH 6.00	Mean		23.1667	1.5366
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	19.7847	
			Upper Bound	26.5487	
		5% Trimmed Mean		22.5741	
		Median		22.0000	
		Variance		28.333	
		Std. Deviation		5.3229	
		Minimum		18.00	
		Maximum		39.00	
		Range		21.00	
	7.00	Interquartile Range		3.7500	
		Skewness		2.710	.637
		Kurtosis		8.492	1.232
		Mean		34.4167	1.5099
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	31.0935	
			Upper Bound	37.7398	
		5% Trimmed Mean		33.8519	
		Median		32.5000	
		Variance		27.356	
		Std. Deviation		5.2303	
	8.00	Minimum		30.00	
		Maximum		49.00	
		Range		19.00	
		Interquartile Range		5.5000	
		Skewness		2.232	.637
		Kurtosis		5.716	1.232
		Mean		22.5833	.7120
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	21.0162	
			Upper Bound	24.1504	
		5% Trimmed Mean		22.5926	
	Color 6.00	Median		23.0000	
		Variance		6.083	
		Std. Deviation		2.4664	
		Minimum		18.00	
		Maximum		27.00	
		Range		9.00	
		Interquartile Range		2.7500	
		Skewness		.055	.637
		Kurtosis		.308	1.232
		Mean		22.6583	1.2027
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	20.0113	
			Upper Bound	25.3054	
		5% Trimmed Mean		22.9481	
		Median		23.8500	
		Variance		17.357	
		Std. Deviation		4.1662	
		Minimum		12.90	
		Maximum		27.20	

Turbidity	7.00	Range		14.30	
		Interquartile Range		3.9250	
		Skewness		-1.414	.637
		Kurtosis		1.786	1.232
		Mean		32.0167	.3552
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	31.2348	
			Upper Bound	32.7985	
		5% Trimmed Mean		31.9907	
		Median		31.8500	
		Variance		1.514	
		Std. Deviation		1.2305	
		Minimum		30.10	
	8.00	Maximum		34.40	
		Range		4.30	
		Interquartile Range		1.7500	
		Skewness		.434	.637
		Kurtosis		-.269	1.232
		Mean		27.5917	.3625
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	26.7937	
			Upper Bound	28.3896	
		5% Trimmed Mean		27.6019	
		Median		27.8500	
		Variance		1.577	
		Std. Deviation		1.2559	
		Minimum		25.70	
	6.00	Maximum		29.30	
		Range		3.60	
		Interquartile Range		2.5000	
		Skewness		-.420	.637
		Kurtosis		-1.146	1.232
		Mean		5.9292	.2033
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	5.4818	
			Upper Bound	6.3765	
		5% Trimmed Mean		5.9424	
		Median		5.9750	
		Variance		.496	
		Std. Deviation		.7041	
		Minimum		4.78	
		Maximum		6.84	
		Range		2.06	
		Interquartile Range		1.2850	
		Skewness		-.416	.637
		Kurtosis		-1.123	1.232
	7.00	Mean		11.0933	.4681
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	10.0632	
			Upper Bound	12.1235	
		5% Trimmed Mean		11.0398	
		Median		11.1500	
		Variance		2.629	
		Std. Deviation		1.6214	
		Minimum		8.85	
		Maximum		14.30	

	Range	5.45	
	Interquartile Range	2.6775	
	Skewness	.506	.637
	Kurtosis	-.269	1.232
8.00	Mean	6.2758	.4311
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	5.3270
		Upper Bound	7.2247
	5% Trimmed Mean	6.1359	
	Median	5.9000	
	Variance	2.230	
	Std. Deviation	1.4934	
	Minimum	4.97	
	Maximum	10.10	
	Range	5.13	
	Interquartile Range	1.3150	
	Skewness	1.897	.637
	Kurtosis	3.427	1.232

1.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6, 7 และ 8 ค่าสีมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วน COD และความขุ่นไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ต้องทำการทดสอบทางสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non Parametric Test)

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk			
	pH	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	6.00	.354	12	.000	.662	12	.010
	7.00	.206	12	.172	.744	12	.010
	8.00	.183	12	.200	.964	12	.778
Color	6.00	.215	12	.133	.864	12	.060
	7.00	.137	12	.200	.971	12	.879
	8.00	.161	12	.200	.920	12	.349
Turbidity	6.00	.156	12	.200	.934	12	.440
	7.00	.133	12	.200	.966	12	.800
	8.00	.310	12	.002	.765	12	.010

** This is an upper bound of the true significance.

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

1.5 Test of Homogeneity of Variances

จากการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าสี หลังการบำบัดด้วยน้ำด้วยโพสิทีฟอิเล็กโตรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6, 7 และ 8 มีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน ที่ทุกสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการศึกษา ($p < 0.05$)

Test of Homogeneity of Variances Color

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.803	2	33	.007

1.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยสถิติทดสอบ ANOVA

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยโพสิทีฟอิเล็กโตรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6, 7 และ 8 พบว่า

- ค่าสีเฉลี่ย มีค่าแตกต่างกัน อย่างน้อย 1 คู่ (sig. < 0.05)
- เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าสีเฉลี่ยหลังการบำบัด ของแต่ละคู่พบว่า
- ค่าสีเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6 และ 7 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
 - ค่าสีเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 7 และ 8 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)
 - ค่าสีเฉลี่ย ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 6 และ 8 แตกต่างกัน (sig. < 0.05)

ANOVA Color

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	525.987	2	262.994	38.584	.000
Within Groups	224.935	33	6.816		
Total	750.922	35			

Multiple Comparisons Dependent Variable: Color Dunnett T3

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) pH	(J) pH				Lower Bound	Upper Bound
6.00	7.00	-9.3583	1.0658	.000	-12.7652	-5.9514
	8.00	-4.9333	1.0658	.005	-8.3459	-1.5208
7.00	6.00	9.3583	1.0658	.000	5.9514	12.7652
	8.00	4.4250	1.0658	.000	3.1184	5.7316
8.00	6.00	4.9333	1.0658	.005	1.5208	8.3459
	7.00	-4.4250	1.0658	.000	-5.7316	-3.1184

* The mean difference is significant at the .05 level.

1.7 การทดสอบความแตกต่างของการแจกแจงของตัวแปร โดยสถิติทดสอบ Non Parametric Test

ผลการทดสอบทางสถิติแบบ Non Parametric ของการบำบัดด้วยน้ำด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง 6, 7 และ 8 พบว่าค่า COD หลังการบำบัด มีผลการทดสอบดังนี้

1.7.1 ความเป็นกรด - ด่าง กับ COD

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7 มีค่าสูงสุด ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6 มีค่าต่ำสุด

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 6, 7 และ 8 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance < 0.05).

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
pH 6	12	23.1667	5.3229	18.00	39.00
pH 7	12	34.4167	5.2303	30.00	49.00
pH 8	12	22.5833	2.4664	18.00	27.00

Ranks

	Mean Rank
pH 6	1.50
pH 7	2.92
pH 8	1.58

Test Statistics

N	12
Chi-Square	15.826
df	2
Asymp. Sig.	.000
a. Friedman Test	

1.7.2 ความเป็นกรด – ต่าง กับ ความชุ่ม

ค่าความชุ่มเฉลี่ยของการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด – ต่าง เท่ากับ 7 มีค่าสูงสุด ที่สภาวะความเป็นกรด – ต่าง เท่ากับ 6 มีค่าต่ำสุด

ค่าความชุ่มเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่สภาวะความเป็นกรด – ต่าง เท่ากับ 6, 7 และ 8 แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance < 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
pH 6	12	5.9292	.7041	4.78	6.84
pH 7	12	11.0933	1.6214	8.85	14.30
pH 8	12	6.2758	1.4934	4.97	10.10

Ranks

	Mean Rank
pH 6	1.25
pH 7	2.92
pH 8	1.83

Test Statistics

N	12
Chi-Square	17.167
df	2
Asymp. Sig.	.000
a. Friedman Test	

2. ผลของความเข้มข้น

การบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด มีคุณภาพดังนี้

1.1 ผลของความเข้มข้น กับ COD ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

- ค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 28.83, 24.67 และ 26.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 8.34, 5.89 และ 6.71 ตามลำดับ

1.2 ผลของความเข้มข้น กับ ค่าสี ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

- ค่าสีเฉลี่ย เท่ากับ 27.96, 28.65 และ 25.66 Pt.Co. ตามลำดับ

- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 4.14, 3.04 และ 6.04 ตามลำดับ

1.3 ผลของความเข้มข้น กับ ค่าความขุ่น ของตัวอย่างน้ำหลังการบำบัด

- ค่าความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 7.62, 7.93 และ 7.75 NTU. ตามลำดับ
- ค่า Standard Deviation เท่ากับ 3.31, 2.71 และ 2.27 ตามลำดับ

Case Processing Summary

		Cases		Missing		Total	
		Valid		N	Percent	N	Percent
COD	Dose						
	.3	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	.5	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Color	.7	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	.3	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	.5	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
Turbidity	.7	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	.3	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	.5	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%
	.7	12	100.0%	0	.0%	12	100.0%

Descriptives

COD	Dose			Statistic	Std. Error
		Mean		28.8333	2.4084
COD	.3	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	23.5324	
			Upper Bound	34.1342	
		5% Trimmed Mean		28.0926	
		Median		25.0000	
		Variance		69.606	
		Std. Deviation		8.3430	
		Minimum		22.00	
		Maximum		49.00	
		Range		27.00	
		Interquartile Range		12.2500	
		Skewness		1.568	.637
		Kurtosis		1.942	1.232
	.5	Mean		24.6667	1.7026
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	20.9192	
			Upper Bound	28.4142	
		5% Trimmed Mean		24.5185	
		Median		22.5000	
		Variance		34.788	
		Std. Deviation		5.8981	
		Minimum		18.00	
		Maximum		34.00	
		Range		16.00	
		Interquartile Range		11.5000	
		Skewness		.552	.637
		Kurtosis		-1.452	1.232
	.7	Mean		26.6667	1.9358
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	22.4059	

