

b150628

การศึกษาอัตราเร็วการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการ
บำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธี
การรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี

ภัทราวดี ภูมิภักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

2549

การศึกษาอัตราเร็วการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการ
บำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธี

การรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี

ภัทราวดี ภูมิภักดิ์

คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.....วิสาชา ภูจินดา.....ประธานกรรมการ
(ดร. วิสาชา ภูจินดา)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.....สินศุภา จุ้ยจุลเจิม.....กรรมการ
(ดร. สินศุภา จุ้ยจุลเจิม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.....ศุภดิษฐ์.....กรรมการ
(ดร. ศุภชัย ศุภดิษฐ์)

อาจารย์.....คณบดี

(วิชัย รูปขำดี)

วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2549

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี
ชื่อผู้เขียน	นางสาวภัทราวดี ภูมิภักดิ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	2549

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนโดยใช้สารส้ม (Alum) เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก (Cationic polyelectrolyte) และ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียภายหลังบำบัด (Turbidity Removal) ศึกษาเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนของกากตะกอน (Flocculant Settling) และศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการเกิดกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ทดลองโดยการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นแตกต่างกันและที่สภาวะ pH แตกต่างกัน

ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น พบว่า สารส้ม ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 83.54 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6 เฟอริกคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 90.75 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 8 โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 79.33 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 7 และ Micronized Chitosan ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุด ร้อยละ 84.28 ที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 8 เมื่อเรียงลำดับประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจากมากที่สุดไปน้อยสุดได้แก่ เฟอริกคลอไรด์ Micronized Chitosan สารส้มและโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ตามลำดับ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนของกากตะกอน พบว่า สารส้มให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1.56×10^{-4} เมตรต่อวินาที ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 8 เฟอริกคลอไรด์ให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ

2.71×10^{-4} เมตรต่อวินาที ที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 9 โพลีอิเล็กโตรไลต์ ประจุบวกให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาที ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6 และ Micronized Chitosan ให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย สูงสุดเท่ากับ 1.70×10^{-4} เมตรต่อวินาที ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4 เมื่อ เรียงลำดับอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยจากเร็วที่สุดไปช้าที่สุด คือ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก เฟอริกคลอไรด์ Micronized Chitosan และสารส้ม ตามลำดับ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ ปริมาณการเกิดกากตะกอน พบว่า เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน สารส้ม ให้ปริมาณกาก ตะกอนต่ำสุด เท่ากับ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6 และ 8 และที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6 เฟอริกคลอไรด์ให้ปริมาณกาก ตะกอนต่ำสุดเท่ากับ 20.00 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 8 โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกให้ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคือ น้อยกว่า 5 มิลลิลิตรต่อลิตร ในทุกๆ สภาพความเข้มข้นและทุกค่า pH ที่ทำการทดลองและ Micronized Chitosan ให้ปริมาณกาก ตะกอนต่ำสุด ประมาณ 5 - 10 มิลลิลิตรต่อลิตร ในทุกๆ สภาพความเข้มข้นและทุกค่า pH ที่ทำ การทดลอง เมื่อเรียงลำดับปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากต่ำสุดไปสูงสุดของสารโคแอกกูแลนซ์ ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก Micronized Chitosan เฟอริกคลอไรด์และสารส้ม ตามลำดับ

เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบจากทั้ง 3 ส่วนข้างต้นมาพิจารณาร่วมกับราคาต่อหน่วย บำบัดน้ำ 1 ลิตร ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและ pH ภายหลังบำบัด พบว่า โพลีอิเล็กโตรไลต์ ประจุบวก คือ ชนิดของสารโคแอกกูแลนซ์ที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ที่สภาพความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6 โดยมีราคาต่อหน่วยบำบัดน้ำ ปริมาตร 1 ลิตร ถูกที่สุด นอกจากนี้ยังไม่มีสารประกอบที่เป็นสารก่อมะเร็งและมีผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ รวมทั้งมีอัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาที ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคือ น้อยกว่า 5 มิลลิลิตรต่อลิตรและประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น ร้อยละ 72.89

ABSTRACT

Title of Thesis	The Study of Flocculant Settling and Wet Sludge Volume After Using a Coagulation Method on Wastewater Samples from The Klong San Saab
Author	Miss Pattarawadee Poomipug
Degree	Master of Science (Environmental Management)
Year	2006

This is a study of the flocculant settling and wet sludge volume of wastewater samples from the Klong San Saab after using a coagulation method. The aim of these investigations was to compare the turbidity removal and flocculant settling as well as wet sludge volume when four coagulants were applied. The four coagulants were alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), ferric chloride (FeCl_3), cationic polyelectrolyte and chitosan. Subsequently, the most suitable coagulant and the optimal condition would be investigated.

The results of the comparison of the turbidity removal indicated that alum with doses of 500 mg/l and at a pH of 6 could remove turbidity at about 83.54%. In addition, the turbidity removal using FeCl_3 was about 90.75% with doses of 500 mg/l and at a pH of 8, the turbidity removal when adding cationic polyelectrolyte with doses of 0.5 mg/l and at a pH of 7 was about 79.33% and when chitosan was applied with doses of 60 mg/l, and at a pH of 8, turbidity removal was about 84.28%. When the turbidity removal was compared from the highest efficiency to the lowest one, FeCl_3 gave the highest turbidity removal, followed by chitosan, alum and cationic polyelectrolyte, respectively. In the settling phase, a sludge level depth was observed. The result of the comparison for the flocculant settling illustrated that the average flocculant settling of alum was 1.56×10^{-4} m/s at doses of 500 mg/l and a pH of 8, that of FeCl_3 was 2.71×10^{-4} m/s when an addition of FeCl_3 of 700 mg/l and at pH of 9 was applied, and the average flocculant settling of cationic polyelectrolyte was about 3.38×10^{-4} m/s when doses of 0.5 mg/l and

at a pH of 6 were applied. When chitosan (doses of 100 mg/l and a pH of 4) was used, the flocculant settling was about 1.70×10^{-4} m/s. It can be concluded that the flocculant settling from the fastest to the slowest one was cationic polyelectrolyte, FeCl_3 , chitosan and alum, respectively. For the comparison of the volume sludge, the results showed that alum produced wet sludge equal to 21.70 ml/l when doses of 500 mg/l and at pH of 6 and 8 and with doses of 800 mg/l and a pH of 6 were employed. When FeCl_3 of 700 mg/l and a pH of 8 was added, wet sludge volume equal to 20.00 ml/l was produced. In addition, cationic polyelectrolyte produced wet sludge less than 5 ml/l in every condition studied and chitosan also produced wet sludge about 5 - 10 ml/l in every condition studied.

In summary, the results indicated that the cationic polyelectrolyte was the best coagulant for the Klong San Saab wastewater treatment with a condition of doses of 0.5 mg/l and at a pH of 6. It gave the fastest flocculant settling of 3.38×10^{-4} m/s, the lowest wet sludge production of less than 5 ml/l and turbidity removal of 72.89% was obtained. As the cationic polyelectrolyte was used in very small amounts, it is the cheapest coagulant when compared to the other three coagulants studied.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิสาขา ภูจินดา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาปรับปรุงวิทยานิพนธ์รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนศุภา จุ้ยจุลเจิม กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการปรับปรุง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นรวมทั้งการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ ห้องปฏิบัติการทางเคมี ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อุทิศตนประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ สนับสนุนให้การศึกษาอย่างเต็มความสามารถเสมอมาและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานระหว่างการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณเกษร บัวทอง ที่ได้ช่วยเหลือให้การทดลองในห้องปฏิบัติการทางเคมี ที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเป็นไปด้วยความราบรื่นตลอดการทดลอง และ คุณไพวรรณ ประทุมมาดย์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณวรณภพ สุขสมจินต์ คุณปิติพันธ์ สุปัญญาพันธ์ และคุณอาภรณ์ ทองนพคุณ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำ คลองแสนแสบและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ทำการศึกษาวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ได้อุปการะและสนับสนุนข้าพเจ้า ในทุกๆ ด้านและขอบคุณพี่สาว พี่ชาย น้องชาย และหลานๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ภัทราวดี ภูมิภักดิ์

กันยายน 2549

	หน้า
<u>บทคัดย่อ</u>	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(13)
 <u>บทที่ 1</u> บทนำ	 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	5
1.3 กรอบแนวคิดในการศึกษา	6
1.4 ขอบเขตในการศึกษา	7
1.5 สมมติฐานการศึกษา	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการศึกษา	8
<u>บทที่ 2</u> ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 คุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสีย	10
2.2 หลักการบำบัดน้ำเสียทั่วไป	16
2.3 หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี	19
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
<u>บทที่ 3</u> วิธีดำเนินการศึกษา	37
3.1 ประชากรและตัวอย่าง	37
3.2 วิธีการทดลอง	39
3.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	50
3.4 วัสดุอุปกรณ์	50

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล		51
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	c4-1	53
4.1 คุณสมบัติของน้ำเสีย		53
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น		54
4.3 อัตราเร็วในการตกตะกอน	c4-2	90
4.4 ปริมาณกากตะกอนคงเหลือภายหลังตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน		107
4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัด		124
4.6 สรุปภาพรวมผลการทดลอง		128
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ		130
5.1 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal)		130
5.2 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling)		132
5.3 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณกากตะกอนคงเหลือ (Wet Sludge Volume)		134
5.4 การพิสูจน์สมมติฐานการศึกษา		136
5.5 การคำนวณค่าใช้จ่าย		138
5.6 การเปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อหาชนิดของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ		139
5.7 ข้อจำกัดในการทดลอง		144
5.8 ข้อเสนอแนะ		144
บรรณานุกรม		145
ภาคผนวก		149
ภาคผนวก ก การเตรียมสารละลาย		150
ภาคผนวก ข มาตรฐานและคุณภาพน้ำ		153
ภาคผนวก ค ข้อมูลจำเพาะของโพลีเมอร์และ Micronized Chitosan		159
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ		169
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย		188
ประวัติผู้เขียน		190

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบปี พ.ศ. 2548 และ 2547	2
1.2 ปริมาณตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดน้ำ จากกิจการประเภทต่าง ๆ	4
3.1 พารามิเตอร์และวิธีทดสอบ/เครื่องมือ	50
4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนทดลอง	54
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน	55
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน	58
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน	63
4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน	67
4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน	72
4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน	76
4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน	81
4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน	85

4.10 อัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอน	90
4.11 อัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอน	95
4.12 อัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน	99
4.13 อัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน	102
4.14 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	106
4.15 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน	107
4.16 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	111
4.17 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน	115
4.18 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	119
4.19 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน	122
4.20 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน	122
4.21 สรุปผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นและอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดและปริมาณกากตะกอนต่ำสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	128
5.1 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	130
5.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	131
5.3 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย (m/s) ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	132
5.4 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	133
5.5 ปริมาณกากตะกอนคงเหลือ (m/l) ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	134
5.6 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	135
5.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	136

5.8	เปรียบเทียบอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของ สารรวมตะกอนแต่ละชนิด	137
5.9	เปรียบเทียบปริมาณกากตะกอนต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากการเติม สารรวมตะกอนแต่ละชนิด	138
5.10	ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อหน่วยบำบัดน้ำ 1 ลิตร	139
5.11	สรุปผลการทดลองเพื่อหาชนิดของสารรวมตะกอนที่เหมาะสม ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ	140

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา	6
2.1 กระบวนการโคแอ็กกูเลชันในระบบบำบัดน้ำเสีย	20
2.2 ขนาดอนุภาคต่างๆที่เป็นสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ	21
2.3 แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์	21
2.4 สภาพประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์และศักย์ซีตา	23
2.5 ลักษณะที่โพลีอิเล็กโทรไลต์ช่วยจับอนุภาค	23
2.6 ลักษณะโครงสร้างของ Cationic Acrylamide Copolymers	24
2.7 ลักษณะการจับตัวและรวมตัวเมื่อใส่โพลีเมอร์	26
2.8 โครงสร้างทางเคมีของ Micronized Chitosan	27
2.9 เครื่องทดสอบจาร์เทส (Jar Tester)	29
2.10 เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer)	29
3.1 แผนภาพการเก็บตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบแบบผสมรวม ณ วันที่ 24 มีนาคม 2549	35
3.2 การเก็บน้ำตัวอย่างบริเวณด้านหลังโรงอาหารอาคารที่จอดรถ	38
3.3 ขวดเก็บน้ำตัวอย่างโพลีเอทรีลีนมีฝาเกลียวปิด	39
3.4 การกวนซ้ำเมื่อเติม FeCl_3 ในตัวอย่างน้ำเสีย	40
3.5 ลักษณะทางกายภาพของสารส้ม (Alum)	41
3.6 เฟอริกคลอไรด์จากบริษัท Merck	42
3.7 โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก – OPTIMER 9916	42
3.8 ลักษณะทางกายภาพของ Micronized Chitosan	43
3.9 แผนภาพการทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน	44
3.10 แผนภาพการทดลองเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน	44