		Interval for Mean			
Color	.3	Upper Bound		30.9274	
		5% Trimmed Mean		26.3519	
		Median		23.5000	
		Variance		44.970	
		Std. Deviation		6.7059	
		Minimum		20.00	
		Maximum		39.00	
		Range		19.00	
	.5	Interquartile Range		11.5000	
		Skewness		.631	.637
		Kurtosis		-1.151	1.232
		Mean		27.9583	1.1952
		95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	25.3277
		Upper Bound		30.5890	
		5% Trimmed Mean		27.9648	
		Median		27.7000	
	.7	Variance		17.143	
		Std. Deviation		4.1404	
		Minimum		21.40	
		Maximum		34.40	
		Range		13.00	
		Interquartile Range		6.8250	
		Skewness		-.151	.637
		Kurtosis		-.779	1.232
Turbidity	.3	Mean		28.6500	.8784
		95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	26.7166
		Upper Bound		30.5834	
	.5	5% Trimmed Mean		28.6111	
		Median		28.3000	
		Variance		9.259	
		Std. Deviation		3.0429	
		Minimum		24.50	
		Maximum		33.50	
		Range		9.00	
	.7	Interquartile Range		5.5750	
		Skewness		.217	.637
		Kurtosis		-1.142	1.232
		Mean		25.6583	1.7443
		95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	21.8191
		Upper Bound		29.4976	
	.3	5% Trimmed Mean		25.9704	
		Median		26.4500	
		Variance		36.512	
		Std. Deviation		6.0425	
		Minimum		12.90	
		Maximum		32.80	
		Range		19.90	
		Interquartile Range		8.1000	
		Skewness		-1.004	.637
		Kurtosis		.451	1.232
		Mean		7.6242	.9565
		95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	5.5190

	Interval for Mean			
		Upper Bound	9.7293	
	5% Trimmed Mean		7.4835	
	Median		5.8000	
	Variance		10.978	
	Std. Deviation		3.3133	
	Minimum		4.78	
	Maximum		13.00	
	Range		8.22	
	Interquartile Range		6.3450	
	Skewness		.800	.637
	Kurtosis		-1.424	1.232
.5	Mean		7.9250	.7833
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6.2009	
		Upper Bound	9.6491	
	5% Trimmed Mean		7.7094	
	Median		6.5150	
	Variance		7.363	
	Std. Deviation		2.7135	
	Minimum		5.43	
	Maximum		14.30	
	Range		8.87	
	Interquartile Range		3.6950	
	Skewness		1.348	.637
	Kurtosis		1.374	1.232
.7	Mean		7.7492	.6548
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	6.3081	
		Upper Bound	9.1903	
	5% Trimmed Mean		7.6657	
	Median		6.8250	
	Variance		5.145	
	Std. Deviation		2.2682	
	Minimum		5.20	
	Maximum		11.80	
	Range		6.60	
	Interquartile Range		4.1850	
	Skewness		.516	.637
	Kurtosis		-1.219	1.232

2.4 Normality Test

จากการทดสอบการแจกแจง พบว่าผลการบำบัดด้วยน้ำด้วยโพสอิเลกโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าสัณฐานการบำบัดมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนค่า COD และความขุ่น ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งต้องทำการทดสอบทางสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์

Tests of Normality

	Dose	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
COD	.3	.254	12	.032	.784	12	.010
	.5	.212	12	.144	.863	12	.058
	.7	.238	12	.059	.866	12	.065
Color	.3	.124	12	.200	.962	12	.753
	.5	.116	12	.200	.955	12	.656
	.7	.169	12	.200	.913	12	.301
Turbidity	.3	.296	12	.005	.766	12	.010
	.5	.264	12	.020	.827	12	.019
	.7	.239	12	.057	.903	12	.231

** This is an upper bound of the true significance.

* This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2.5 Test of Homogeneity of Variances

จากการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าสี หลังการบำบัดด้วยน้ำด้วยโพสิเทอโรไลท์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสี มีความแปรปรวนเท่ากันที่ทุกความเข้มข้น ที่ทำการศึกษา ($p > 0.05$)

Test of Homogeneity of Variances

Color	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	1.801	2	33	.181

2.6 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยสถิติทดสอบ ANOVA

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่า ตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดด้วยโพสิเทอโรไลท์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าสีเฉลี่ย มีค่าไม่แตกต่างกัน (sig. >0.05)

ANOVA

Color	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	58.874	2	29.437	1.404	.260
Within Groups	692.048	33	20.971		
Total	750.922	35			

2.8 การทดสอบความแตกต่างของการแจกแจงของตัวแปร โดยสถิติทดสอบ Non Parametric Test

ผลการทดสอบทางสถิติแบบ Non Parametric ของการบำบัดด้วยน้ำด้วยโพสอิเลกโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลการทดสอบดังนี้

2.7.1 ความเข้มข้น -COD

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยโพสอิเลกโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุด ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าต่ำสุด

ค่า COD เฉลี่ยของการบำบัดด้วยโพสอิเลกโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance < 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Dose 0.3	12	28.8333	8.3430	22.00	49.00
Dose 0.5	12	24.6667	5.8981	18.00	34.00
Dose 0.7	12	26.6667	6.7059	20.00	39.00

Ranks

	Mean Rank
Dose 0.3	2.67
Dose 0.5	1.54
Dose 0.7	1.79

Test Statistics

N	12
Chi-Square	8.553
df	2
Asymp. Sig.	.014
a. Friedman Test	

2.7.1 ความเข้มข้น - ความขุ่น

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยโพสอิเลกโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุด ที่ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าต่ำสุด

ค่าความขุ่นเฉลี่ย ของการบำบัดด้วยโพสอิเลกโตรไลต์ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Asymptotic Significance > 0.05)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Dose 0.3	12	7.6242	3.3133	4.78	13.00
Dose 0.5	12	7.9250	2.7135	5.43	14.30
Dose 0.7	12	7.7492	2.2682	5.20	11.80

Ranks

	Mean Rank
Dose 0.3	1.83
Dose 0.5	2.42
Dose 0.7	1.75

Test Statistics

	N	12
Chi-Square	3.167	
df	2	
Asymp. Sig.	.205	
a. Friedman Test		

ภาคผนวก ค

**คุณภาพน้ำคลองต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร และวิธีมาตรฐานใน
การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์**

ภาคผนวก ค

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำคลองต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร ประจำปี พ.ศ. 2547

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองคูเมืองเดิม	ประตูระบายน้ำ วาสิณี	27.9	7.17	1.7	0.0	14.1	59	59	4.7	1.8	0.06	0.6	0.9	1.4E+05
	หน้ากรมที่ดิน	27.9	7.21	1.6	0.0	9.4	35	31	3.5	1.1	0.12	0.7	0.7	8.1E+04
	ประตูระบายน้ำพระปิ่นเกล้า	27.9	7.2	1.7	0	6.5	32	47	3.4	0.7	0.07	0.6	0.8	5.7E+04
	หลังทม.1	27.9	7.18	1.4	0.0	9.3	31	49	3.2	0.5	0.07	0.6	0.6	8.8E+04
	ถนนตีทอง	27.9	7.18	1.1	0.1	13.3	39	33	3.9	1.4	0.07	0.7	0.8	1.8E+05
คลองหลอดวัดราชบพิธ	สะพานผ่านฟ้า	28.0	7.04	0.7	0.0	10.7	30	52	4.1	0.8	0.06	0.6	0.7	1.8E+05
	หลังตลาดนานา	28.0	7.07	2.8	0.0	11.6	41	48	4.7	0.5	0.04	0.4	0.6	1.3E+05
	ประตูระบายบางลำภู	28.0	7.11	3.2	0.0	11.3	40	57	4.3	0.9	0.05	0.5	0.6	6.8E+04
	ประตูระบายน้ำโอง่าง	28.0	7.10	2.7	0.1	9.1	28	44	2.7	0.4	0.05	0.6	0.5	9.9E+04
	สะพานดำรงสถิต (ถนนเจริญกรุง)	28.0	7.06	1.4	0.0	16.6	34	39	4.9	1.1	0.08	0.7	0.7	2.4E+05
คลองมหานาค	สะพานสมเด็จพระमारค (ถนนบำรุงเมือง)	28.0	7.02	0.8	0.0	10.9	35	31	4.3	2.4	0.10	0.8	0.9	2.7E+05
	สะพานดำรง	28.2	7.24	0.9	0.0	13.0	40	91	4.9	1.8	0.11	0.6	0.8	2.8E+05
	สะพานเจริญราษฎร์	28.2	7.10	1.5	0.0	9.2	32	83	4.4	1.0	0.12	0.6	0.7	1.7E+05
	เจริญผล	28.2	7.14	1.9	0.0	8.3	26	61	5.1	1.3	0.11	0.6	0.6	2.0E+05

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองเขตุ่งกรุงเกษม	สถานีสูบน้ำกรุงเกษม	28.3	7.13	0.8	0.0	11.4	42	46	7.1	2.5	0.08	0.7	0.9	1.0E+05
	สถานีโรงไฟฟ้ากรุงเทพ	28.3	7.04	0.7	0.0	10.5	37	35	6.6	2.0	0.07	0.6	0.8	1.8E+05
	หน้ากรมวิเทศสหการ	28.3	7.10	2.4	0.0	7.1	32	41	3.2	0.9	0.05	0.6	0.6	8.6E+04
	ตลาดเทวราช	28.3	7.07	2.6	0.0	6.1	39	44	2.6	0.2	0.06	0.5	0.5	1.5E+05
	ประตูระบายน้ำเทเวศน์	28.3	7.17	2.8	0.0	5.1	28	43	2.3	0.1	0.07	0.5	0.4	3.2E+05
คลองสามเสน	ประตูระบายน้ำสามเสน	28.8	7.19	2.3	0.0	10.8	51	64	5.2	0.9	0.06	0.5	0.6	7.6E+05
	วัดบิณฑ์	28.8	7.15	2.0	0.0	9.8	43	50	1.9	0.3	0.07	0.5	0.6	5.4E+05
	อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	28.8	7.07	0.3	0.5	31.5	83	31	8.3	2.6	0.04	0.6	1.1	1.7E+06
	หลังแฟลตดินแดง	28.6	7.26	0.3	0.5	18.0	52	25	10.8	4.8	0.08	0.7	1.1	6.3E+05
	ถนนอโศกดินแดง	27.7	7.06	1.8	0.0	11.3	36	80	6.6	2.7	0.06	0.7	0.8	1.9E+05
คลองแสนแสบ	ประตูระบายน้ำแสนแสบ	27.7	7.10	1.2	0.1	12.6	37	60	6.7	2.8	0.08	0.9	1.0	3.0E+05
	ซอยเทพศิลา	27.7	7.14	0.5	0.2	18.7	55	57	9.2	4.2	0.09	1.0	1.2	6.3E+05
	สะพานบางกะปิ	27.7	7.15	1.4	0.0	11.5	50	37	6.1	2.7	0.06	0.9	1.0	2.4E+05
	วัดบำเพ็ญเหนือ	27.7	7.03	2.0	0.0	7.3	44	32	3.9	0.7	0.03	0.5	0.5	5.5E+04
	มีนบุรี(โรงเรียนสตรีวิทยามีนบุรี)	27.7	7.09	3.5	0.0	5.3	43	31	2.7	0.7	0.03	0.4	0.4	4.9E+04
	ประตูระบายน้ำแสนแสบ (ของกรมชลประทาน)	27.7	7.20	4.7	0.0	7.5	39	31	2.1	0.4	0.04	0.4	0.4	3.2E+04

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองต้น คลองเปรมประชากร	สะพานประตูน้ำเทรตเ็นเตอร์	28.1	7.03	0.6	0.2	19.3	65	80	4.8	1.2	0.06	0.7	0.8	4.0E+06
	ประตูระบายน้ำคลองต้น	28.5	7.22	0.1	0.1	18.8	52	39	12.0	5.5	0.08	1.2	1.1	4.9E+05
	ตลาดบางซื่อ	28.3	7.07	0.7	0.5	20.3	53	44	8.0	3.2	0.07	0.7	0.8	3.2E+05
	ทัศนสถานวัยหนุ่ม (ถ.งามวงศ์วาน)	28.4	7.10	1.0	0.2	21.1	42	31	6.4	2.6	0.05	0.7	0.8	5.7E+05
	เทศบาลสงเคราะห์(วัดเสถียรมณี)	28.9	7.06	0.8	0.1	18.6	68	43	4.6	1.4	0.06	0.7	0.9	6.4E+05
คลองบางซื่อ	ถนนเศรษฐศิริ(สะพานเกษะโกมล)	28.9	7.06	0.9	0.1	16.6	55	39	3.1	0.9	0.08	0.5	0.6	2.4E+05
	ถนนศรีอยุธยา(วัดเบญจมบพิตร)	28.9	7.14	2.5	0.0	9.2	34	30	3.0	0.8	0.04	0.5	0.5	1.5E+06
	สะพานพิบูลย์สงคราม (ถ. 1)	27.8	7.14	0.6	0.1	15.5	54	29	9.4	3.3	0.06	0.7	0.9	1.0E+06
	พระราชราษฎร์สาย 1)													
	ถนนพหลโยธิน	27.5	7.16	0.3	0.4	26.8	100	43	9.9	4.8	0.07	1.0	1.0	4.2E+05
คลองสาธิต	ถนนรัชดาภิเษก (โรงแรมเจ้าพระยา ปาร์ค)	27.5	7.10	0.2	0.4	23.6	63	30	7.5	3.0	0.08	1.0	1.1	3.6E+05
	ประตูระบายน้ำสาธิต	27.9	7.24	0.2	0.4	29.8	82	40	6.6	3.1	0.04	0.6	0.8	1.4E+06
	สถานทูตซาอุดีอาระเบีย	28.1	7.23	0.0	0.3	36.8	82	34	10.1	5.4	0.06	1.0	1.2	1.4E+06
	ถนนราชมรรคาสาธิตนครินทร์	27.9	7.24	0.3	0.2	35.0	107	52	6.8	3.2	0.07	0.9	1.0	1.1E+06
	ถนนเจริญนคร	27.7	7.06	0.3	0.5	22.9	65	25	7.9	4.5	0.07	0.6	1.1	4.2E+06

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองสาม	ถนนตากสิน	27.7	7.11	0.0	0.6	31.3	142	35	10.7	6.3	0.05	0.7	1.2	9.6E+06
คลองห้วยขวาง	สะพานหัวดินแดง	27.7	7.18	0.9	0.5	17.9	46	37	4.4	2.1	0.07	0.7	0.9	1.1E+06
	ชุมชนห้วยขวาง	28.7	6.94	0.0	0.9	71.7	153	30	13.0	5.6	0.05	0.9	1.2	1.1E+07
คลองห้วยขวาง	ถนนสุทธิสารวินิจฉัย	28.7	6.79	0.0	1.0	40.6	108	25	7.2	3.2	0.04	0.9	1.2	1.6E+07
	ถนนรัชดาภิเษก	29.0	6.85	0.0	0.6	54.7	134	25	11.3	4.9	0.06	1.0	1.5	1.9E+07
คลองลาดพร้าว	ถนนวัฒนธรรม ใกล้สถานทูตเกาหลี	28.9	6.84	0.0	1.1	43.7	103	42	8.6	5.9	0.08	1.3	1.4	1.6E+07
คลองลาดพร้าว	ถนนประชาสุทิศ	28.3	7.05	1.3	0.5	15.5	57	21	8.2	2.7	0.04	0.6	1.3	2.6E+05
	ร.ร.พิบูลย์อุปถัมภ์ (ถนนลาดพร้าว)	28.3	7.12	0.6	0.8	15.1	45	21	11.3	4.5	0.06	0.9	1.3	2.8E+05
คลองบางนาสาม	วัดบางบัว	28.6	7.23	0.2	0.6	16.0	39	24	5.4	2.4	0.04	0.6	1.1	4.1E+05
	ถนนเจริญนคร	27.7	7.16	0.1	0.3	29.0	80	26	8.4	4.3	0.09	0.9	1.5	2.0E+06
คลองดาวคะนอง	ถนนพระเจ้าตากสิน	27.7	7.13	0.1	0.5	33.5	82	27	9.7	5.6	0.08	0.8	1.5	4.3E+06
	ถนนเจริญนคร	27.7	7.18	1.7	0.0	5.8	33	42	2.6	0.6	0.08	0.4	0.5	4.3E+05
	ถนนพระเจ้าตากสิน หลังโรงพยาบาลเมตตา	27.7	7.15	1.9	0.0	7.6	36	57	2.3	0.7	0.08	0.4	0.5	9.8E+05
	ฝาย													
คลองบางขุนเทียน	ทำน้ำวัดบางขุนเทียนนอก (ถ.จอมทอง 19)	28.3	7.10	1.6	0.0	8.3	71	34	2.2	0.4	0.04	0.3	0.5	2.9E+04

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Colliform col/100ml
คลองภาษีเจริญ	ถนนพระรามที่ 2	28.3	7.18	1.9	0.0	7.5	54	43	2.0	0.5	0.03	0.4	0.7	4.2E+04
	ร.ร.วัดรางบัว (ถ.เพชรเกษม 33)	28.7	7.13	2.6	0.0	5.0	37	24	2.9	0.5	0.04	0.6	0.7	6.1E+04
คลองข้ามถนน	ถนนมาเจริญ (ถนนเพชรเกษม 81)	28.7	7.15	1.6	0.1	11.0	37	18	3.1	0.9	0.05	0.7	0.8	2.6E+05
	ทำนบกวดโตนด	28.1	7.22	3.5	0.0	3.9	20	50	2.4	0.5	0.03	0.5	0.5	4.3E+04
	ทำนกวัดประจักษ์รังสรรค์	28.1	7.19	3.5	0.0	3.4	19	47	2.9	0.3	0.03	0.4	0.5	4.9E+04
คลองบางละมุด	ตรงข้าม รร.เทคโนโลยีพระรามหก	29.0	7.25	1.4	0.0	10.2	44	45	6.1	2.8	0.06	0.9	1.0	2.7E+05
คลองเมย	ถนนอรุณอมรินทร์	27.7	7.20	2.7	0.0	6.0	33	50	1.7	0.1	0.05	0.5	0.5	5.7E+04
คลองเมย	ถนนเจริญสุขนิเวศ	27.7	7.16	2.5	0.0	7.9	48	42	1.9	0.2	0.04	0.5	0.6	7.1E+04
คลองบางกอกน้อย	ถนนอรุณอมรินทร์	27.6	7.12	3.3	0.0	6.6	59	65	2.0	0.4	0.06	0.6	0.7	3.5E+04
	ทำนกวัดสุวรรณา	27.7	7.19	3.0	0.0	6.2	25	36	2.6	0.6	0.06	0.5	0.5	7.0E+04
	ทำนกวัดชลอ (ถ.บางกวย-โทรนัย)	28.1	7.10	2.7	0.0	3.6	22	31	2.7	0.6	0.05	0.4	0.5	4.8E+04
	ซอยร่วมวงศ์พัฒนา (ถ.บางกวย-โทรนัย)	28.1	7.17	2.8	0.0	3.5	24	31	2.3	0.3	0.03	0.4	0.5	4.6E+04
คลองพระโขนง	ทำนกวัดจุฬายาน (ถ.บางกวย-จ.นครราชสีมา)	28.1	6.46	2.8	0.0	3.4	26	24	2.0	0.3	0.02	0.4	0.5	4.3E+04
	ประตูระบายน้ำพระโขนง	28.9	7.20	0.1	0.0	13.2	50	27	5.6	2.5	0.09	1.1	1.1	2.4E+05
คลองบางนา	หน้ากรมอุทกศาสตร์ (ถนนสุขุมวิท)	28.3	7.18	0.1	0.7	30.3	76	34	10.3	4.9	0.07	1.0	1.2	3.1E+05