3.11	แผนภาพการทดลองเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน	45
3.12	แผนภาพการทดลองเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน	45
3.13	ลักษณะการตกตะกอนในกระบอกตวง	46
3.14	ระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s_1 และ s_2)	46
3.15	กราฟระหว่างเวลาในการตกตะกอน (t) และความสูงของกาก (h)	47
3.16	กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ของตะกอน (s) ต่อเวลา (t) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่	47
3.17	แผนภาพสรุปขั้นตอนการทดลอง	49
4.1	ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ	53
4.2	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 6	56
4.3	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 7	56
4.4	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8	57
4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่ pH แตกต่าง	57
4.6	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	59
4.7	ประสิทธิภาพประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็น สารรวมตะกอนความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร	59
4.8	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	60
4.9	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสาร รวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	61
4.10	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8	64
4.11	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 9	64
4.12	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 10	65
4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ เป็นสารรวมตะกอน ที่ pH แตกต่างกัน	66
4.14	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร	68
4.15	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	68

4.16	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร	69
4.17	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	70
4.18	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 6	73
4.19	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 7	74
4.20	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8	74
4.21	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน	75
4.22	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร	77
4.23	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	77
4.24	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร	78
4.25	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	79
4.26	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 4	82
4.27	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 5	82
4.28	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6	82
4.29	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน	84
4.30	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	86

4.31	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร	86
4.32	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	87
4.33	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	88
4.34	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 6	90
4.35	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 7	91
4.36	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8	92
4.37	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8	94
4.38	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 9	95
4.39	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 10	96
4.40	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6	98
4.41	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 7	99
4.42	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 8	100
4.43	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 4	102
4.44	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 5	103
4.45	ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6	104
4.46	กากตะกอนที่เกิดขึ้น ณ เวลา 60 นาทีจากการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน	106
4.47	ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH เท่ากับ 6	107
4.48	ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH เท่ากับ 7	108
4.49	ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH เท่ากับ 8	108
4.50	ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH แตกต่างกัน	109

4.51 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	110
4.52 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร	111
4.53 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นของสารส้ม เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	111
4.54 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่าง ๆ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	112
4.55 ลักษณะกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน	114
4.56 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ pH เท่ากับ 8	115
4.57 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ pH เท่ากับ 9	115
4.58 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ pH เท่ากับ 10	116
4.59 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ pH แตกต่างกัน	117
4.60 ปริมาณกากตะกอนของ FeCl_3 ที่ pH ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร	118
4.61 ปริมาณกากตะกอนของ FeCl_3 ที่ pH ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	119
4.62 ปริมาณกากตะกอนของ FeCl_3 ที่ pH ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร	119
4.63 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น แตกต่างกัน	120
4.64 ตัวอย่างปริมาณกากตะกอนในกระบอกตวงเมื่อมีการเติมสารรวมตะกอน แต่ละชนิด	123
4.65 เปรียบเทียบปริมาณกากตะกอนและความขุ่นหลังบำบัดเมื่อใช้สารส้ม เป็นสารรวมตะกอน	124
4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนภายหลังบำบัด ตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน	124
4.67 เปรียบเทียบปริมาณกากตะกอนและความขุ่นหลังบำบัดเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน	125

4.68	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนภายหลังจากบำบัด ตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน	126
5.1	สรุปผลการทดลองเพื่อหาสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัด ตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ	148

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียในปัจจุบันเพิ่มปริมาณมากขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำอย่างขาดความระมัดระวังในการดูแลและอนุรักษ์ไว้ซึ่งแหล่งน้ำที่สะอาด สำหรับน้ำในคลองแสนแสบนั้นเมื่อมองด้วยสายตาจะพบว่าลักษณะทางกายภาพมีลักษณะขุ่น มีสีดำ และบางช่วงยังส่งกลิ่นเหม็นมาก ซึ่งก่อให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่สวยงามแก่ผู้สัญจรทางน้ำและผู้อาศัยอยู่บริเวณริมคลอง จากการสำรวจความคิดเห็นของประชากรกลุ่มตัวอย่าง พบว่าร้อยละ 58.3 เห็นว่าปัญหาและอุปสรรคในการเดินเรือ คือ สภาพน้ำในลำคลองเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็น (สุจิตรา บุญยรัตนพันธุ์ และคณะ, 2537: 3)

ในตารางที่ 1.1 แสดงคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบปี พ.ศ. 2547 และ 2548 จากข้อมูลของกรุงเทพมหานคร พบว่า คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบในปี พ.ศ. 2548 มีคุณภาพน้ำดีขึ้นเล็กน้อยจากปี พ.ศ. 2547 และพบว่า บริเวณส่วนใหญ่มีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) ค่อนข้างต่ำ คือ ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่า DO ที่เหมาะแก่การหายใจของสัตว์น้ำและพืชน้ำคือ ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) อีกทั้งปริมาณ BOD ก็สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินและปริมาณสารแขวนลอยส่วนใหญ่มีค่าเกินกว่ามาตรฐานคือ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่ออ้างอิงตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารจึงเป็นการบ่งชี้ได้ว่า คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบนั้น ยังมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 1.1 คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบปี พ.ศ. 2547 และ 2548

ชื่อคลอง	สถานที่เก็บน้ำ	DO (mg/l)		BOD (mg/l)		ปริมาณสาร แขวนลอย (SS) (mg/l)	
		2548	2547	2548	2547	2548	2547
คลองแสนแสบ	ถนนอโศกดินแดง	1.8	2.7	11.3	10.6	80	63.7
คลองแสนแสบ	ปตร. แสนแสบ (ถ.เพชรบุรี ซ. ประสานมิตร)	1.2	1.6	12.6	12.3	60	54.6
คลองแสนแสบ	ซอยเทพลีลา	0.5	0.9	18.7	15.7	57	74.8
คลองแสนแสบ	สะพานบางกะปิ	1.4	1.2	11.5	16.7	37	59.5
คลองแสนแสบ	วัดบำเพ็ญเหนือ	2.0	2.7	7.3	9.4	32	32.3
คลองแสนแสบ	มีนบุรี (ร. สตรีวิทยามีนบุรี)	3.5	3.1	5.3	11.8	31	27.6
คลองแสนแสบ	ปตร. แสนแสบ (ของกรมชล-ประทาน)	4.7	3.6	7.5	11.5	31	29.6
คลองแสนแสบ	สะพานประตูน้ําเวฬุเรศเซ็นเตอร์	0.6	2.2	19.3	13.6	80	75

แหล่งที่มา: สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548.

ผู้ศึกษาวิจัยเล็งเห็นว่า การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบมีหลายทางเลือก เช่น วิธีทางชีวภาพ กายภาพและเคมี การประยุกต์ใช้วิธีทางเคมีในการบำบัดน้ำเสียก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างสูงรวมไปถึงเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ผู้ศึกษาวิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนด้วยการเติมสารรวมตะกอน ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยเน้นศึกษาถึงการหาอัตราเร็วในการตกตะกอนของกากตะกอน (Flocculant Settling) และปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เกิดขึ้นจากการใช้สารรวมตะกอน รวมทั้งค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในขบวนการรวมกลุ่มตะกอนของสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำคลอง

แสนแสบเพื่อหาชนิดของสารรวมตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียที่ดีที่สุดและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี (Coagulation)

ทั้งนี้งานวิจัยเรื่อง การศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี นี้ เป็นการดำเนินการวิจัยต่อเนื่องจากการวิจัยของทิตยา นันหมื่น (2548) เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี ซึ่งการวิจัยเรื่องดังกล่าวมุ่งเน้นวิจัยถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนโดยการเติมสารรวมตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม สารเพอริคลอไรด์ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte, และ Micronized Chitosan โดยพิจารณาคุณภาพของน้ำจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) ความขุ่นและสีของน้ำภายหลังการบำบัด ด้วยการทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่สำหรับการวิจัยเรื่อง การศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี จะมุ่งเน้นศึกษาถึงอัตราเร็วการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเติมสารรวมตะกอนเพื่อหาชนิดความเข้มข้นของสารรวมตะกอน และสภาวะความเป็นกรดและด่าง (pH) ที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบและเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยสารรวมตะกอนแต่ละชนิดโดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (Turbidity Removal) อัตราเร็วในการตกตะกอนของกากตะกอน (Flocculant Settling) และปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume)

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี เน้นที่การศึกษาค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดและอัตราเร็วการตกตะกอน รวมทั้งปริมาณกากตะกอน เนื่องจากในการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบำบัดน้ำเสียทางเคมีและชีวภาพมักจะเกิดปริมาณกากตะกอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดจากกิจกรรมรูปแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ปริมาณตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการบำบัดน้ำจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ

ชนิดโรงงาน	จำนวนโรงงาน	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้	ปริมาณตะกอนน้ำเสีย (ตันปี)
1. สุรา	34	ระบบตะกอนเร่ง	1,300
2. เบียร์	2	ระบบตะกอนเร่ง	10,800
3. น้ำอัดลม	8	ระบบตะกอนเร่ง	782
4. ผงชูรส	3	ระบบตะกอนเร่ง	1,000
5. เยื่อกระดาษ	44	ระบบตะกอนเร่ง	16,200
6. การบำบัดน้ำเสีย	3	ระบบตะกอนเร่ง	7,680
จากการเคหะแห่งชาติ			

แหล่งที่มา: ประยูร เพ็ญตะเณร, 2544: 7.

จากตารางที่ 1.2 จะพบว่า มีปริมาณตะกอนน้ำเสียค่อนข้างมากที่เกิดขึ้นภายหลังน้ำเสียได้ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งหลังจากที่น้ำเสียผ่านกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนแล้วตะกอนเหล่านี้คือตะกอนของสิ่งสกปรกที่ปะปนมาในน้ำเสีย ส่วนน้ำใสที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกไปผ่านกรรมวิธีอื่น ๆ ต่อไป แต่ส่วนที่เป็นตะกอนจะตกอยู่ที่ก้นบ่อตกตะกอนหรือถังตกตะกอน โดยปริมาณตะกอนจะมีจำนวนมากขึ้นตามปริมาณน้ำเสียที่เข้ามาทำการตกตะกอน (ประยูร เพ็ญตะเณร, 2544: 2)

อย่างไรก็ตามอัตราการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นอาจจะขึ้นอยู่กับชนิดความเข้มข้น และสภาวะการทำปฏิกิริยาของสารเคมีที่เติมลงไปในกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนด้วย นอกจากนี้ตะกอนน้ำเสีย (Sludge) ยังอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียภายในถังตกตะกอนได้ด้วย (สนทยา เลหาบุตร, 2535: 6) เช่น 1) ปัญหาตะกอนลอยที่ปนไปกับน้ำเสียที่ไหลออกนอกถังไปยังขั้นตอนต่อไปของการบำบัดน้ำทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง 2) ปัญหาปริมาณตะกอนมากเกินไปและจมอยู่ที่ก้นถังซึ่งจะถูกหมักไว้นานจนอาจจะทำให้เกิดตะกอนลอยตัวเนื่องจากการเกิดแก๊สในโตรเจนในสภาวะที่ไร้อากาศและลอยปะปนไปกับน้ำเสียหรือไหลออกนอกถังทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดและคุณภาพน้ำลดลง 3) ปัญหาน้ำตะกอนมีความเข้มข้นของตะกอนต่ำทำให้การนำตะกอนไปกำจัดขั้นสุดท้ายยุ่งยากและมีราคาในการกำจัดแพงขึ้น

จากปัญหาดังต้นยังมีปัญหาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นกับการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียขั้นสุดท้าย เพราะการกำจัดกากตะกอนขั้นสุดท้าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนสูง ยกตัวอย่างเช่น มีการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือสารพิษหรือสารที่อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งส่งผล

ให้มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงทั้งต้องเป็นกรรมวิธีในการกำจัดที่ต้องเน้นความปลอดภัย (Secured Landfill) หรือเทคโนโลยีเตาเผา (Incinerator) ซึ่งมีราคาแพง รวมทั้งต้องใช้พื้นที่ในการกำจัดอีกด้วย

ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมที่สุดโดยวัดจากอัตราเร็วการตกตะกอนและการเกิดปริมาณกากตะกอนในการบำบัดน้ำเสีย จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีอย่างหนึ่งเพื่อลดภาระการกำจัดกากตะกอนและยังคงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไว้ได้ด้วยดี รวมทั้ง ถ้าตะกอนมีอัตราการตกตะกอนเร็วจะทำให้การบำบัดน้ำเร็วขึ้นหรือน้ำใสเร็วขึ้นและถึงปฏิกิริยาจะมีขนาดเล็กลงซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างด้วย ทั้งนี้ เพราะจุดประสงค์ในการตกตะกอนก็เพื่อจะลดปริมาณความขุ่นในน้ำ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543: 95)

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) โดยใช้ สารส้ม เพอริคคโลไรด์ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกและ Micronized Chitosan