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T. Coliform col/100ml
	สะพานบางนา (ถนนศรีนครินทร์)	28.4	7.14	0.4	1.0	19.3	71	17	10.5	5.2	0.08	1.0	1.2	2.8E+05
คลองลำเหม่	ถนนเจริญนคร	27.7	7.12	0.4	0.4	25.1	79	29	6.2	3.6	0.09	0.8	1.4	2.6E+05
คลองโผล่โต	ตลาดคลองเตย	28.1	7.19	0.0	0.5	43.9	98	38	12.9	7.4	0.10	1.2	1.5	2.6E+06
	ข้างโรงงานยาสูบ	27.8	7.28	0.0	2.2	40.5	97	36	12.7	7.7	0.11	1.3	1.5	2.6E+06
คลองแจรง่อน	ถนนราษฎร์บูรณะ	27.6	7.07	1.3	0.0	8.9	39	37	4.0	1.5	0.11	0.7	0.8	8.3E+05
	ถนนสุขสวัสดิ์	27.6	7.10	1.2	0.0	9.8	47	30	4.9	1.7	0.05	0.7	0.9	3.9E+06
คลองราษฎร์บูรณะ	ถนนราษฎร์บูรณะ	27.6	7.15	1.9	0.0	6.0	35	41	2.8	0.6	0.04	0.5	0.6	3.9E+06
	ถนนสุขสวัสดิ์	27.6	7.10	2.2	0.0	5.6	42	37	2.3	0.3	0.04	0.5	0.6	9.0E+05
คลองบางปะกอก	ถนนราษฎร์บูรณะ	27.6	6.99	1.6	0.1	15.3	58	29	2.8	0.8	0.04	0.5	0.7	4.1E+05
	ถนนสุขสวัสดิ์	27.6	7.11	1.1	0.2	23.9	85	37	4.9	2.1	0.06	0.7	0.9	2.1E+06
คลองบางปะแก้ว	ถนนราษฎร์บูรณะ	27.6	7.11	2.3	0.0	6.6	43	34	2.9	0.5	0.03	0.4	0.6	1.8E+06
	ถนนสุขสวัสดิ์	27.6	7.12	1.8	0.0	5.6	38	28	4.1	1.1	0.04	0.4	0.6	8.1E+05
	โรงสูบน้ำพระราม 4	27.8	7.26	0.0	0.9	35.3	85	30	10.2	5.7	0.07	1.2	1.4	6.0E+06
แม่น้ำเจ้าพระยา	ท่าน้ำนนทบุรี	27.8	7.30	2.9	0.0	4.8	18	43	3.0	0.0	0.06	0.4	0.3	3.9E+04
	สะพานพระราม 6	27.8	7.33	3.0	0.0	4.5	15	48	1.7	0.0	0.60	0.4	0.4	3.7E+04
	ท่าช้าง	27.7	7.28	3.0	0.0	5.2	20	62	2.4	0.0	0.06	0.4	0.4	6.1E+04

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองสำโรง	สะพานพระพุทธยอดฟ้า	27.8	7.34	2.9	0.0	5.8	18	64	2.5	0.1	0.06	0.5	0.4	3.2E+04
	ท่าน้ำสงรวรรพารเรือ	27.5	7.32	3.1	0.0	5.2	55	79	2.9	0.1	0.06	0.5	0.5	3.4E+04
	สะพานสำโรง (ถนนศรีนครินทร์)	28.3	7.18	0.3	0.6	18.5	72	17	9.2	4.3	0.07	1.0	1.1	4.2E+05
	ในเขื่อนตลาดบางซึ่งติดกับคลองเปรม	27.5	7.36	4.7	0.0	7.4	25	69	4.0	0.8	0.02	0.4	0.3	8.1E+03
คลองประปา	ประชากร:													
คลองบางกอกใหญ่	นอกเขื่อนติดกับถนนแจ้งวัฒนะ	27.5	7.19	5.1	0.0	3.0	40	64	1.4	0.1	0.03	0.3	0.7	6.6E+03
	ถนนเพชรเกษม	27.0	7.10	2.8	0.0	5.5	35	37	1.9	0.4	0.03	0.5	0.5	1.8E+05
	ร.ว.พิานิขยการธนบุรี	27.0	7.11	2.2	0.0	5.9	47	32	2.6	0.7	0.05	0.5	0.7	1.6E+05
	วัดช้างเหล็ก	27.0	7.14	2.4	0.0	4.5	44	39	1.7	0.4	0.04	0.5	0.4	5.5E+04
คลองบางกอกน้อย	บางขุนนนท์	27.0	7.13	3.0	0.0	4.0	35	38	2.5	0.6	0.04	0.5	0.5	2.5E+04
	สะพานเจริญพาสณ์	27.7	7.25	2.5	0.0	6.1	51	36	1.6	0.1	0.06	0.5	0.6	6.5E+04
	วัดกล้วย (ก.บางกอก-โพธิ์น้อย22)	28.1	7.18	2.6	0.0	4.0	20	37	1.9	0.2	0.03	0.3	0.4	3.2E+04
	วัดสำโรง (สะพานเฉลิมศักดิ์)	28.1	7.21	3.3	0.0	4.0	24	44	2.2	0.3	0.02	0.3	0.4	3.4E+04
คลองมหาสวัสดิ์	หน้าวัดชัยพฤกษ์	29.0	7.16	2.4	0.0	4.3	35	32	3.8	0.6	0.05	0.6	0.7	1.5E+05
คลองทวีวัฒนา	ถนน ปิ่นเกล้า-นครชัยศรี	29.0	7.13	2.6	0.0	3.0	34	21	2.1	0.0	0.04	0.5	0.6	3.9E+06
คลองสนามชัย	วัดสิงห์	27.3	6.93	1.6	0.4	15.7	56	26	5.6	1.9	0.10	0.8	1.1	2.1E+05
	วัดเลา	27.3	7.02	0.9	0.2	16.2	60	24	7.5	2.8	0.09	0.7	1.1	2.0E+05

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองบางยี่ขัน	ชุมชนบางบัว	28.4	7.17	0.9	0.2	13.9	36	27	6.4	2.2	0.07	0.8	0.8	2.4E+05
	ใกล้โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำบางบัว	28.6	7.39	1.2	0.1	13.3	40	24	2.9	0.9	0.06	0.7	0.9	1.1E+05
	วัดพระศรีโฆยสวรรค์	29.0	7.27	2.8	0.0	11.0	33	52	2.7	0.8	0.03	0.5	0.6	1.5E+05
	ถนนเจริญสุขนิทวงศ์	29.0	7.15	1.0	0.1	15.1	61	53	5.1	2.0	0.05	0.9	0.9	8.6E+05
	วัดปากโหนด (เขตบางพลัด)	29.0	7.28	0.1	0.5	28.6	79	32	7.4	3.4	0.12	1.2	1.3	5.3E+05
คลองบางพลู	วัดภาคบุรีรังสี	29.0	7.29	0.9	0.2	19.9	62	36	6.4	3.2	0.08	1.1	1.1	1.6E+06
คลองบางพลัด	ถนนเจริญสุขนิทวงศ์	29.0	7.32	0.7	0.1	15.5	48	35	5.8	2.8	0.05	0.8	0.8	9.7E+05
คลองพระครู	ถนนเจริญสุขนิทวงศ์	29.0	7.28	1.5	0.1	10.8	34	33	4.7	1.7	0.06	0.9	0.9	2.7E+05
คลองบางโพ	สถานีตำรวจบางโพ	27.8	7.08	2.0	0.0	11.3	40	51	5.1	1.8	0.09	0.7	0.7	1.8E+05
คลองหลุมไผ่	ถนนประชาราษฎร์สาย 1	27.8	7.10	1.7	0.0	13.2	40	47	7.6	2.0	0.10	0.7	0.8	1.2E+05
	ถนนลาดปลาเค้า	27.7	7.17	0.2	0.9	25.9	64	17	8.9	3.7	0.06	1.1	1.3	1.4E+06
	ซอยลาดปลาเค้า 47	27.7	7.13	0.1	0.4	23.8	66	16	8.7	3.1	0.08	1.1	1.3	1.7E+06
คลองกุ่ม	หมู่บ้านสหกรณ์ (ข.28)	27.7	7.11	0.5	1.4	16.3	69	18	13.3	6.2	0.08	1.0	1.5	8.8E+05
คลองพังพวย	ถนน สุขุมวิท 2	27.7	7.05	0.0	0.3	29.4	78	25	16.1	7.7	0.10	1.2	1.6	1.0E+06
	ถนน สุขุมวิท 1	27.7	7.18	0.4	1.0	36.3	85	27	13.6	6.4	0.08	1.2	1.7	2.5E+06
	หลังเขตคลองจั่น ข.57	27.7	7.28	3.4	0.1	31.0	89	36	13.5	6.9	0.09	1.1	1.4	6.4E+05

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองเตย	ประตูระบายน้ำคลองเตย	28.7	7.22	0.0	0.7	39.8	72	32	10.0	6.1	0.11	1.2	1.5	2.1E+06
คลองวัดดอน	อาคารหริธ	28.3	7.13	0.0	1.1	50.8	113	40	12.0	6.6	0.11	1.4	1.6	8.5E+05
คลองต้นไทร	ซอย เจริญกรุง 57	28.3	7.21	0.1	0.3	29.1	76	29	7.7	4.8	0.08	1.0	2.7	8.5E+05
คลองวัดทองเพลง	ถนน เจริญนคร 17	28.9	7.21	0.4	0.1	18.4	41	59	6.3	2.8	0.08	0.9	0.9	5.0E+05
	วัดทองเพลง	28.9	7.21	0.2	0.2	46.4	183	38	15.2	4.9	0.11	1.2	1.4	1.9E+06
คลองหัวลำโพง	ถนนเจริญนคร	28.9	7.20	0.2	0.3	29.7	53	40	9.3	4.8	0.08	1.1	1.1	9.8E+05
คลองกรวย	หน้าเขตคลองเตย	28.3	7.26	0.0	0.5	35.6	78	26	9.7	4.8	0.09	1.0	1.1	1.7E+06
คลองด่าน	ซอย เจริญกรุง 71	28.3	7.21	0.1	0.2	39.7	64	38	7.1	3.5	0.08	1.0	1.3	9.2E+05
	ถนนเทศบาลไทย	28.3	7.14	2.5	0.0	5.5	40	52	3.3	0.9	0.03	3.0	0.4	2.5E+04
	ทำน้ำวัดนางนองวรวิหาร (ถ.สุภา ภาค)	28.3	7.12	2.3	0.0	4.8	43	49	1.6	1.1	0.03	0.3	0.4	3.0E+04
คลองทุ่ง ม.11	ถนนวิภาวดีรังสิต(สถานีสูบน้ำห้วยวัง)	28.6	7.11	0.4	0.2	18.9	67	55	5.9	3.1	0.08	0.9	1.0	1.5E+06
คลองลาดยาว	ถนนกำแพงเพชร 2	28.6	7.2	0.4	0.0	28.2	98	35	4.1	1.6	0.08	0.8	1.0	3.2E+06
	ถนนวิภาวดีรังสิต	28.6	7.06	1.0	0.1	13.4	52	22	3.6	2.0	0.04	0.5	0.6	1.4E+06
	ถนนรัชดาภิเษก	28.6	6.99	0.0	0.5	20.7	63	55	5.2	2.9	0.09	1.1	1.0	2.3E+06
คลองพญาธิก	ถนนลาดพร้าว (ซอยลาดพร้าว 5/1)	28.7	6.94	0.2	1.0	36.7	64	32	9.2	5.0	0.30	0.7	1.1	3.9E+06
คลองน้ำแก้ว	ถนนลาดพร้าว (ซอยลาดพร้าว 35)	28.7	7.11	0.1	1.2	19.0	38	28	5.9	2.6	0.03	0.6	1.2	7.0E+06
	ถนนรัชดาภิเษก	28.7	7.03	0.1	0.8	20.5	38	28	4.8	1.8	0.03	0.6	1.2	6.7E+06

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	TEMP. °C	pH	DO mg/l	H ₂ S mg/l	BOD. mg/l	COD mg/l	SS mg/l	TKN mg/l	NH ₃ N mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T-P mg/l	T.Collform col/100ml
คลองสวนหลวง 1	ถนนพระราม 1 (แยกเจริญผล)	28.6	6.80	0.0	0.4	47.0	122	40	8.9	3.3	0.06	0.7	1.3	2.3E+06
คลองวัดน้อย	ถนนเจริญเมือง	28.6	6.76	0.0	1.1	60.6	117	35	7.0	2.3	0.10	0.9	1.4	6.2E+05
คลองบางกระบือ	ถนนอำนวยการสงคราม (วัดน้อยนพคุณ)	28.9	7.21	0.5	0.2	16.9	100	71	7.4	3.4	0.04	0.7	1.2	7.4E+05
คลองนาทอง	ถนนสามเสน (บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่)	28.9	6.84	1.7	0.0	16.1	61	28	2.5	0.7	0.07	0.6	0.9	7.4E+05
	ถนนประชาสงเคราะห์ (ซอยพาดินข จ่านงค์)	28.7	7.06	0.0	0.7	42.6	94	17	8.1	2.9	0.06	0.8	0.9	1.6E+07
	ถนนพระราม 9 (สถานีสูบน้ำนาทอง)	28.7	6.96	0.0	0.5	23.4	68	16	4.9	3.0	0.08	0.8	1.0	7.0E+06

แหล่งที่มา : กองจัดการคุณภาพน้ำ สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณตัวอย่างน้ำสำหรับการทดสอบแต่ละพารามิเตอร์

Tests	Volume of Sample (ml)
PHYSICAL	
Color and Odor(2)	100 to 500
Corrosivity (2)	Flowing sample
Electrical conductivity	100
pH, electrometric	100 to 1000
Radioactivity	100 to 1000
Specific gravity (2)	100
Temperature	Flowing sample
Toxicity	1,000 to 20,000
Turbidity	100 to 1,000
CHEMICAL	
Dissolved Gases:	
Ammonia, (3) NH_3 (3)	500
Carbon dioxide,(3) free CO_2	200
Chlorine,(3) free Cl_2	200
Chlorine,(3) free Cl_2	200
Hydrogen,(3) H_2	1,000
Hydrogen sulfide,(3) H_2S	500
Miscellaneous:	
Acidity and alkalinity	100
Bacteria, iron	500
Bacteria, sulfate-reducing	100
Biochemical oxygen demand (BOD)	100 to 500
Carbon dioxide, total CO_2 (including CO_3 , HCO_3 , and free)	200
Chemical oxygen demand (dichromate)	50 to 100
Chlorine requirement	
Chlorine, total residual Cl_2 (including NaOCl , HOCl , NH_2Cl , NHCl_2 , and free)	2,000 to 4,000
Chloroform-extractable matter	200 to 1,000

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Tests	Volume of Sample (ml)
Detergents	100 to 200
Hardness	50 to 200
Hydrazine	50 to 200
Microorganisms	100 to 200
Volatile and filming amines	500 to 1,000
Oily matter	3,000 to 5,000
Organic nitrogen	500 to 1,000
Phenolic compounds	800 to 4,000
pH, colorimetric	10 to 20
Polyphosphates	100 to 200
Silica	50 to 1,000
Solids, dissolved	100 to 20,000
Solids, suspended	50 to 1,000
Tannin and lignin	100 to 200
Cations:	
Aluminum, Al ³⁺	100 to 1,000
Ammonium,(3) NH ⁴⁺	500
Antimony, Sb ³⁺ to Sb ⁵⁺	100 to 1,000
Arsenic, As ³⁺ to As ⁵⁺	100 to 1,000
Barium, Ba ²⁺	100 to 1,000
Cadmium, Cd ²⁺	100 to 1,000
Calcium, Ca ²⁺	100 to 1,000
Chromium, Cr ³⁺ to Cr ⁶⁺	100 to 1,000
Copper, Cu ²⁺	200 to 4,000
Iron,(3) Fe ²⁺ and Fe ³⁺	100 to 1,000
Lead, Pb ²⁺ .	100 to 4,000
Magnesium, Mg ²⁺	100 to 1,000
Manganese, Mn ²⁺ to Mn ⁶⁺	100 to 1,000

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Tests	Volume of Sample (ml)
Mercury, Hg^+ and Hg^{2+}	100 to 1,000
Potassium, K^+	100 to 1,000
Nickel, Ni^{2+}	100 to 1,000
Silver, Ag^+	100 to 1,000
Sodium, Na^+	100 to 1,000
Strontium, Sr^{2+}	100 to 1,000
Tin, Sn^{2+} and Sn^{4+}	100 to 1,000
Zinc, Zn^{2+}	100 to 1,000
Anions:	
Bicarbonate, HCO_3^-	100 to 200
Bromide, Br^-	100
Carbonate, CO_3^{2-}	100 to 200
Chloride, Cl^-	25 to 100
Cyanide, CN^-	25 to 100
Fluoride, F^-	200
Hydroxide, OH^-	50 to 100
Iodide, I^-	100
Nitrate, NO_3^-	10 to 100
Nitrite, NO_2^-	50 to 100
Phosphate, ortho - PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-	50 to 100
Sulfate, SO_4^{2-} , HSO_4^-	100 to 1,000
Sulfide, S^{2-} , HS^-	100 to 500
Sulfite, SO_3^{2-} , HSO_3^-	50 to 100

(1) Consider volumes specified in this table as guides for the approximate quantity of sample necessary for a particular analysis. The exact quantity used should be consistent with the volume prescribed in the standard method of analysis, whenever a volume is specified.

(2) Use aliquots for other determinations.

(3) Obtain samples for unstable constituents in separate containers, preserved as prescribed; containers must be completely filled and sealed against air exposure.

ที่มา : U.S. Environmental Agency (National Pollutant Discharge Elimination System – NPDES-Compliance Instruction Manual), 2004.

ตารางที่ 3 แสดงวิธีการและระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

Parameter	Container	Preservative	Maximum Holding Time
BACTERIAL TESTS			
Coliform, fecal and total	P,G	Cool, 4°C , 0.008% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	6 hours
Fecal streptococci	P,G	Cool, 4°C , 0.008% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	6 hours
INORGANIC TESTS			
Acidity	P,G	Cool, 4°C	14 days
Alkalinity	P,G	Cool, 4°C	14 days
Ammonia	P,G	Cool, 4°C H_2SO_4 to pH<2	28 days
Biochemical oxygen demand	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Biochemical oxygen demand, carbonaceous	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Bromide	P,G	None required	28 days
Chemical oxygen demand	P,G	Cool, 4°C H_2SO_4 to pH<2	28 days
Chloride	P,G	None required	28 days
Chlorine, total residual	P,G	None required	Analyze immediately
Cyanide, total and amenable to chlorination	P,G	Cool, 4°C NaOH to pH>12 0.6 g ascorbic acid	14 days 6
Fluoride	P	None required	28 days

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Parameter	Container	Preservative	Maximum Holding Time
Hardness	P,G	HNO ₃ to pH<2 , H ₂ SO ₄ to pH<2	6 months
Hydrogen ion (pH)	P,G	None required	Analyze immediately
METALS			
Chromium VI	P,G	Cool, 4°C	24 hours
Mercury	P,G	HNO ₃ to pH<2	28 days
Metals except above	P,G	HNO ₃ to pH<2	6 months
INORGANIC TESTS			
Nitrate	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Nitrate-nitrite	P,G	Cool, 4°C ,H ₂ SO ₄ to pH<2	28 days
Nitrite	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Oil and grease	G	Cool, 4°C HCl, H ₂ SO ₄ to pH<2	28 days
Organic carbon	P,G	Cool, 4°C HCl, H ₂ SO ₄ to pH<2	28 days
Orthophosphate phosphorus	P,G	Filter immediately Cool, 4°C	48 hours
Dissolved oxygen			
- Probe	G bottle & top	None required	Analyze immediately
- Winkler	G bottle & top	Fix onsite and store in the dark	8 hours
Phenols		Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH<2	28 days
Phosphorus (elemental)		Cool, 4°C	48 hours
Phosphorus, total	P,G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH<2	28 days
Residue, total	P,G	Cool, 4°C	7 days
Residue, filterable	P,G	Cool, 4°C	7 days
Residue, nonfilterable (TSS)	P,G	Cool, 4°C	7 days
Residue, settleable	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Residue, volatile	P,G	Cool, 4°C	7 days

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Parameter	Container	Preservative	Maximum Holding Time
Silica	P	Cool, 4°C	28 days
Specific conductance	P,G	Cool, 4°C	28 days
Sulfate	P,G	Cool, 4°C	28 days
Sulfide	P,G	Cool, 4°C, add zinc acetate plus sodium hydroxide to pH >9	7 days
Sulfite	P,G	None required	Analyze immediately
Surfactants	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Temperature	P,G	None required	Analyze immediately
Turbidity	P,G	Cool, 4°C	48 hours
ORGANIC TESTS⁸			
Purgeable halocarbons	G, teflon lined septum	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	14 days
Purgeable aromatic hydrocarbons	G, teflon lined septum	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ HCl to pH 2	14 days
Acrolein and acrylonitrile	G, teflon lined septum	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ Adjust pH to 4-5	14 days
Phenols	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	7 days until extraction
Benzidenes	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	40 days after extraction, 7 days until extraction
Phthalate esters	G, teflon lined cap	Cool, 4°C	7 days until extraction, 40 days after extraction
Nitrosamines	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ Store in the dark	7 days until extraction; 40 days after extraction

ตารางที่ 3 (ต่อ)