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

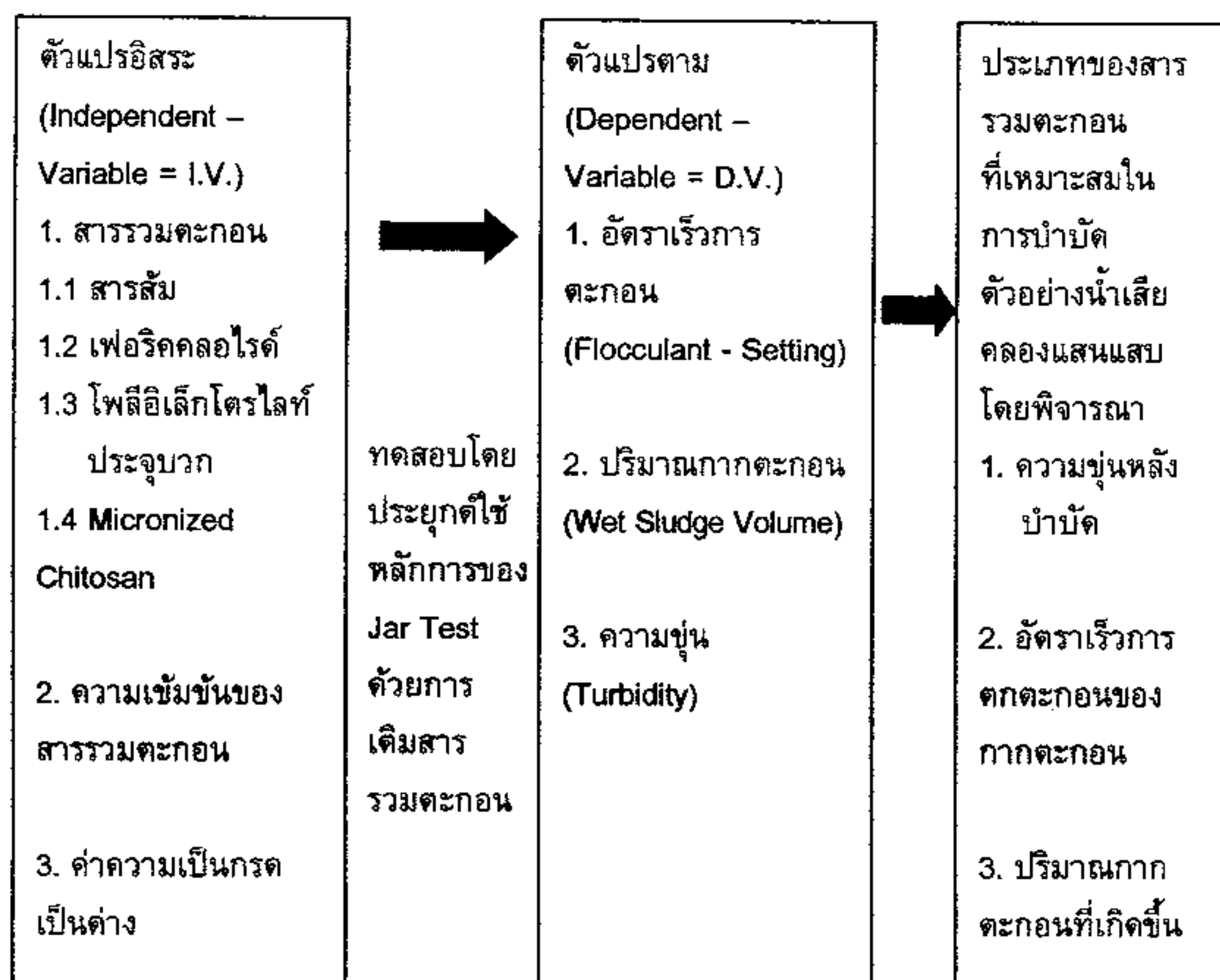
1.2.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดโดยสารรวมตะกอน (Coagulants) ประเภทต่าง ๆ และสภาวะที่แตกต่าง

1.2.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนของกากตะกอน (Flocculant Settling) ในการบำบัดโดยเติมสารรวมตะกอนประเภทต่าง ๆ (Coagulant) และสภาวะที่แตกต่าง

1.2.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ภายหลังจากเติมสารรวมตะกอนประเภทต่าง ๆ (Coagulant) และสภาวะที่แตกต่าง

1.3 กรอบแนวคิดในการศึกษา

การวิจัยเชิงทดลอง เรื่อง การศึกษาอัตราเร็วการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังจากบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี มีกรอบแนวคิดในการศึกษาซึ่งเขียนเป็นแผนภาพในการศึกษาได้ดังนี้



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

ในการศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังจากบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี มีตัวแปรที่ต้องควบคุมในการทดสอบ ดังนี้ 1) อุณหภูมิ 2) ความเข้มข้นและชนิดของกรด - ด่างที่ใช้ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 3) ปริมาณและความเข้มข้นของน้ำเสียที่บำบัดแต่ละครั้ง 4) ความเร็วรอบและเวลาในการกวนทั้งการกวนช้าและการกวนเร็ว 5) ค่าความขุ่นก่อนบำบัด

1.4 ขอบเขตในการศึกษา

1.4.1 ขอบเขตด้านพื้นที่และประชากร

การศึกษานี้เป็นการศึกษาตัวอย่างน้ำคลองแสนแสบบริเวณด้านหลังโรงอาหารอาคารที่จอดรถ ของสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ที่ตั้ง 118 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ.2549 แบบผสมรวม (Composite Sampling)

1.4.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยประกอบด้วยเนื้อหาในการศึกษา คือ

1.4.2.1 สารรวมตะกอน

สารรวมตะกอน ได้แก่ สารส้ม เพอริกคลอไรด์ โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก (Cationic - Polyelectrolyte) และ Micronized Chitosan ที่เป็นตัวแปรอิสระใช้ในการศึกษาโดยการเติมลงในน้ำเสียในปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกันและสภาวะความเป็นกรด – ด่าง ที่ต่างกัน จากนั้นทำการทดสอบน้ำโดยประยุกต์ใช้วิธีจาร์เทส (Jar Test) คือ มีการกวนช้าและกวนเร็ว เพื่อศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอน (Flocculant Settling) และปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ภายหลังการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน

1.4.2.2 ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด โดยศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารรวมตะกอน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอน

1.4.2.3 ความสามารถในการลดความขุ่นของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา

ในการศึกษานี้ทำการศึกษาในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 จนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549

1.5 สมมติฐานการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยเพื่อหาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี มีสมมติฐานการศึกษาดังต่อไปนี้

สมมติฐานที่ 1 การบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีโดยสารโพลีเมอร์ (โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกและ Micronized Chitosan) เป็นสาร

รวมตะกอน ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal) สูงกว่าการใช้สารรวมตะกอนประเภทเกลืออนินทรีย์ (สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์)

สมมติฐานที่ 2 การบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีโดยใช้สารโพลีเมอร์ (โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก และ Micronized Chitosan) เป็นสารรวมตะกอนมีอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling) เร็วกว่า การใช้สารรวมตะกอนประเภทเกลืออนินทรีย์ (สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์)

สมมติฐานที่ 3 การบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีโดยสารโพลีเมอร์ (โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกและ Micronized Chitosan) เป็นสารรวมตะกอนก่อให้เกิดกากตะกอน (Wet Sludge Volume) น้อยกว่า การใช้สารรวมตะกอนประเภทเกลืออนินทรีย์ (สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบถึงคุณภาพน้ำปัจจุบันของคลองแสนแสบ
- 1.6.2 ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการทดลองทางเคมีโดยการรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)
- 1.6.3 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับรวมกลุ่มตะกอนแต่ละชนิดในการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบ
- 1.6.4 ทราบถึงอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเติมสารรวมกลุ่มตะกอนหรือสารรวมตะกอนแต่ละชนิดในการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี
- 1.6.5 เป็นข้อมูลพื้นฐานและทางเลือกในการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีทางเคมี

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการศึกษา

- 1.7.1 น้ำเสีย คือ น้ำที่ผ่านการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ แล้ว เช่น ชำระล้าง สิ่งสกปรก ใช้ในครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรมหรือการเกษตร โดยน้ำดังกล่าวมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก เช่น โลหะหนัก สารพิษหรือสารที่อาจก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เป็นต้น
- 1.7.2 คอลลอยด์ (Colloids) คือ สารแขวนลอยซึ่งมีขนาดระดับไมครอน (10^{-6} เมตร) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พกหน่าน้ำ (Hydrophobic) เช่น เศษดินโคลนในน้ำและพอกชอบน้ำ (Hydrophilic) เช่น สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี

1.7.3 การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) คือ กระบวนการหนึ่งของการทำให้ใสโดยเกิดจากกระบวนการรวมตัวของอนุภาคที่แขวนลอยแล้วเกิดการรวมตัว (Flocculation) ซึ่งกลายเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการประสานอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งไม่สามารถแยกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กเกินไป หลักการของ Coagulation คือ การเติมสารรวมตะกอน (Coagulant) เช่น สารส้ม ลงในน้ำเสียทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่ม (Floc) จนมีน้ำหนักมากขึ้นและสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น

1.7.4 Van Der Waals Force คือ แรงยึดเหนี่ยวอ่อน ๆ ระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น O_2 , CO_2

1.7.5 Zeta Potential คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เข้ามาอยู่ใกล้กัน จะเกิดการซ้อนทับระหว่าง Zeta Layer และ Diffuse Layer ซึ่งจะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคและแรงผลักรนี้สามารถวัดออกมาในรูปศักย์ไฟฟ้าได้

1.7.6 สารรวมตะกอน (Coagulant) คือ สารเคมีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน ได้แก่ สารส้ม (Alum) สารเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) Micronized Chitosan และโพลีเมอร์ หรือโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก

1.7.7 Jar Test คือ วิธีในการทดสอบการตกตะกอน ซึ่งมีขั้นตอน คือ การกวนเร็ว กวนช้า และการทิ้งให้ตกตะกอน โดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการทดสอบมาเติมสารเคมีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในปริมาณชนิดที่แตกต่างกันแล้วนำไปผ่านขั้นตอนการกวนเร็ว กวนช้า แล้วทิ้งให้ตกตะกอนตามระยะเวลาที่กำหนดและนำน้ำส่วนที่ใสออกมาตรวจสอบคุณภาพ

1.7.8 อัตราเร็วการตกตะกอน คือ ระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตะกอน

1.7.9 สารช่วยรวมตะกอน (Coagulant Aid) คือ สารเคมีที่เติมเพิ่มลงไปกับสารรวมตะกอนปฐมภูมิ (Primary Coagulant) เพื่อเพิ่มการจับตัวรวมตัวของตะกอนโดยจะทำหน้าที่ลดความเสถียรของอนุภาคและลดแรงผลักรที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาค เช่น Bentonite Clay, $NaCO_3$ และ ซิลิกาเจล เป็นต้น

1.7.10 กากตะกอน คือ กากตะกอนเปียกที่เกิดขึ้นภายหลังการรวมตะกอนที่เวลา 60 นาที

1.7.11 ตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ คือ ตัวอย่างน้ำเสียที่ทำการเก็บ ณ วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2549 บริเวณด้านหลังโรงอาหารและอาคารที่จอดรถ ภายในสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

1.7.12 ประสิทธิภาพการบำบัด คือ ความสามารถในการบำบัดความขุ่นของสารรวมตะกอน โดยประสิทธิภาพวัดในรูปของร้อยละในการบำบัดความขุ่นของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด อัตราเร็วในการตกตะกอนของกากตะกอน (Flocculant Settling) และปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เกิดขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเชิงทดลองเรื่อง การศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี ผู้วิจัยได้รวบรวมแนวคิดและหลักการรวมทั้งงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการทดลองหาปริมาณสารรวมตะกอนและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ได้แก่ ชนิดของสารรวมตะกอน ความเข้มข้นของสารรวมตะกอนและสภาวะความเป็นกรด - ด่าง โดยแบ่งออกเป็น

- 2.1 คุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสีย
- 2.2 หลักการบำบัดน้ำเสียทั่วไป
- 2.3 หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งรายละเอียดและเนื้อหาที่กล่าวถึงมีดังต่อไปนี้

2.1 คุณสมบัติและลักษณะของน้ำเสีย

2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย

ความหมายของน้ำเสียตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ระบุว่า "น้ำเสีย" หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น และนอกจากนั้นก็ยังมีผู้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้อีกคือ

น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูงจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปน้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ แก่ลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับ เช่น ทำให้เกิดการเน่าเหม็นหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น และสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ด่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอยและสิ่งที่ย่อยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก

สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่นและสารกัมมันตรังสี เป็นต้น (สุธา ขาวเขียว, 2545: 5 - 1)

กรมควบคุมมลพิษ (2548) ให้คำจำกัดความว่า "น้ำเสีย" หมายถึง น้ำที่ไม่ต้องการใช้แล้ว และระบายทิ้ง ซึ่งนำใช้แล้วจากชุมชนประกอบด้วยสิ่งเจือปนที่มาจากที่อยู่อาศัยหรือจากธุรกิจ โรงงานอุตสาหกรรมและสถานบริการต่างๆ รวมกับน้ำใต้ดิน น้ำผิวดินและน้ำฝน

โดยสรุปความหมายของน้ำเสียโดยทั่วไป หมายถึง น้ำที่ผ่านการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ แล้ว เช่น ชำระล้างสิ่งสกปรกใช้ในครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรมหรือการเกษตร โดยน้ำดังกล่าวมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก เช่น โลหะหนัก สารพิษหรือสารที่อาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ เป็นต้น

2.1.2 คุณลักษณะของน้ำเสีย

คุณลักษณะและสมบัติของน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้ 3 ด้าน คือ คุณสมบัติด้านกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางชีววิทยาโดยจะมีลักษณะหรือคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป วิสาขา ภูจินดา (2548: 30-35) ได้กล่าวไว้ดังนี้

2.1.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากการที่น้ำประกอบไปด้วยสารแขวนลอยขนาดเล็ก เช่น เศษดิน ฝุ่นละออง จุลินทรีย์ ซึ่งสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก (Colloids) มีขนาดระดับไมครอนจะกระเจิงและดูดกลืนแสง ซึ่งทำให้เรามองเห็นว่าน้ำขุ่น ความขุ่นสามารถวัดโดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานซิลิกา ความขุ่นของซิลิกา 1 mg/l เทียบเท่ากับความขุ่น 1 TU (Turbidity Unit) ความขุ่น 5 TU สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้

2) อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิสูงความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะต่ำและเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ขนาดเล็ก อุณหภูมิของน้ำทิ้งหรือน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส

3) สี, กลิ่น, รสชาติ

สี ในน้ำอาจเกิดจาก 2 แหล่ง คือ Suspended Color และ Dissolved Color สีจะขัดขวางการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีวิธีการวัดสีซึ่งเราสามารถวัดความเข้มข้นของสีโดยใช้ Spectrophotometric - Method

กลิ่น สามารถวัดได้โดยใช้ระบบทางเดินหายใจ การวัดกลิ่นเรียกว่า Threshold Odor Test ซึ่งทำได้โดยเจือจางน้ำที่มีกลิ่นด้วยน้ำบริสุทธิ์จนกระทั่งกลิ่นหมดไปจะแสดงผลเป็น The Minimum Detectable Threshold Odor Concentration (MDTOC) ซึ่งจะแสดงเป็นสัดส่วนของการเจือจางกลิ่นในน้ำเสียโดยมากกลิ่นเกิดจากก๊าซไข่เน่าหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น ฟินอลจากอุตสาหกรรม สารอินทรีย์สังเคราะห์

รสชาติ แบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ ขม เค็ม เปรี้ยว หวาน สามารถวัดได้

3 วิธี ได้แก่

วิธีที่หนึ่ง Flavor Threshold Test ใช้วิธีการเจือจางเหมือนการวัดกลิ่น

วิธีที่สอง Flavor Rating Assessment ใช้วิธีเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่ม

วิธีที่สาม Flavor Profile Analysis ใช้วิธีเทียบกับกลิ่นน้ำเสียโดยผู้เชี่ยวชาญ

4) ปริมาณของแข็ง (Solid Contents) เป็นการวัดปริมาณสารต่างๆ ทั้งหมดที่อยู่ในตัวอย่างน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ อาจจะละลายหรือไม่ละลายน้ำก็ได้

(1) TS (Total Solids) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารต่างๆ ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ โดยการระเหยน้ำออกที่อุณหภูมิประมาณ 105 °C

(2) TVS (Total Volatile Solids) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในตัวอย่างน้ำโดยนำกากที่ได้จากการหา TS ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C น้ำหนักกากแห้งที่ถูกเผาไหม้จะเป็นค่า TVS

(3) SS (Suspended Solids) เป็นการหาปริมาณสารต่างๆ ที่แขวนลอยในตัวอย่างน้ำโดยผ่านกระดาษกรองแล้วนำกระดาษกรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C น้ำหนักกระดาษกรองที่เผาบน้ำหนักกระดาษกรองก่อนใช้กรองจะเป็น SS

(4) TDS (Total Dissolved Solids) เป็นปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ อาจประกอบไปด้วยของแข็งที่สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 600 °C และของแข็งที่ไม่ระเหยที่อุณหภูมิ 600 °C

(5) DS (Dissolved Solids) เป็นปริมาณสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย คำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่า TS และ SS, $DS = TS - SS$

2.1.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

1) Dissolved Oxygen (DO) เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำหนดคุณภาพน้ำ ยิ่งมีออกซิเจนละลายในน้ำสูงเท่าใดน้ำยิ่งมีความสะอาดเท่านั้นซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ การตรวจค่า DO ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จะบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการบำบัด ค่า DO ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน จะบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการบำบัด ค่า DO ของระบบบำบัดน้ำเสียไม่ควรต่ำกว่า 1-2 mg/l น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติควรมีค่า DO สูงกว่า 4 mg/l ค่า DO ต่ำจะบ่งชี้ว่ามีปริมาณสารอินทรีย์สูงในแหล่งน้ำนั้น ค่าออกซิเจนละลายในน้ำสามารถวัดได้โดยวิธี Iodometric Method ซึ่งเป็น Filtration Method หรือ The Electrometric Method ซึ่งเป็น Membrane Method ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำสามารถวัดได้จาก

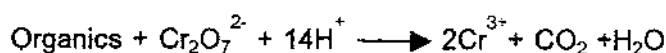
$$C_s = \frac{486}{(31.6 + T)}$$

โดย C_s = Solubility Oxygen in mg/l at One Atmosphere

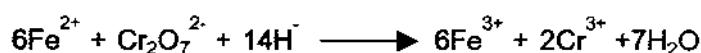
T = Temperature in $^{\circ}\text{C}$

C_s (The Saturation Concentration) at 20°C is about 9 mg/l

2) Chemical Oxygen Demand (COD) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย โดยใช้สาร $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (Potassium Dichromate) ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะเป็นกรดโดยใช้ H_2SO_4 เข้มข้นและทำการต้ม Reflux เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



ภายหลังการต้มแล้วและทำให้เย็นตัวลง ทำการวิเคราะห์ปริมาณ K ที่เหลืออยู่ โดยทำการไทเทรตกับ Ammonium Ferrous Sulphate โดยมี Ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ ดังปฏิกิริยา



3) Biochemical Oxygen Demand (BOD) เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการโดยจุลินทรีย์ เพื่อการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียจะใช้สารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่ทำกรวิเคราะห์เป็นอาหารในการดำรงชีวิตอยู่ สภาวะที่กำหนดในการวิเคราะห์มีดังนี้

- (1) อุณหภูมิคงที่ 20°C ตลอดช่วงการทดลอง
- (2) ระยะเวลาในการวิเคราะห์ (Incubation Time) 5 วัน
- (3) อยู่ในสภาพ Aerobic ตลอดช่วง 5 วัน (มีออกซิเจนละลาย)
- (4) อยู่ในสภาพมืด เพื่อป้องกันการสร้างออกซิเจนโดยสาหร่าย
- (5) มีอาหารเสริมต่างๆ อย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
- (6) แบคทีเรียที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีปริมาณมากพอและคุ้นเคย

กับสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้น

(7) ต้องไม่มีสารพิษเจือปนและค่า pH เป็นกลางและค่าต้องไม่เปลี่ยนแปลงตลอด 5 วัน ซึ่งกระทำได้โดยเติมสารเคมีที่เป็น Buffer

ในกรณีที่ไม่ต้องเติม Seed (ไม่เติมหัวเชื้อ)

$$\text{BOD (mg/l)} = \frac{(D_o - D_s) - (B_o - B_s)}{P}$$

D_0	=	ค่า DO ที่เริ่มต้น mg/l
D_5	=	ค่า DO ที่ 5 วัน mg/l
B_0	=	ค่า DO ที่เริ่มต้นของขวดที่ใช้ น้ำกลั่น mg/l
B_5	=	ค่า DO ที่ 5 วันของขวดที่ใช้ น้ำกลั่น mg/l
P	=	สัดส่วนตัวอย่างที่ใช้

ในการนี้ที่เติม Seed (เติมหัวเชื้อ)

$$\text{BOD (mg/l)} = \frac{(D_0 - D_5) - (B_0 - B_5)f}{P}$$

โดยค่า f = อัตราส่วนของ % Seed ในตัวอย่างน้ำเสียต่อ % Seed

ในขวด Blank

เครื่องมือวิเคราะห์ BOD คือ Monometric BOD Analyzer, Bio Sensor หรือ Microbe Electrode, Electrolysis

ตัวอย่างค่าการประมาณค่า BOD เช่น น้ำเสียอุตสาหกรรม 1 ลิตร ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ 1500 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น ค่า BOD = 1500 mg/l

4) Total Organic Carbon (TOC) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำ ประกอบด้วยสารอินทรีย์คาร์บอน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในน้ำ และอินทรีย์คาร์บอน

5) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นค่าแสดงความเข้มข้นของอนุภาค ไฮโดรเจนไอออนในน้ำ มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย ค่า pH มีความสำคัญมากต่อระบบบำบัดทางชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์ในระบบจะทำงานได้ดีในช่วง pH 6.8-8 เท่านั้น น้ำเสียจากชุมชนค่อนข้างเป็นกลาง น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่า pH หลากหลาย เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารมีค่า pH ประมาณ 7 ส่วนน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะและอิเล็กทรอนิกส์จะมีค่า pH เป็นกรด ซึ่งน้อยกว่า 7

6) ค่าความกระด้าง น้ำกระด้างมีส่วนประกอบของ Calcium Ion (Ca^{2+}) และ Magnesium Ion (Mg^{2+}) มักจะแสดงเป็น mg/l of CaCO_3 น้ำกระด้างจะวัดเป็นความสามารถในการตกตะกอนของสบู่ ถ้าน้ำกระด้างมากจะใช้สบู่ปริมาณมากในการเกิดฟอง

7) Nitrogen Content อาจพบในหลายรูปแบบ ได้แก่ สารไนโตรเจนอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียมักจะประกอบด้วย Complex Organic Molecule (Proteins) และแอมโมเนีย แบคทีเรียจะ Break Down สารเหล่านี้ได้เป็นไนไตรท์และไนเตรท ซึ่งเรียกว่าขบวนการ Nitrification

8) Phosphorus Content ปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตเป็น

อาหารเสริมเช่นเดียวกับสารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสจะเป็นอาหารเสริมในการเติบโตของสาหร่าย ถ้าสาหร่ายเติบโตอย่างรวดเร็วมากจะก่อให้เกิด Eutrophication ซึ่งทำให้น้ำเกิดการเน่าเสีย น้ำทิ้งชุมชนมีค่าฟอสฟอรัสประมาณ 2 -20 มิลลิกรัมต่อลิตร

9) Iron (Fe) Copper (Cu) Zinc (Zn) และ Magnesium (Mn) มักไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพแต่จะก่อให้เกิดรสขมเมื่อ Mn^{2+} สัมผัสกับอากาศจะรวมตัวเป็น Insoluble Mn^{3+} ส่วน Cu และ Zn ที่ความเข้มข้นต่ำมักไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพแต่ที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้รสชาติของน้ำดื่มเปลี่ยนไปโดยเฉพาะ Zn จะทำให้น้ำขุ่น

10) Fluorides ปริมาณ Fluoride 1 mg/l ในน้ำดื่มจะช่วยป้องกันฟันผุและทำให้สุขภาพฟันดีในเด็ก ถ้าในน้ำดื่มมีปริมาณ Fluoride สูงเกินไปจะก่อให้เกิด Dental Fluorosis ในประเทศเขตอบอุ่นค่า Maximum Allowable Level = 1.4 mg/l ส่วนในเมืองหนาวค่า Maximum Allowable Level = 2.4 mg/l

11) Chlorides พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ ดิน หินและชายฝั่ง ถ้าความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดรสเค็ม

12) Chlorine Residual คลอรีนมักจะใช้ในการ Disinfect เชื้อโรคในกระบวนการผลิตน้ำ ข้อดีคือ คลอรีนสามารถอยู่ในระบบการส่งน้ำได้นาน หาซื้อง่ายและราคาถูก ข้อเสีย คือ คลอรีนในน้ำจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และจะนำไปสู่สารพิษ เช่น Trihalomethanes

13) Sulfates ถ้าความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดรสชาติที่เปลี่ยนไป

14) Oil and Grease มีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียและต่อสัตว์ในแหล่งน้ำ เนื่องจาก ไขมันและน้ำมันจะแยกตัวลอยบนผิวน้ำจึงถูกย่อยสลายยากโดยจุลินทรีย์

15) Heavy Metals หรือ โลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb), สังกะสี (Cu), นิกเกิล (Ni), แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg) เป็นต้น ถ้ามีปริมาณสูงจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้โลหะหนักจะมีผลต่อสุขภาพ เช่น แคดเมียมสะสมที่ไตและตับ ปริมาณโลหะจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์และการเลือกระบบบำบัดที่มีความเหมาะสม

16) สารประกอบกำมะถัน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดจากน้ำเสียชุมชน สิ่งปฏิกูล น้ำเสียจากกระบวนการย่อยกระดาษ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและกัดกร่อนอุปกรณ์

17) Toxic Compounds สารพิษอื่นๆ เช่น PCB, DDT, Phenol, Chlorinated Hydrocarbons เป็นต้น

18) สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว น้ำแกง พืชผัก ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ส่วนสารอนินทรีย์ ได้แก่ กรด ด่าง เกลือชนิดต่างๆ โลหะและสารอื่นๆไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็นแต่ทำให้สภาพน้ำปนเปื้อนและอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต น้ำเสียที่มีสารอนินทรีย์มักถูกปล่อยมาจากเหมืองแร่ การผลิตสารเคมี การผลิตเยื่อกระดาษ การชุบโลหะ

2.1.2.3 คุณสมบัติทางชีววิทยา

- 1) Microorganisms จุลินทรีย์ในน้ำ ได้แก่ แบคทีเรีย, สัตว์เซลล์เดียว (Protozoa), รา (Fungi), ไวรัส (Virus) และสาหร่าย (Algae)
- 2) Coliform แบ่งออกเป็น Total Coliform เป็นค่าแสดงแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ ส่วน Fecal Coliform เป็นค่าแบคทีเรียที่มาจากอุจจาระ