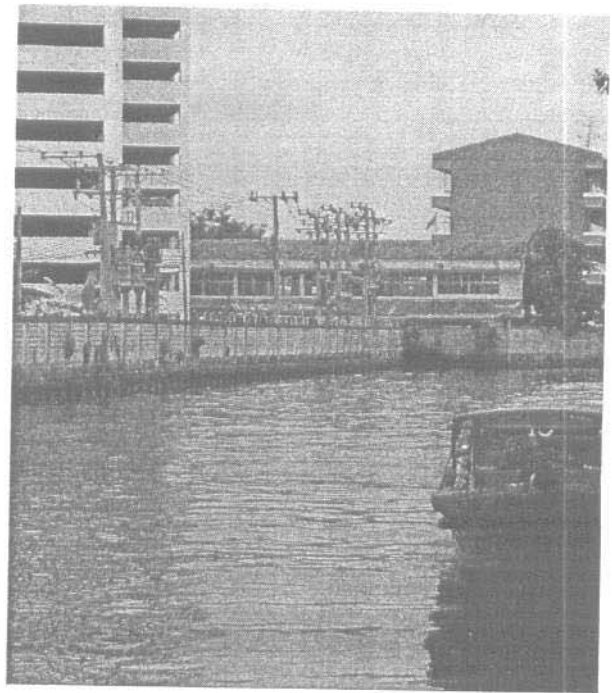
Parameter	Container	Preservative	Maximum Holding Time
ORGANIC TESTS			
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	G, teflon lined cap	Cool, 4°C	7 days until extraction; 40 days after extraction
Nitroaromatics and isophorone	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ Store in the dark	7 days until extraction; 40 days after extraction
Polynuclear aromatic hydrocarbons	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃ Store in the dark	7 days until extraction; 40 days after extraction
Haloethers	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	7 days until extraction; 40 days after extraction
Chlorinated hydrocarbons	G, teflon lined cap	Cool, 4°C	7 days until extraction; 40 days after extraction
2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	G, teflon lined cap	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	7 days until extraction; 40 days after extraction
PESTICIDES TEST			
Organochlorine pesticides	G, teflon lined cap	Cool, 4°C pH 5-9	7 days until extraction; 40 days after extraction
RADIOLOGICAL TEST			
Alpha, beta, and radium	P,G	HNO ₃ to pH<2	6 months
WHOLE EFFLUENT TOXICITY TESTS			
Acute and Chronic, for NPDES Compliance	P,G	Cool, 0-6°C NO ADDITIONS	36 Hours to test initiation

หมายเหตุ : Polyethylene (P) or glass (G)

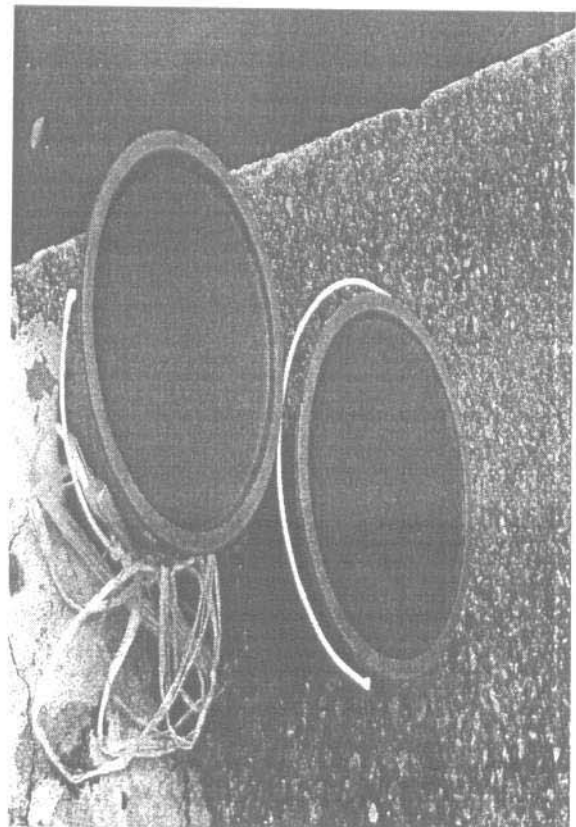
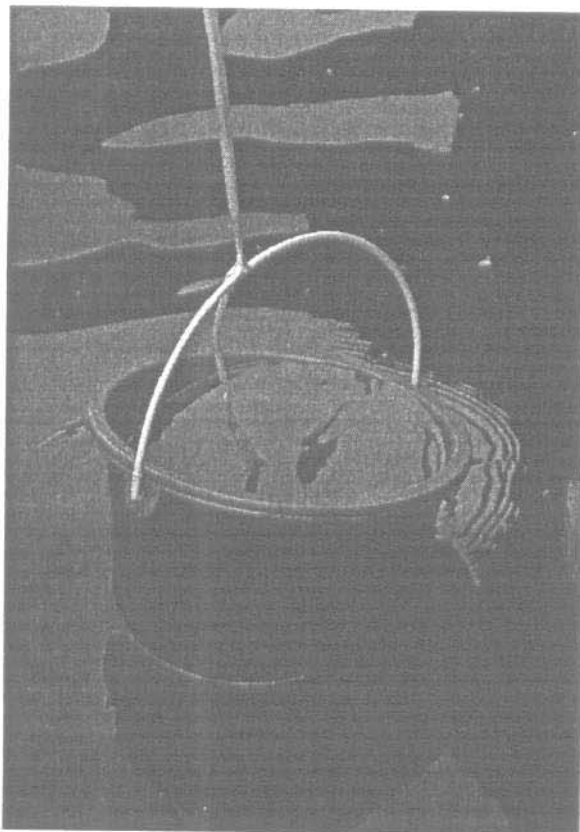
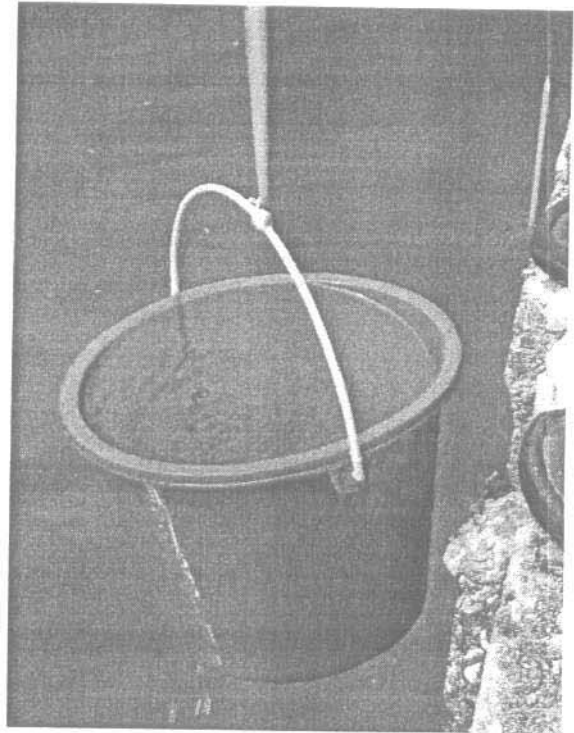
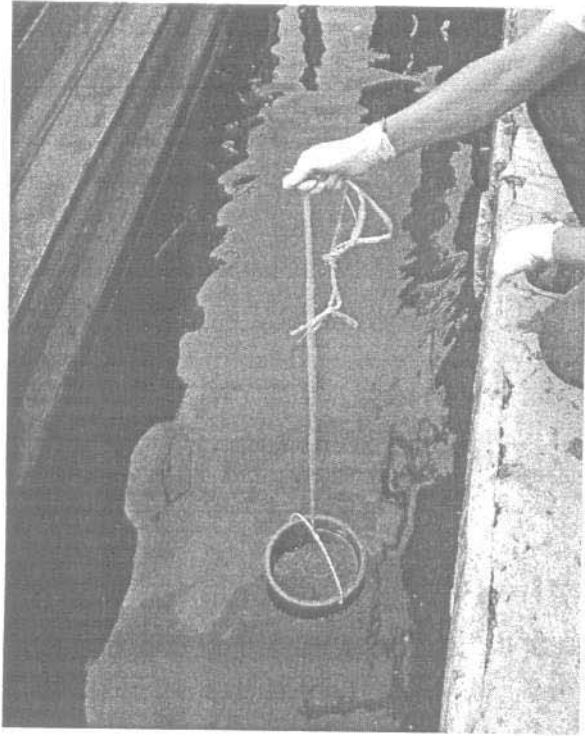
ที่มา: U.S. Environmental Agency (National Pollutant Discharge Elimination System – NPDES-Compliance Instruction Manual), 2004.

ภาคผนวก ง

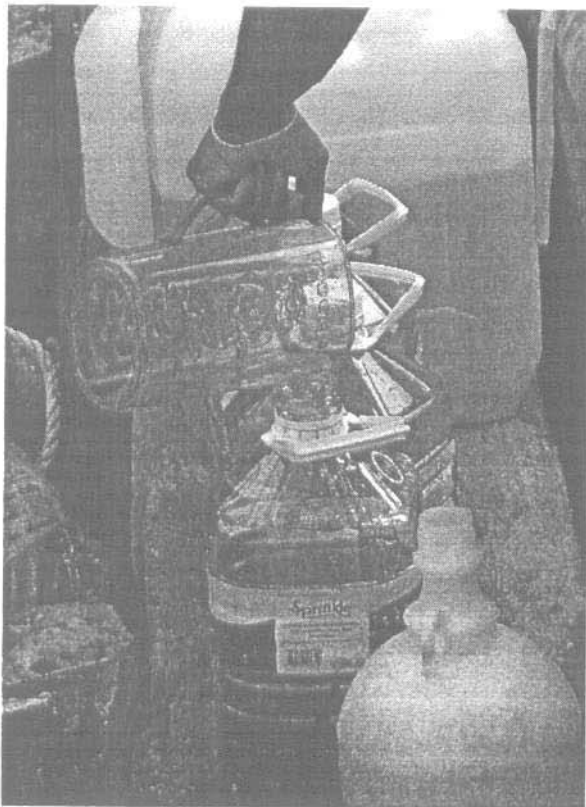
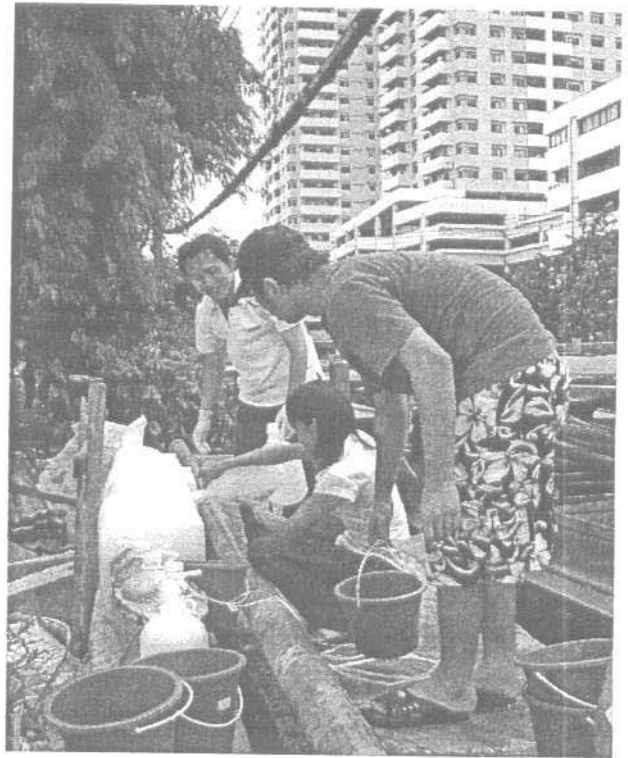
ภาพการเก็บตัวอย่าง และการทดลอง