2.2 หลักการบำบัดน้ำเสียทั่วไป

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ดังต่อไปนี้ 1) การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวดทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอนซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก 2) การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไปรวมทั้งมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี เช่น ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอนรวมทั้งถังกรองและถังฆ่าเชื้อโรค วิธีในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ยกตัวอย่าง เช่น Neutralization Coagulation Disinfection Chlorination 3) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี

(Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น 4) การบำบัดทางกายภาพและเคมี (Physicochemical Treatment) เป็นการใช้วิธีทางกายภาพและเคมีร่วมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีตามความต้องการในมาตรฐานสูง ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่าน การบำบัดโดยแลกเปลี่ยนประจุ รีเวอร์สออสโมซิส การแยกด้วยไฟฟ้า-เยื่อกรอง (Electrodialysis) การกรองละเอียด (Ultrafiltration) เป็นต้น

2.2.1 การเก็บน้ำตัวอย่าง

วิสาखा ภู่จินดา (2548: 35-36) กล่าวถึงการเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 การเก็บตัวอย่างแบบจ้วงหรือ Grab Sampling เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาหนึ่งเวลาใด ณ จุดเดียว ค่าที่ได้อาจจะมีความแปรผันมากซึ่งขึ้นกับช่วงเวลาทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียว่ามีปริมาณน้ำเสียมากเท่าใดหรือมีการปล่อยทิ้งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอะไร แต่วิธีการเก็บตัวอย่างแบบนี้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียได้ วิธีนี้เหมาะกับการเก็บน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาวิเคราะห์โดยเหมาะสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนที่เหลือ (Chlorine Residual), pH, Coliforms และ Dissolved Oxygen

2.2.1.2 การเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมหรือ Composite Sampling เป็นการเก็บน้ำเสียที่เวลาต่างๆ น เช่น ทุกๆ ชั่วโมงตลอดทั้งวันแล้วนำมาผสมเป็นตัวอย่างเดียวกัน การเก็บน้ำเสียแบบนี้ ปริมาณน้ำที่เก็บจะต้องแปรตามปริมาณของการไหลของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียไหลมากก็เก็บเป็นปริมาณมาก สามารถนำน้ำเสียที่เก็บได้มารวมกันก็สามารถใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียได้ น้ำเสียที่เก็บเป็นตัวอย่างแรกควรนำมาเข้าตู้เย็นหรือแช่แข็งเพื่อควบคุมไม่ให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนไป ถ้าเก็บเกิน 6 ชั่วโมงอาจจะต้องเติมสารเคมีข้อดีของวิธีนี้ คือ ทำให้ทราบว่ามีน้ำเสีย ณ จุดใดมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร ควรนำมารวมหรือแยกบำบัด ส่วนข้อเสีย คือ ทำให้เสียเวลาและจะต้องวิเคราะห์น้ำเสียหลายตัวอย่าง

2.2.1.3 การเก็บตัวอย่างจากบ่อรวมหรือ Sump Sampling เป็นการเก็บน้ำเสียจากบ่อที่เป็นที่รวมของน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ น้ำเสียจากบ่อรวมจัดได้ว่าเป็นตัวแทนของน้ำเสียได้ซึ่งมีข้อดี คือ เก็บง่าย ไม่ต้องเก็บหลายตัวอย่าง ส่วนข้อเสียคือ ไม่สามารถแยกน้ำเสียที่มีความเข้มข้นน้อยออกได้เพราะไม่ทราบว่าจะแยกออก ณ จุดใด ทำให้ต้องบำบัดน้ำเสียปริมาณมากและค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง

2.2.1.4 ภาชนะที่เก็บน้ำเสียหรือ Sample Bottle ควรใช้ขวดแก้วปากกว้างล้างให้สะอาดหรือขวดพลาสติกที่มีคุณภาพดี ไม่ควรเก็บน้ำเสียจนเต็มขวด ควรมีที่ว่างให้อากาศเหลืออยู่ในขวดเพื่อให้จุลินทรีย์ที่ปะปนกับน้ำเสียยังอยู่เป็นปกติ

2.2.2 ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์ (2545: 2 - 22) กล่าวถึงผลกระทบของมลพิษน้ำต่อสิ่งแวดล้อมไว้ โดยแบ่งออกเป็น ผลกระทบต่อสุขภาพและสังคม ผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดินและผลกระทบด้านอื่นๆ ดังนี้

2.2.2.1 ผลกระทบต่อสุขภาพและสังคม

1) รสและกลิ่นของน้ำเปลี่ยนไป ทำให้ผู้บริโภคได้รับความเดือดร้อน บางแห่งน้ำที่มีรสและกลิ่นเปลี่ยนไปยังอาจมีผลทำให้สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นมีรสและกลิ่นเปลี่ยนไปด้วย ทำให้ผู้บริโภคเกิดความรังเกียจ เช่น ปูม้าปูทะเลในบริเวณอำเภอศรีราชา มีกลิ่นเปลี่ยนไปเนื่องจากของเสียที่ทิ้งจากโรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

2) การปนเปื้อนของเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัวและไวรัส เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคอหิวาตกโรค ไข้รากสาด บิด ดับอักเสบ ไช้หลังอักเสบ เป็นต้น อันมีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำเสียจาก บ่อเกรอะ - บ่อซึม จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้การวิเคราะห์ค่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มเป็นตัวชี้วัดทางอ้อม

3) ผลกระทบของวัตถุมีพิษจากการผ่านห่วงโซ่อาหาร วัตถุมีพิษแม้จะได้รับในปริมาณ ที่น้อยมากก็อาจจะทำให้เกิดอาการที่เฉียบพลันหรืออาการเรื้อรังของร่างกาย นอกจากนี้จะมีการสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตหากได้รับติดต่อกันเป็นระยะเวลานานๆรวมทั้งร่างกายของคนที่อยู่ในตำแหน่ง ปลายสุดของห่วงโซ่อาหาร สำหรับผลกระทบของวัตถุมีพิษต่อสุขภาพของคน สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลกระทบของความเป็นพิษด้วยการดื่มน้ำที่มีมลพิษโดยตรง

(2) ผลกระทบสำหรับความเป็นพิษด้วยการบริโภคปลาหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำซึ่งมีวัตถุมีพิษสะสมอยู่

(3) ผลกระทบจากการบริโภคผลิตภัณฑ์จากการเกษตรซึ่งมีวัตถุมีพิษสะสมอยู่โดยทางน้ำที่ใช้รดหรือจากดินที่มีมลพิษ

2.2.2.2 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดิน

ผลกระทบของน้ำทิ้งต่อสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำผิวดินจะรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยสำคัญ ดังต่อไปนี้

1) ปริมาณและความถี่ของฝน ถ้ามีฝนตกชุกมากจะเกิดการเจือจางได้มากขึ้นและทำให้ผลกระทบน้อยลง

2) ปริมาณและลักษณะของน้ำผิวดิน ถ้ามีมากก็จะเกิดการเจือจางได้มากขึ้น

3) ปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำหรือแหล่งน้ำถ้ามากและเร็วก็จะทำให้เกิดการเจือจางได้ดีขึ้น

4) อุณหภูมิถ้าสูงขึ้นก็อาจทำให้สารพิษบางชนิดมีความเป็นพิษสูงขึ้น

แสงแดดถ้ามีความเข้มข้นสูงก็อาจก่อให้เกิดการแพร่พันธุ์ของพืชน้ำเล็กลงได้อย่างรวดเร็ว
ดังเช่น ในกระบวนการยูโทรฟิเคชัน

5) ทิศทางและกระแสลมในอ่าวใหญ่ๆ ทิศทางและกระแสลมจะมีอิทธิพล
มากต่อการไหลของกระแสน้ำในอ่าวและอัตราการไหลนี้จะมียุทธศาสตร์ที่สำคัญในการนำพาหรือ
เจือจางน้ำทิ้งของโรงงานผลที่เกิดขึ้นตามมาเมื่อน้ำผิวดินได้รับการปนเปื้อนคือ เกิดการทำลาย
สภาพของแหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงและเกิดการปนเปื้อนของตะกอนที่จมอยู่ใต้น้ำ

2.2.2.3 ผลกระทบอื่นๆ

1) การใช้น้ำ เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจะทำให้
เป็นปัญหาต่อการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค

2) ความสวยงามของแหล่งน้ำและการพักผ่อนหย่อนใจ หากมีสารมลพิษ
ลงไปสู่แหล่งน้ำมากเกินไปเกินกว่าความสามารถของแหล่งน้ำที่จะทำให้บริสุทธิ์ด้วยตัวเองได้ก็จะทำให้
สมบัติของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ในเรื่องของสี กลิ่นและความขุ่น เป็นต้น ซึ่งจะทำให้
แหล่งน้ำขาดความสวยงามตามธรรมชาติไป

3) การคมนาคม น้ำเสียหรือน้ำเน่าอาจจะมีผลกระทบโดยตรงต่อ
การคมนาคมมากน้อยแต่จะมีผลกระทบทางอ้อม กล่าวคือ อาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโต
ของพืชน้ำอย่างมากมาย เช่น ผักตบชวา จนอาจเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางน้ำได้

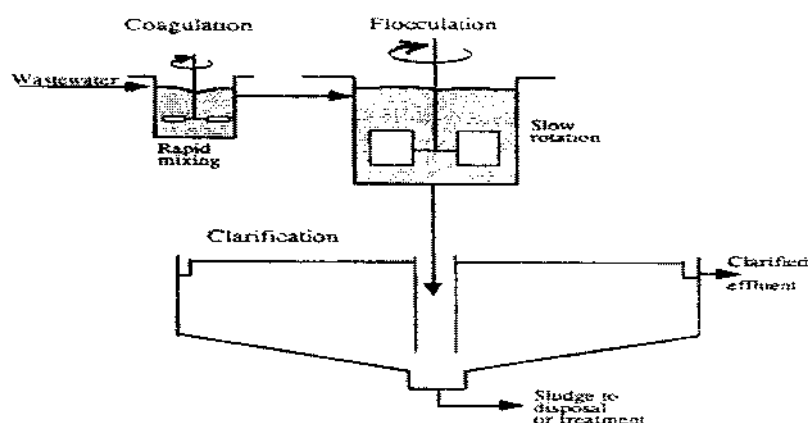
4) ด้านเศรษฐกิจ ของเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อ
เศรษฐกิจในด้านต่างๆ เช่น ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการออกแบบและบำรุงรักษาระบบบำบัด
น้ำเสีย ค่าใช้จ่ายในการป้องกัน ควบคุมและแก้ไขปัญหาพิษทางน้ำ ค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากการ
สูญเสียประโยชน์ของทรัพยากรและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ค่าความเสียหายด้านสุขภาพอนามัยซึ่ง
ประเมินเป็นตัวเงินได้ยาก

2.3 หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้
(สุธา ขาวเขียว, 2545: 5 - 15) 1) มีกรดหรือด่างสูงเกินไป pH ต่ำหรือสูงเกินไป 2) มีโลหะหนักที่
เป็นพิษ เช่น สังกะสี ดีบุก 3) มีสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก 4) มีสารประกอบอินทรีย์
ละลายน้ำที่เป็นพิษ เช่น ซัลไฟด์ 5) มีไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีหรือเรียกอีกอย่างว่าเป็น
กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เป็นกระบวนการประสานคอลลอยด์ โดยกระบวนการ
โคแอกกูเลชันซึ่งจะทำให้คอลลอยด์ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1 - 1 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถ
แยกตัวออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็ก

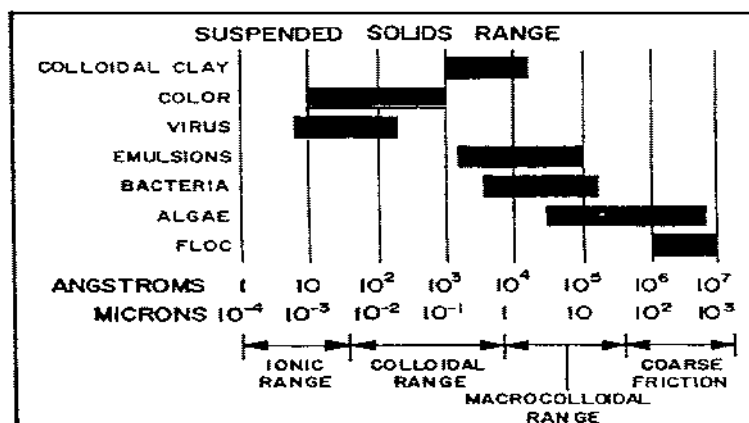
เกินไปรวมตัวและตกตะกอนโดยการเติมสารรวมตะกอน (Coagulant) เช่น สารส้ม ลงไปในน้ำเสียเพื่อทำให้คอลลอยด์หลายๆ อนุภาคจับตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมาก และสามารถตกตะกอนลงมาได้รวดเร็ว ดังนั้นสารรวมตะกอนจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมตัวกันเป็นฟล็อก (สุธา ขาวเขียว, 2545: 5 - 15) ซึ่งขบวนการโคแอกกูเลชันในระบบบำบัดน้ำเสียแสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการโคแอกกูเลชันในระบบบำบัดน้ำเสีย
แหล่งที่มา: Fisheries Department (FAO Corporate), 2549.

2.3.1 หลักการรวมกลุ่มตะกอน

การให้น้ำใส คือ กระบวนการที่พวกสารแขวนลอยต่างๆ เกิดการจับตัว (Coagulation) การรวมตัว (Flocculation) และการตกตะกอน (Sedimentation) มลสารที่ก่อให้เกิดความขุ่นในน้ำจะมีตั้งแต่กรวด ทราย โคลน เลน เศษดิน แบคทีเรียและอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ พวกกรวดหรือทรายซึ่งมีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับมลสารที่ทำให้เกิดความขุ่นอื่นๆ จะจมตัวตกตะกอนได้เองในเวลาไม่นานนัก ภาพที่ 2.2 แสดงขนาดอนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ นอกจากนั้นต้องใส่สารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2543: 71)

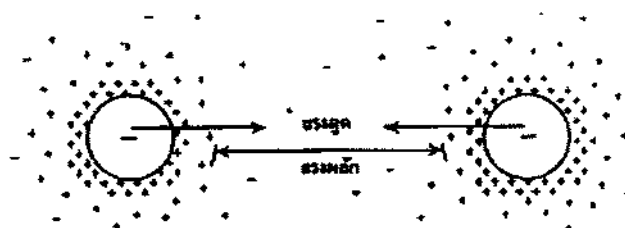


ภาพที่ 2.2 ขนาดอนุภาคต่างๆที่เป็นสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ
แหล่งที่มา: ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2543: 7.

ณรงค์ วุฑฒเสถียร (2543: 7) ได้กล่าวถึงการทำให้น้ำใสด้วยกระบวนการรวมกลุ่มตะกอนไว้ดังนี้ คือ

2.3.1.1 การจับตัว (Coagulation)

อนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาด 1 - 500 มิลลิไมครอนทั้งหลายเป็นส่วนหนึ่งของความขุ่นที่ปรากฏอยู่ในน้ำ คอลลอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ จำพวกหนายน้ำ (Hydrophobic) เช่น เศษดินโคลนในน้ำและจำพวกชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี แรงที่กระทำบนอนุภาคคอลลอยด์จะมีทั้งแรงดึงดูดและแรงผลัก ดังภาพที่ 2.3



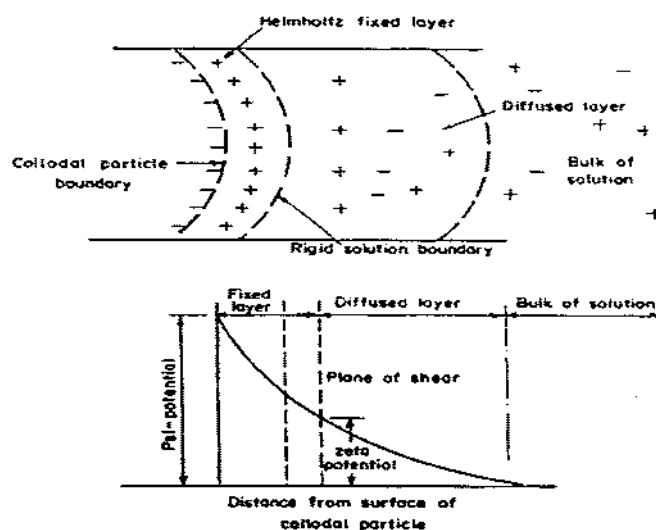
ภาพที่ 2.3 แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์
แหล่งที่มา: ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2543: 73.

แรงดึงดูดเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งจะดูดให้อนุภาคที่อยู่ใกล้กันให้เข้าใกล้ชิดกันยิ่งขึ้น แรงผลักระหว่างประจุบวกที่ปรากฏอยู่บนผิวรอบนอกของอนุภาคจะมีชั้นของประจุบวกล้อมรอบอยู่จึงพยายามที่จะผลักตัวแยกออกจากกันโดยในสภาพปกติแรงผลักระหว่างอนุภาคจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดมาก จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์กระจายตัวอยู่ในน้ำได้ตลอดเวลา

การวัดศักย์ซีตา (Zeta Potential) เป็นการวัดแรงที่อนุภาคกระทำต่อกัน ถ้าสามารถกระทำ การลดศักย์ซีตาในระบบของเหลวให้ลดลงเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์จะทำให้อนุภาคต่างๆ จับตัว กันได้ดี น้ำที่มีค่าความเป็น กรด - ด่าง 5-8 จะมีศักย์ซีตา -14 ถึง - 30 มิลลิโวลต์ ถ้าค่านี้เป็นลบมากเท่าใดก็แสดงว่าอนุภาคมีประจุไฟฟ้าแรงซึ่ง เมื่อศักย์ซีตาจับตัวกันได้ก็ย่อมจะมีมากขึ้น วิธีการทำลายแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หรือลดศักย์ซีตา ทำได้โดยการเติมสารเคมีบาง ชนิด เช่น สารส้ม เหล็กซัลเฟต สารเหล่านี้จะแตกตัวในน้ำเป็นไอออนของโลหะที่มีประจุไฟฟ้าบวกซึ่งจะ ไปลดแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ โดยการลดชั้นประจุไฟฟ้า (Diffused-Double Layer) ที่ ห่อหุ้มอนุภาคไว้ เมื่อลดแรงผลักระหว่างอนุภาค ถ้ามีการกวนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ อนุภาคแตะกัน ซึ่งแรงดูดจะดูดอนุภาคให้ติดกันทำให้เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟล็อก (Floc) โดย

Ma และ Pierre (1999: 6) ได้ทำการศึกษากการวัดศักย์ซีตาของ Montmorillonite ใน ตัวอย่างน้ำที่ผสมกับ β -FeOOH หรือไฮดรอกซีเฟอร์ริก (Hydroxoferric) ที่ความเข้มข้นและ pH แตกต่างกัน พบว่าศักย์ซีตาเป็นลบในช่วง pH จาก 2 - 12 และศักย์ซีตาลดลงเมื่อ pH ลดลงและเมื่อความเข้มข้นของ β -FeOOH เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มว่าศักย์ซีตาเป็นบวกเล็กน้อยเมื่อ ความเข้มข้นของ β -FeOOH เท่ากับ 14 mM ที่ pH เท่ากับ 2 จากผลการทดลองดังกล่าวบ่งบอก ได้ว่า พฤติกรรม Electrokinetic ของ Montmorillonite จะถูกควบคุมโดยอนุภาคของ Hydroxoferric ที่ดูดติดบนผิวของอนุภาค Montmorillonite

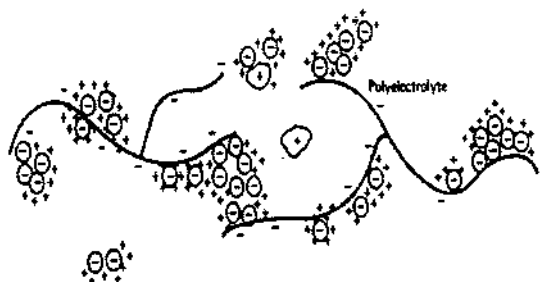
ในทางปฏิบัติการกวนอย่างแรงและเร็วจะช่วยให้สารเคมีกระจายอย่างทั่วถึงในน้ำและ ทำให้อนุภาคมีโอกาสนชนกันมากยิ่งขึ้น ฉะนั้นในน้ำที่มีความขุ่นต่ำจึงต้องมีการเติมเศษดินหรือน้ำเอาตะกอนกลับเข้ามาใส่น้ำอีกเพื่อเพิ่มโอกาสที่อนุภาคจะชนกันให้มากขึ้น ในการเติมสารช่วย ตกตะกอน (Coagulants) จะให้ไอออนประจุบวกเพื่อไปลดศักย์ซีตาที่เป็นลบ การจับตัวระหว่าง อนุภาคจะเกิดได้ดีเมื่อศักย์ซีตามีค่าเป็นลบบ้างเล็กน้อย ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการสะเทินประจุ ให้เป็นกลางจนหมดสิ้น ถ้าใส่สารเคมีมากเกินไปไอออนประจุบวกของสารเคมีที่แตกตัวจะไปเกาะ อยู่ผิวของอนุภาคจนทำให้อนุภาคมีศักย์ซีตาเป็นบวก จะทำให้อนุภาคเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค แยกออกจากกัน แทนที่จะจับตัวกันตกเป็นตะกอน ฉะนั้นในการใช้สารเคมี เช่น สารส้ม ถ้าใส่มากเกินไปแทนที่ น้ำจะใสก็จะขุ่นมากขึ้น ภาพที่ 2.4 แสดงสภาพประจุไฟฟ้าที่ผิวคอลลอยด์และศักย์ซีตา



ภาพที่ 2.4 สภาพประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์และศักย์ซีตา
แหล่งที่มา: ณรงค์ วุฒเสถียร, 2543: 73.

2.3.1.2 การรวมตัว (Flocculation)

ฟล็อกที่เกิดจากการจับตัวของอนุภาคคอลลอยด์นั้น ในบางครั้งจะมีขนาดไม่ใหญ่พอที่จะตกตะกอนได้ในเวลาอันรวดเร็วจึงต้องมีการกวนช้า (Slow Mixing) เพื่อให้ฟล็อกขนาดเล็กๆ มีโอกาสจับตัวรวมกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นไปอีก ถ้าหากกวนเร็วหรือแรงเกินไปจะเกิดแรงเฉือนทำให้ฟล็อกแตกออกได้ การใส่สารเคมีจำพวก Polymer หรือ Polyelectrolytes ซึ่งจัดเป็นพวก Flocculants จะช่วยเพิ่มอัตราการรวมตัวเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้โดยง่าย ดูภาพที่ 2.5

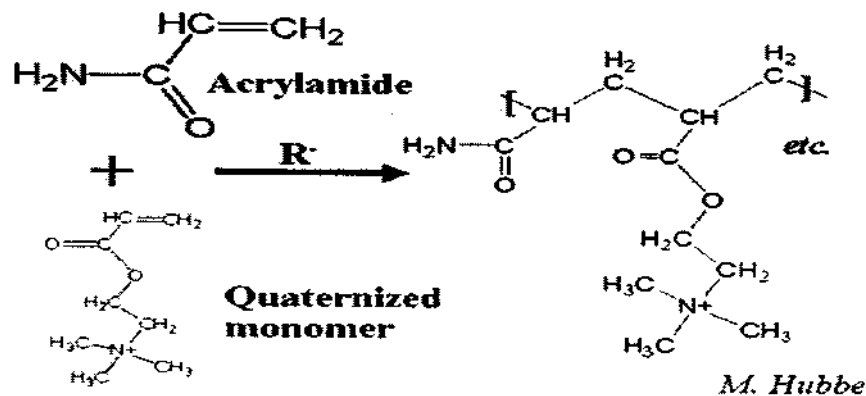


ภาพที่ 2.5 ลักษณะที่โพลีอิเล็กโทรไลต์ช่วยจับอนุภาค
แหล่งที่มา: ณรงค์ วุฒเสถียร, 2543: 75.

2.3.2 สารเคมีเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน

ณรงค์ วุฒเสถียร (2543: 89) กล่าวไว้ว่า ในการตกตะกอนด้วยสารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนนั้นในบางครั้งจะพบปัญหาในเรื่องตะกอนตกช้า ฟล็อกจึงมีลักษณะเปื่อยยุ่ยแตกง่ายเมื่อน้ำพัดพาในถังตกตะกอนหรือบางครั้งถ้าน้ำมีความขุ่นมากกว่าปกติเกินกำลังของอุปกรณ์ที่จะรับความขุ่นได้ จึงจำเป็นต้องใส่สารเคมีที่เป็นพวก Polymers เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนเพราะมีลักษณะเป็นเส้นยาว (Long Chain) และมีประจุไฟฟ้าด้วยซึ่งจะช่วยให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวรวมตัวกันเป็น ฟล็อกเร็วขึ้นและยังช่วยให้ฟล็อกเล็กๆ จับตัวเป็นตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้น ดังภาพที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ Polyelectrolyte ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 10,000 – 1,000,000 หรือมากกว่าสารเหล่านี้ได้แก่พวก Polyacrylamides, Polyamines, Polyacrylates, Polyethyleneimine สารเหล่านี้มีโครงสร้างเป็นร่างแหและโมเลกุลมีขนาดใหญ่สามารถแตกตัวในน้ำแสดงประจุไฟฟ้าได้ โดยจะมี Ionic Strength และ Absorption Activity ลักษณะโครงสร้างของ Cationic Acrylamide Copolymer แสดงได้ดังภาพที่ 2.6

Cationic Acrylamide Copolymers



ภาพที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของ Cationic Acrylamide Copolymers

สำหรับ Polyelectrolytes มี 4 ชนิด คือ

Anionic มีประจุลบ

Cationic มีประจุบวก

Ampholytic มีทั้งประจุบวกและลบ

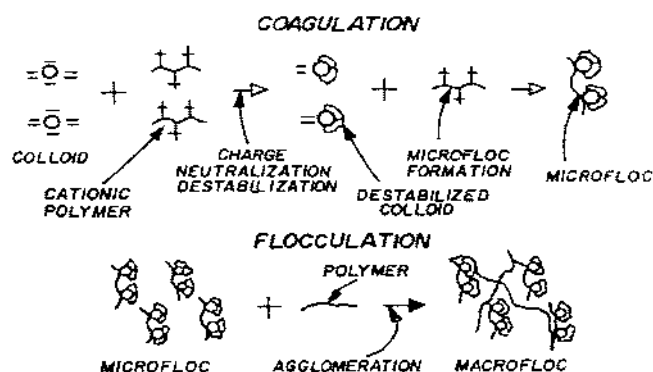
Non-ionic ไม่แสดงประจุไฟฟ้า

โดยพวก Anionic และ Non-ionic Polyelectrolytes นิยมใช้ร่วมกับสารส้ม เพื่อช่วยให้

ฟลอคจับตัวได้รวดเร็วและมีขนาดใหญ่ยิ่งขึ้นนอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณสารส้มที่ใช้ลงได้อีกด้วย ลักษณะการรวมตัวและการจับตัวเมื่อใส่โพลีเมอร์แสดงได้ดังภาพที่ 2.7 นอกจากนั้นถ้าคิดค่าใช้จ่ายรวมแล้วจะเป็นการประหยัดกว่าใช้สารส้มแต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นการใช้สาร Polyelectrolytes จะช่วยแก้ปัญหาในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นมากกว่าปกติหรืออัตราการไหลของน้ำมากกว่าปกติ ดังเช่นงานวิจัยของ