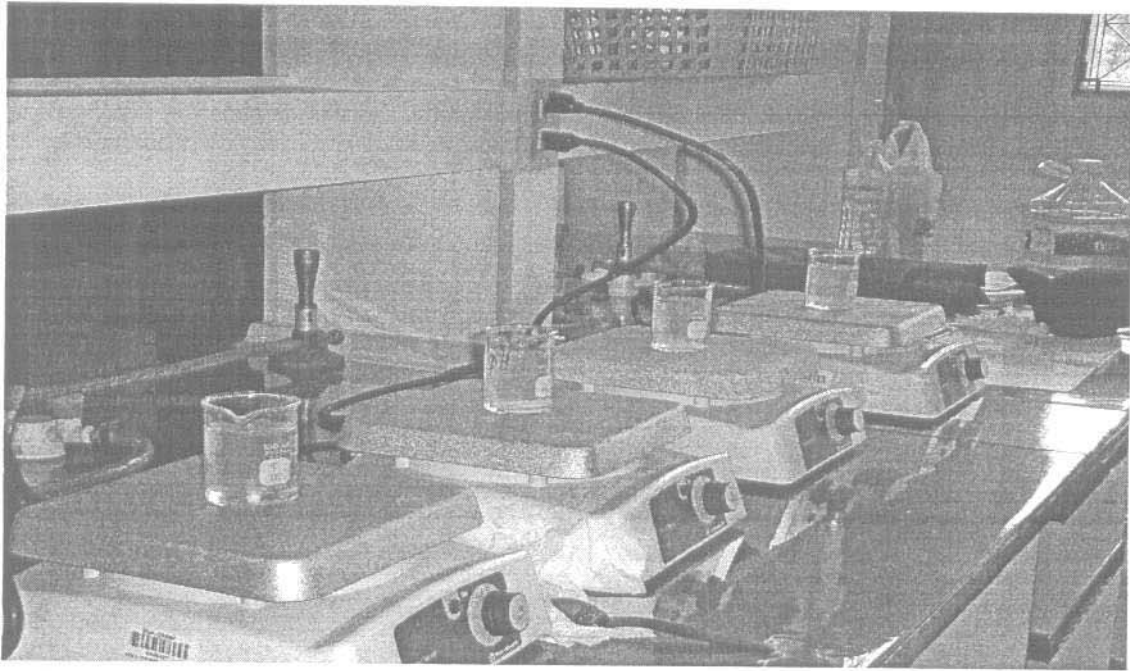
ภาพที่ ง.1 สภาพทั่วไปของคลองแสนแสบบริเวณที่เก็บตัวอย่าง



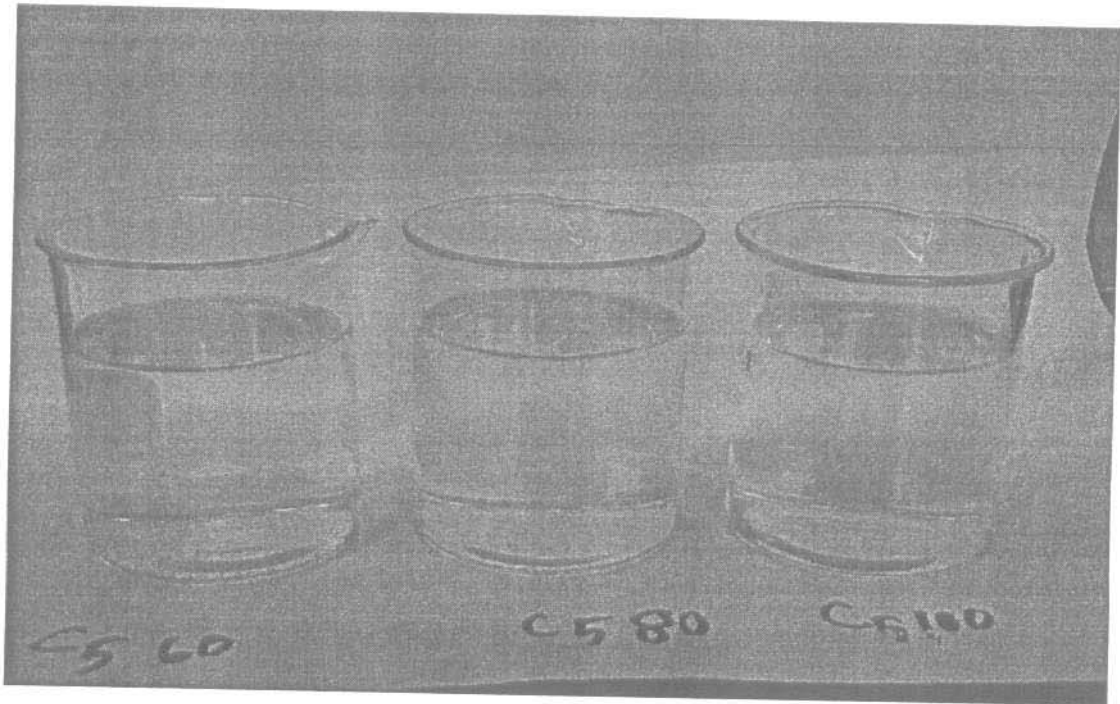
ภาพที่ ง.2 วิธีการ ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่าง



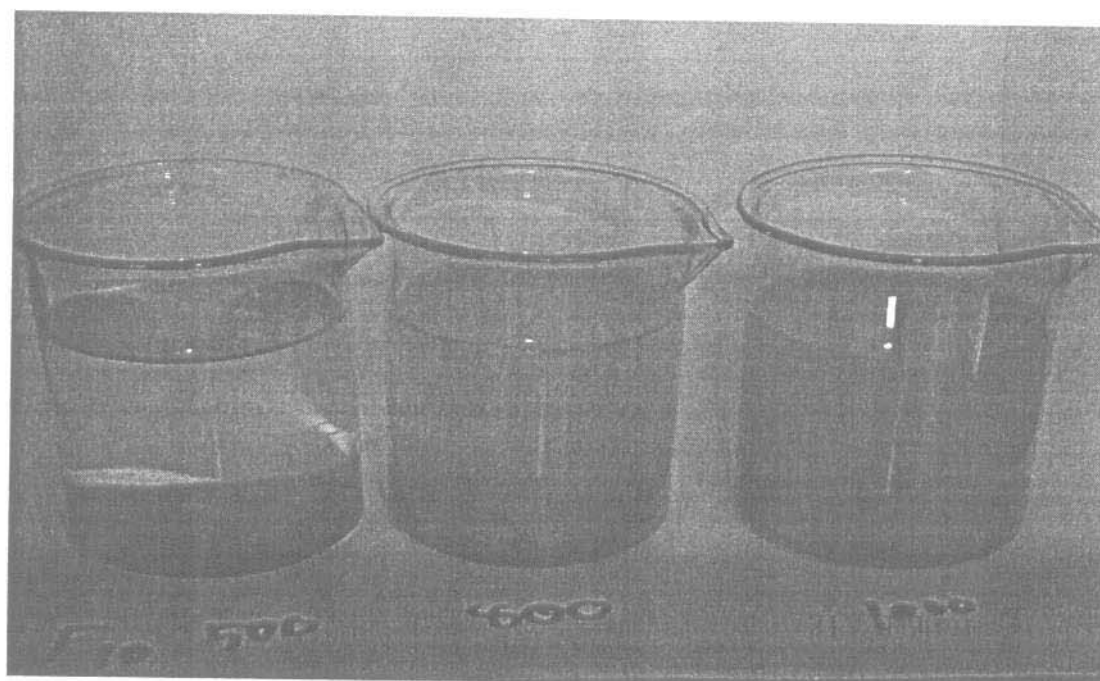
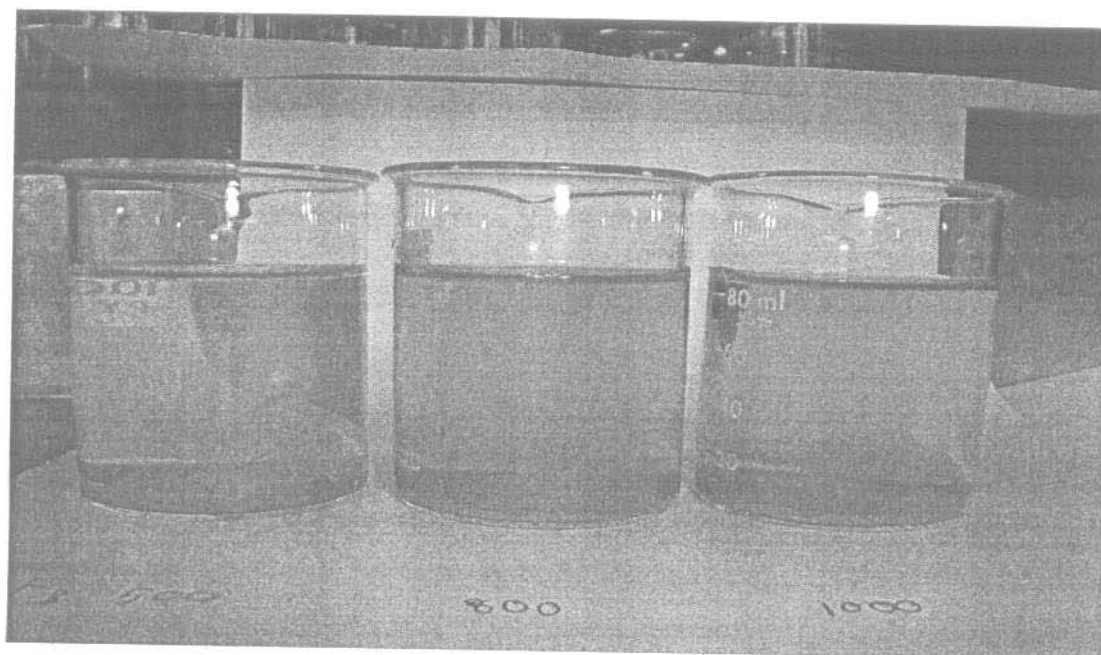
ภาพที่ ง.2 (ต่อ)