Boito และคณะ (2005, บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อประเมินประสิทธิภาพของ Cationic Polyelectrolyte เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ พบว่า ประสิทธิภาพในกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ ขึ้นกับหลายปัจจัย กล่าวคือ ลักษณะทางธรรมชาติของสารอินทรีย์ ได้แก่ ขนาดโมเลกุล สภาพขั้วของสารอินทรีย์และความหนาแน่นประจุ รวมทั้งลักษณะเฉพาะของน้ำเสีย เช่น ความขุ่นของน้ำและความกระด้าง ซึ่งในบางกรณีการใช้สารส้มบำบัดไม่พอเพียง จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ โดยการเติม Cationic Polyelectrolyte พบว่า สารอินทรีย์จำพวกหน่วงน้ำสามารถกำจัดได้ง่ายโดยใช้ Cationic Polyelectrolyte และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อความหนาแน่นประจุของโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นและน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นและการทดลองโดยใช้ สารส้มร่วมกับ Cationic Polyelectrolyte ให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากในการทดลองครั้งนี้ นอกจากนั้น

Kawamura (1991 อ้างถึงใน พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 14 - 15) รายงานว่า การที่นำโพลีอิเล็กโตรไลต์หรือโพลีเมอร์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนหรือสารช่วยเร่งให้ตกตะกอนกันอย่างมาก เนื่องจาก การใช้โพลีเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดได้ ซึ่งจะทำให้ได้กลุ่มตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น เพราะตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือเฟอร์ริก นอกจากนี้ยังทำให้เกิดกลุ่มตะกอนรวดเร็วกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน ไม่เป็นพิษต่อผู้ใช้ สะดวกในการใช้ และ โพลีอิเล็กโตรไลต์จะทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กในการสร้างตะกอน รวมถึงลดการตกค้างของซัลเฟตในน้ำลงด้วย



ภาพที่ 2.7 ลักษณะการจับตัวและรวมตัวเมื่อใส่โพลีเมอร์

แหล่งที่มา: ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2543: 75.

และสารเคมีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนอื่นๆ ได้แก่ สารส้ม เพอร์ริคคลอไรด์ ปูนขาว และ Chitosan มีรายละเอียดมีดังนี้

2.3.2.1 สารส้มหรืออะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) โดยให้น้ำหนักประมาณ 600 g/mol ก็เพียงพอในการใช้งาน เนื่องจากน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีสาร Calcium Bicarbonate ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) และสาร Magnesium-Bicarbonate ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิด Alkalinity เมื่อเติมสารส้มจะเกิดปฏิกิริยากับต่างที่อยู่ในน้ำดังสมการ

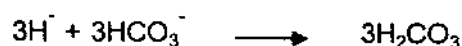


ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาจะได้สารประกอบเชิงซ้อนของ Aluminium Hydroxo หรือ ฟลอคขนาดเล็กเป็นคอลลอยด์ที่หนาแน่นฟลอคขนาดเล็กเหล่านี้มีประจุบวกจึงสามารถจับกับคอลลอยด์ที่มีประจุลบแล้วตกตะกอนพาของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียตกตะกอนลงด้วยช่วง pH ที่เหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชันของสารส้มอยู่ในช่วง 5 – 7

2.3.2.2 เพอร์ริคคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เมื่อเติมเพอร์ริคคลอไรด์ลงในน้ำเสียจะได้ตะกอนของเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) และกรดคาร์บอนิกทำให้น้ำมี pH ลดลงดังสมการ

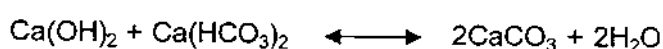


ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับ Bicarbonate ในน้ำคือ



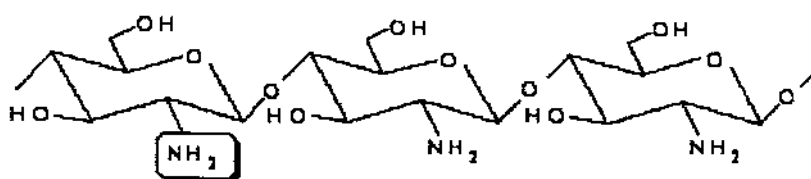
น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยเพอร์ริคโลไรด์มีสภาพเป็นกรดจึงต้องมีการปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนปล่อยออกจากระบบ

2.3.2.3 ปูนขาว (Lime – Ca(OH)_2) ในการใช้ปูนขาวเป็นสารทำให้ตกตะกอนผลึกเพื่อให้เกิดสาร Calcium Carbonate (CaCO_3) ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวและสามารถตกตะกอนได้ทันทีโดยปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอนิกและพวกไบคาร์บอเนต ดังสมการ



ถ้าใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวต้องใช้ในปริมาณมากแต่ถ้านำเหล็กซัลเฟตมาช่วยเติมกับปูนขาวจะสามารถลดปริมาณการใช้ปูนขาวลงได้

2.3.2.4 ไคตินและ Micronized Chitosan เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ ไคตินและ Micronized Chitosan เป็นสารองค์ประกอบของเซลล์ในลักษณะเส้นใย นอกจากนั้นยังพบว่าไคตินเป็นสารโคโพลิเมอร์ธรรมชาติพบมากเป็นอันดับสองของโลก รองจากเซลลูโลส ส่วน Micronized Chitosan มีคุณสมบัติเป็นโพลิเมอร์ประจุบวกและมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซับทั้งไอออนบวกและไอออนลบได้จึงถูกนำมาใช้ในการดูดซับไอออนต่างๆ ในสารละลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน Micronized Chitosan เป็นสารโพลิเมอร์ที่สกัดจากไคตินซึ่งเป็นโครงสร้างของเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึกและผนังเซลล์ของเห็ด รา บางชนิด โดย Micronized Chitosan มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2.8



โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของ Micronized Chitosan

แหล่งที่มา: ประภัสสร สุรพัฒน์วารณ, 2549: 1.

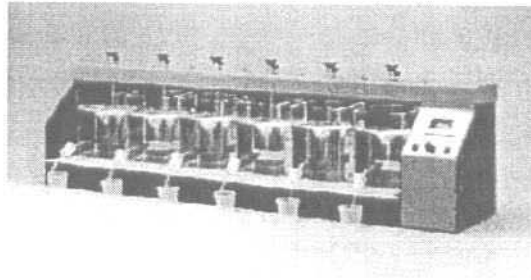
เนื่องจาก Micronized Chitosan เป็นไบโอโพลีเมอร์ที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายคนพยายามที่จะศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำโดยใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนดังเช่น

Roussy และคณะ (2005: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเพื่อใช้สารไบโอโพลีเมอร์หรือ Micronized Chitosan ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนหมักพิมพ์โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดเกิดได้ดีที่สภาวะ pH ต่ำหรือเป็นกรด โดยที่ pH เท่ากับ 5 ใช้ความเข้มข้นของ Micronized Chitosan น้อยแต่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดี และสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคือที่ pH 5 โดยใช้ Micronized Chitosan ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่ความเข้มข้นใกล้เคียงกับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

JiangMing และคณะ (2005: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของ Micronized Chitosan และผลกระทบจากการใช้ Micronized Chitosan ร่วมกับสารรวมตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ในขบวนการฟล็อกกูเลชัน กล่าวไว้ว่า Micronized Chitosan มีศักยภาพในการบำบัดและสามารถนำมาใช้เป็นสารรวมตะกอนทดแทนสารส้มและโพลีอิเล็กโตรไลต์ ได้ทั้งนี้มีข้อดีหลายประการคือ 1) เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพจากการตกค้างของ Aluminium (III) และโพลีเมอร์สังเคราะห์ 2) ให้กากตะกอนที่เป็นตะกอนชีวภาพ 3) เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีคุณภาพจากการสกัด Micronized Chitosan จากเปลือกหอยเหลือทิ้งให้มีประโยชน์ จากการทดลองพบว่ากากตะกอนที่เกิดจากการใช้ Micronized Chitosan นั้นรวมตัวกันแน่นและอัตราการตกตะกอนค่อนข้างเร็วแต่สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์แตกต่างกัน กล่าวคือใช้ Micronized Chitosan เพียงลำพังไม่สามารถที่จะบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์ได้พร้อมกันซึ่งเป็นข้อจำกัดของ Micronized Chitosan และเมื่อใช้ Micronized Chitosan ร่วมกับ Polymeric Aluminium Ferric ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 97

2.3.3 การทดสอบการตกตะกอน

เนื่องจากคุณภาพน้ำแต่ละแห่งหรือแห่งเดียวกันในฤดูกาลที่ต่างกันคุณสมบัติก็แตกต่างกันได้ การใช้สารเคมีจำพวกสารส้มหรือ Polyelectrolytes จึงต้องหาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมที่จะทำให้มีการตกตะกอนเกิดขึ้นได้ดีที่สุดโดยทำให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเพราะการใช้สารเคมีเหล่านี้มากเกินไป นอกจากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้วยังได้น้ำที่ไม่ใสเพียงพอ ฉะนั้นจึงควรมีการทดสอบการตกตะกอนในอุปกรณ์ที่เรียกว่า Jar Test ดังภาพที่ 2.9 โดยใช้สารเคมีในอัตราต่างๆ กัน เพื่อหาปริมาณการใช้ที่ดีที่สุดที่ช่วง pH หนึ่งๆ ในบางกรณี ถ้าหากไม่มีเครื่อง Jar Test ก็สามารถดัดแปลงโดยใช้กระบอกตวงแบบมีจุดปิดเป็นอุปกรณ์ทดลองหรือประยุกต์ใช้ Magnetic Stirrer เพื่อทำให้เกิดการสัมผัสได้ผลเช่นกันดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 เครื่องทดสอบจาร์เทส (Jar Tester)

แหล่งที่มา: Lafleur, 2548: 1.



ภาพที่ 2.10 เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer)

2.3.3.1 การกวนเร็ว (Rapid Mix)

การกวนอย่างรวดเร็วในขณะที่เติมสารเคมี เช่น สารส้ม ก็เพื่อทำให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำเพื่อให้เกิดกระแสเอ็ดดี้ (Eddy Current) ขนาดเล็ก ซึ่งจะสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สารเคมีที่ใส่ลงไปสามารถกระจายตัวในน้ำได้อย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง เพราะฟล็อกจะเกิดขึ้นทันทีที่สารเคมีสัมผัสกับน้ำในการผสมเร็วขึ้นกับค่า Velocity Gradients เป็นอย่างมาก ค่านี้มีความหมายถึงความเร็วสัมพัทธ์ของอนุภาค 2 อนุภาคหารด้วยระยะห่างระหว่างอนุภาค เช่น อนุภาคสองอนุภาคในน้ำอยู่ห่างกัน 0.1 ฟุตและต่างก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วอันหนึ่ง แต่เมื่อวัดความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคทั้งสองได้ความเร็ว 1 ฟุตต่อวินาที เพราะฉะนั้น Velocity Gradient คือ 10 พลังงานที่ใช้กวนน้ำจะอยู่ประมาณ 1-2 แรงม้า อัตราไหลของน้ำ 1 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที (375 gpm) การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการกวนเป็นไปตามสูตร

$$G = \sqrt{550PV/\mu}$$

G = Velocity Gradient, หน่วย 1 วินาที

μ = ความหนืดของน้ำ, ปอนด์ – วินาทีต่อตารางฟุต
(แปลงเป็น Centipoise โดยคูณกับ 2.088×10^{-5})

V = ปริมาตรของถังผสมเร็ว, ลูกบาศก์ฟุต

P = พลังงานที่ใช้กวนน้ำ, แรงม้า

ถ้ามีการผสมเร็วเกิดขึ้นมากเกินไป น้ำบางส่วนจะสัมผัสกับสารเคมีมากเกินไปและบางส่วนจะไม่สัมผัสกับสารเคมีเลย ถ้ากวนแรงมากเกินไป ฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วจะแตกออกเป็นอนุภาคคอลลอยด์อีก

เวลาการผสมเร็ว	ค่า G
20 วินาที	1000
30 วินาที	900
40 วินาที	790
มากกว่า 40 วินาที	700

2.3.3.2 การกวนช้า (Flocculation)

ในการกวนช้า อัตราการเกิดการรวมตัวของฟล็อกเล็กๆ ให้เป็นฟล็อกหรือตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ กันดังนี้คือ

- 1) จำนวนฟล็อกหรือความเข้มข้นของฟล็อกในน้ำ
- 2) ปริมาตรของฟล็อกในน้ำ
- 3) ความแรงของการกวนช้า ซึ่งก็คือ ค่า G