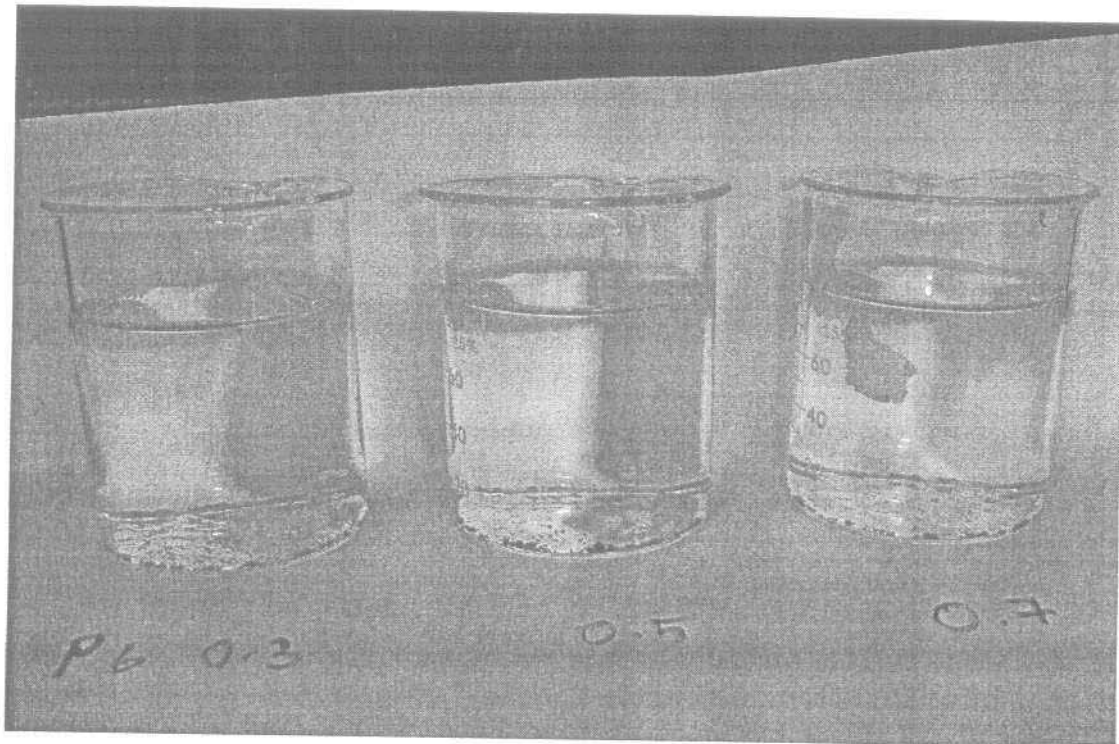
ภาพที่ ง.3 การทดสอบการตกตะกอนด้วยสารส้ม



ภาพที่ ง.4 การทดสอบการตกตะกอนด้วยโคโคซาน



ภาพที่ ง.5 การทดสอบการตกตะกอนด้วย เฟอริกคลอไรด์



ภาพที่ ง.6 การทดสอบการตกตะกอนด้วยโพสิทีฟอิเล็กโตรไลต์

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2544. คู่มือการเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชน. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสีย. ค้นวันที่ 5 มกราคม 2548 จาก
<http://dds.bma.go.th/>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: คณะ
สาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- กองจัดการคุณภาพน้ำ. สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร. 2548. คุณภาพน้ำคลอง ปี 2547.
ค้นวันที่ 2 ธันวาคม 2548 จาก <http://dds.bma.go.th/>.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. การจัดการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย. นนทบุรี: เอส.อาร์.พรินติ้ง แมส
โปรดักส์ จำกัด.
- เกษม สีดอกบวบ. 2543. การกำจัดอเนกอนโลหะหนักในน้ำเสียด้วยโคโคแชน. วิทยานิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ. ศูนย์วิจัยวัสดุชีวภาพไคติน - ไคโต
ซาน. 2546. เอกสารประกอบการประชุมไคติน-ไคโตซานแห่งประเทศไทย
17-18 กรกฎาคม 2546. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ.
- ชาญชัย แสงภักดีจิต. 2539. การนำกลับโปรตีนจากน้ำเสียของโรงงานผลิตวันเส้นจาก
ถั่วเขียวโดยใช้สารโคโคแชนเป็นสารตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณรงค์ วุฑฒเสถียร. 2540. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

- ณัฐพล เอี่ยมอ้น. 2549. การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากสาเหล้มหมัก: กรณีศึกษา น้ำต้วอย่างจากคลองแสนแสบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. การศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ผักกระเฉด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- มันลิน ดันทุลเทศม์. 2546. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ: แชน ซี 68 แลป จำกัด.
- วรางคณา สังสิทธิ์สวัสดิ์. 2539. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี. ขอนแก่น: ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิชัย รูปขำดี และคณะ. 2542. คุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนริมคลองแสนแสบกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคลอง. คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- วิทยา เพียรวิจิตร. 2525. เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- วิชาภา ภูจินดา. 2548. เทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547. งานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์. ค้นวันที่ 5 ธันวาคม 2548 จาก <http://research.u-office.chula.ac.th/>
- สุกัญญา ชีระกูรณ์เลิศ. 2534. คุณภาพน้ำบางประการตามชั้นคุณภาพลุ่มน้ำบริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุณี ดันติกุล. 2531. การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองเขตชั้นต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรีย์ บุญญานุพงษ์. 2544. แนวทางในการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Al-Mutairi, N.Z.; Hamoda, M.F. and Al-Ghusian, I. 2004. Coagulant Selection and Sludge Conditioning in a Slaughterhouse Wastewater Treatment Plant. *Bioresource Technology*. 95: 115 - 119
- Alley, Robert E. 2000. *Water Quality Control Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- American Water Works Association. 1999. *Water Quality and Treatment A Handbook of Community Water Supplies*. New York: McGraw-Hill.

- Amuda, O.S.; Amoo, I.A. and Ajayi, O.O. 2005. Performance Optimization of Coagulant of Wastewater from Beverage Industry. **Journal of Hazardous Materials**. 13: 1 – 13
- Clesceri, Lenore S.; Greenberg, Arnold E. and Eaton, Andrew D. 1998. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. Maryland: United Book Press.
- Divakaran, Ravi and Pillai, V.N. Sivasankara. 2002. Flocculation of River Silt Using Chitosan. **Water Research**. 36: 2414 – 2418
- Ganoulis, Jacques and Papalopoulou, Anastasia. 1996. Risk Analysis of Water Reclamation and Reuse. **Water Science and Technology**. 33: 297 – 302
- Geogiou, D. et al. 2003. Treatment of Cotton Textile Wastewater Using Lime and Ferrous Sulfate. **Water Research**. 37: 2248 – 2250
- Kume, Tamikasu and Takehisa, Masaaki. 1984. Effect of Irradiation for Recovery of Organic Wastes from Potato Starch Wastewater with Chitosan. **Radiation Physics and Chemistry**. 23: 579 – 582
- Meyssami, B. and Kasaeian, A.B. 2005. Use of Coagulants in Treatment of Olive Oil Wastewater Model Solutions by Induced Air Flotation. **Bioresource Technology**. 96: 303 – 307
- National Metal and Materials Technology Center (MTEC). Powder Characterization Laboratory. 2004. **Everything You Want to Know About Coagulation and Flocculation**. Retrieved November 16, 2004 from <http://www.mtec.or.th/mabs/powder/book/coagulation.pdf>.
- Nollet, Leo M.L. 2000. **Handbook of Water Analysis**. New York: Marcel Dekker.
- Oasim, Syed R.; Motley, Edward M. and Zhu, Guang. 2000. **Water Works Engineering Planning, Design and Operation**. New Jersey: Prentice Hall.
- Pan, Jill Rushing. et al. 1999. Evaluation of a Modified Chitosan Biopolymer for Coagulation of Colloidal Particles. **Physicochemical and Engineering Aspects**. 147: 359-364
- Reeve, Roger N. 1994. **Environmental Analysis**. England: Wiley.

- Roussy, Jean. et al. 2005. Influent of Chitosan Characteristics on the Coagulation and the Flocculation of Bentonite Suspension. **Water Research**. 39: 3247 – 3258
- Selcuk, Huseyin. 2005. Decolorization and Detoxification of Textile Wastewater by Ozonation and Coagulation Processes. **Dyes and Pigments**. 64: 217 – 222
- Song, Z.; Williams, C.J. and Edyvean, R.G.J. 2004. Treatment of Tannery Wastewater by Chemical Coagulation. **Desalination**. 164: 249 - 259
- Stoll, U. and Parameswaran, K. 1996. Treatment and Disposal of Domestic Sewage Sludge and Nightsoil Sludge for Bangkok. **Water Science and Technology**. 34: 209 – 217
- Thailabonline สารข่าวสารเพื่อสุขภาพ. 2547. ไคติน-ไคโตซาน. ค้นวันที่ 25 ตุลาคม 2547 จาก <http://thailabonline.com/chitin-chitosan.htm>.
- TRAMFLOC, INC. 2004. More Than You Really Want To Know About Polymers. Retrieved October 25, 2004 from <http://www.tramfloc.com/tf30t.html>.
- U.S.Environmental Agency (National Pollutant Discharge Elimination System – NPDES-Compliance Instruction Manual). **Sampling Procedure**. Retrieved December 1, 2004 from <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/monitoring/inspections/npdesinspect/npdesinspect5.pdf>.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - ชื่อสกุล

นางสาว ทิตยา นันหมื่น

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปีการศึกษา 2534

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2538 – พ.ศ. 2542 นักเคมีประจำแผนกวิเคราะห์

คุณภาพ บริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรมจำกัด (บริษัท
น้ำตาลมิตรผล)

พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2546 ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายประกัน

คุณภาพ บริษัท ควอลิตี้ แล็บ จำกัด

พ.ศ. 2548 – ปัจจุบัน ผู้จัดการฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
บริษัท เกื้อกูลตะวันออก จำกัด