ในถังกวนช้าจะมีการกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันถ้ากวนแรงเกินไปตะกอนจะแตกเนื่องไขในการออกแบบถังกวนช้าขึ้นกับค่า GCt (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2543: 94) โดย

G = Velocity Gradient, 1/วินาที

C = ปริมาตรตะกอน/ปริมาตรน้ำ

t = เวลาในการกวนช้า/วินาที

การกวนช้าที่ดีจะต้องมีค่า GCt อยู่ระหว่าง 50 -200 ซึ่งค่านี้ใช้ได้กับถังกวนช้าแบบปกติและแบบนำตะกอนหมุนเวียนกลับมาใช้ ถังกวนช้ามีทั้งแบบใช้ใบพัดกวนและแบบกั้นเป็นช่อง (Baffle) ให้น้ำไหลวกไปวนมา แต่แบบนี้ไม่เป็นที่นิยมกันเพราะขนาดถังต้องมีขนาดใหญ่ แบบที่ใช้ใบพัดมีทั้งแบบที่มีใบพัดอยู่ในแนวตั้งและแนวนอนและถ้าใช้ถังกวนช้ามาต่ออนุกรมกันเข้าหลายๆถังเพื่อจะได้กวนโดยมีค่า Velocity Gradient ต่ำ จะทำให้ได้ฟล็อกหรือตะกอนที่มีเนื้อแน่นและหนัก ตะกอนจะได้ตกอย่างรวดเร็ว

2.3.4 การตกตะกอน (Sedimentation)

จุดประสงค์ในการตกตะกอนก็เพื่อจะลดปริมาณความขุ่นในน้ำก่อนจะเข้าเครื่องกรองน้ำ เป็นการลดภาระ (Load) ของเครื่องกรองน้ำที่ไม่ให้มีมากเกินไป ถ้าหากน้ำมีความขุ่นมากกว่า 50 พีพีเอ็ม ก็ควรจะมีการตกตะกอนก่อนเข้ากรอง

การตกตะกอนเกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่ออนุภาคความขุ่น ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า 1.0 อนุภาคจะตกจนกระทั่งแรงต้านทานของน้ำเท่ากับน้ำหนักอนุภาค เพราะฉะนั้นความเร็วในการจมตัว (Flocculant Settling) จะคงที่และขึ้นกับขนาด รูปร่าง ความหนาแน่นของอนุภาคและความหนืดของน้ำ

การตกตะกอนจำแนกได้ 4 ประเภทตามระดับความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของของแข็งที่อยู่ในน้ำ (มันสัน ดันทุลเวสม์, 2537: 213) ดังนี้ 1) การตกตะกอนแบบโดด (Discrete Settling) น้ำที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยต่ำอาจตกตะกอนเป็นแบบโดดหรือรวมกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตะกอนหรืออนุภาค ถ้าตะกอนแขวนลอยไม่สามารถจับตัวเป็นกลุ่ม การตกตะกอนจะเป็นแบบโดด ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบนี้ได้แก่ การตกตะกอนของเม็ดกรวดหรือทรายขนาดต่าง ๆ 2) การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) น้ำที่มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับปานกลางหรือสูง (เช่น มีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000 – 2,000 มก/ล) มักมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคแต่ละเม็ดอยู่ติดกันและเคลื่อนที่ลงด้วยอัตราเร็วเดียวกันทำให้เห็นเป็นชั้นแยกกันระหว่างน้ำใสและอนุภาค เช่น การตกตะกอนของ Activated Sludge 3) การตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression Settling) มักเกิดขึ้นเมื่อน้ำมีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับสูงมากและมักเกิดขึ้นที่ก้นถังตกตะกอน การตกตะกอนแบบอัดตัวอาจถือได้ว่าเป็นขั้นหลังจากที่การตกตะกอนแบบอื่น ๆ ได้เกิดขึ้นแล้ว การอัดตัว (Compression) เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคต่าง ๆ วางซ้อนกันในขณะที่มีการถ่ายเทน้ำหนักให้กับอนุภาคที่อยู่ข้างล่าง 4) การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (Flocculant Settling) ในกรณีที่มีการตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ มีโอกาสสามารถรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น ความเร็วในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นทำให้ วิธีการตกตะกอนเป็นเส้นโค้งการตกตะกอนของสารส้มหรือตะกอนที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชันจัดว่าเป็นการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (Flocculant Settling)

2.3.5 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการจับและรวมตัวเป็นฟล็อก

2.3.5.1 ความเป็นกรด – ด่าง การใช้สารส้มจะได้ผลดีเมื่อ pH อยู่ในช่วง 6.0 – 7.8 และที่ pH เท่าใดจึงจะให้ผลสูงที่สุดนั้น ขึ้นกับสภาพน้ำแต่ละชนิดซึ่งต้องทดสอบจึงจะทราบแน่ชัด เช่น หากมีการใส่สารส้มลงไปให้มากเพื่อพยายามเร่งให้น้ำตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้นก็จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น จึงไม่อยู่ในช่วง pH ที่ดีที่สุดสำหรับการตกตะกอน เป็นต้น

2.3.5.2 เกลือแร่ต่างๆ การมีอนุมูลซัลเฟตหรือฟอสเฟตจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการจับตัวกันเป็นฟล็อกเปลี่ยนแปลงไป ผลของไอออนชนิดต่างๆ ต่อการจับตัวเป็นฟล็อกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- 1) เปลี่ยนแปลงช่วง pH ที่ดีที่สุดในการเกิดฟล็อก
- 2) เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดฟล็อก
- 3) ปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีช่วยตกตะกอนสำหรับการเกิดฟล็อก

จะเปลี่ยนแปลงไป

4) ปริมาณสารเคมีช่วยตกตะกอนที่เหลือในน้ำเปลี่ยนแปลงไปพวกอนุมูลประจุลบ เช่น ซัลเฟตและฟอสเฟต สามารถเปลี่ยนแปลงช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนให้กว้างขึ้นได้ เช่น ถ้าใช้สารส้มและมีอนุมูลซัลเฟตอยู่ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงที่จับตัวการตกตะกอนจะเป็น pH 5.0 – 7.8 แทน เพราะพวกอนุภาคเหล่านี้จะไปทำหน้าที่แทนอนุมูล ไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากสารส้ม (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543: 92)

2.3.5.3 คุณสมบัติของความขุ่น ความขุ่นในน้ำเกิดจากเศษดินและแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 0.002 – 0.005 มิลลิเมตร อนุภาคเหล่านี้จะตกตะกอนนอนกันได้อเองถ้ามีเวลามากพอ การใส่สารเคมีช่วยตกตะกอนจะทำให้เกิดฟล็อกได้ง่ายและรวดเร็วเพียงแต่ปรับค่า pH ให้เหมาะสมและปฏิบัติดังนี้

1) ควรใส่สารช่วยตกตะกอนเพิ่มขึ้นตามความขุ่นที่เพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มของสารเคมีไม่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความขุ่นที่เพิ่มขึ้น

2) ถ้าน้ำมีความขุ่นมากควรใส่สารช่วยตกตะกอนเพียงเล็กน้อย เพราะโอกาสที่อนุภาคต่างๆ จะมาชนกันและจับตัวกันมีมาก ในทำนองเดียวกันถ้าน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะจับตัวตกตะกอนได้ยากกว่า

2.3.5.4 ชนิดของสารเคมีช่วยตกตะกอน โดยปกติมักนิยมใช้สารส้มเพราะมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายแต่ก็มีข้อจำกัดอยู่บางประการ เช่น ถ้าน้ำมีสภาพค่อนข้างเป็นด่าง สารส้มจะแตกตัวเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายน้ำได้ จึงไม่มีผลช่วยในการจับตัวเป็นฟล็อกสำหรับเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ใช้งานได้ในช่วง pH 5.5 - 8.8 จึงนิยมในการขจัดสีในน้ำเพราะตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดสี จะเกิดได้ดีที่ pH 5.6 ถ้าน้ำมีสภาพเป็นด่าง เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวก็ไม่ละลายในน้ำ จึงสามารถใช้งานได้ดีในช่วงที่เป็นด่าง

2.3.5.5 อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิลดลง ความหนืด (Viscosity) ของน้ำจะเพิ่มขึ้น อัตราการตกตะกอนของฟล็อกย่อมจะช้าลงเพราะมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนืดของน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่า pH ก็เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลมากในกรณีที่ใส่สารเคมีช่วยตกตะกอนในปริมาณต่ำและเมื่ออุณหภูมิลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของสารเคมีในน้ำย่อมลดลงไปด้วย

2.3.5.6 การกวน เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นในน้ำ ในตอนแรกจะเป็นการกวนเร็วในขณะที่มีการเติมสารเคมีช่วยตกตะกอนเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำอย่างทั่วถึงและช่วยเพิ่มอัตราการชนกันระหว่างอนุภาคความขุ่นกับสารเคมีให้มากขึ้น โอกาสที่จะจับตัวเป็นฟล็อกก็จะเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วอยู่ประมาณ 30 -60 วินาที การกวนช้าก็เพื่อให้ฟล็อกเล็กๆที่เกิดขึ้นจากการกวนเร็วมีโอกาสที่จะชนกันเพิ่มมากขึ้นเพื่อจับตัวรวมกันเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น การกวนนี้ต้องการเพียงแค่ให้ฟล็อกลอยตัวอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอน ไม่ให้กวนแรงจนกระทั่งฟล็อกแตกออกเพราะแรงเฉือน ระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนช้าอยู่ประมาณ 30 – 60 นาที

2.3.5.7 อัตราการเกิดฟล็อก ในระยะแรกของการเกิดฟล็อก จะมีอนุภาคชนกันมากเท่าใด อัตราการเกิดการจับตัวเป็นฟล็อกก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มจำนวน ฟล็อกแล้วยังเพิ่มน้ำหนักและขนาดฟล็อกอีกด้วย ทำให้จมตัวได้ง่ายยิ่งขึ้น ถ้าน้ำดิบเป็นน้ำที่มีความขุ่นน้อยจะพบปัญหาว่าเกิด ฟล็อกยากและตกตะกอนช้า ปัญหานี้แก้ไขได้ โดยนำน้ำตะกอนที่ตกแล้วส่วนหนึ่งหมุนเวียนกลับมาใช้เพื่อเพิ่มโอกาสที่อนุภาคและฟล็อกจะชนกันให้เพิ่มมากขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีโคแอกกูเลชันได้มีผู้ดำเนินการศึกษากระบวนการนี้สำหรับบำบัดน้ำทิ้งประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำชะขยะมูลฝอย น้ำเสียครัวเรือนและน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนัก เป็นต้น โดยผลการศึกษาของแต่ละเรื่องที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

นภา วัฒนยง (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 จากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยาซึ่งมีปริมาณออร์โธฟอสเฟต 2.27 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับ ไคโตแซนเป็นสารสร้างตะกอน พบว่าการตกตะกอนโดยใช้สารส้มเฉลี่ย 188.43 มิลลิกรัมต่อลิตร (คิดเป็นร้อยละ 50 ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม) ร่วมกับไคโตแซนเฉลี่ย 39.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH ก่อนทำการโคแอกกูเลชัน 7.10 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสดีที่สุด โดยสามารถกำจัดปริมาณสารออร์โธฟอสเฟตได้ร้อยละ 94.36 และกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ความขุ่นและ TKN ได้ร้อยละ 92.29 42.79 และ 61.60 ตามลำดับ

ปาริชาติ จุลพันธุ์ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเบนโทไนต์เปรียบเทียบกับบำบัดโดยสารสร้างตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ สารส้ม โพลีอลูมินัมคลอไรด์และปูนขาว ผลการทดลองพบว่า เบนโทไนต์มีความสามารถกำจัดสีได้เฉลี่ยร้อยละ 24.75 บำบัดความขุ่นได้เฉลี่ยร้อยละ 63.52 กำจัดซีโอไลต์ได้

เฉลี่ยร้อยละ 20.34 กำจัดบีโอดีไตร้อยละ 39.44 กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้เฉลี่ยร้อยละ 6.59 และ 30.92 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถกำจัดของแข็งในรูปต่าง ๆ ได้ โดยปริมาณเบนโทไนท์ที่เหมาะสม คือ 5,500 – 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ที่เหมาะสมคือ 4.0 ส่วนสารสร้างตะกอนที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกองขยะ คือ สารส้ม ซึ่งสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 71.50 บำบัดความขุ่นได้เฉลี่ยร้อยละ 92.66 กำจัดซีโอดีได้เฉลี่ยร้อยละ 39.77 กำจัดบีโอดีได้เฉลี่ย 42.46 กำจัดของแข็งแขวนลอยได้เฉลี่ยร้อยละ 87.04 แต่ไม่สามารถกำจัดของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ที่ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม 7,000 – 11,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ pH ที่เหมาะสมคือ 6.0 -6.5

ชาญวิทย์ ศรีแก้ว (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการกำจัดลิกนินในน้ำเสียจากถังตกตะกอนชั้นต้นและถังตกตะกอนชั้นที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษด้วยวิธีจาร์เทส โดยสารรวมตะกอนที่ใช้คือ ไคโตแซน พบว่า ปริมาณ Micronized Chitosan และ pH ที่เหมาะสม สำหรับการกำจัดลิกนินในน้ำเสียจากถังตกตะกอนชั้นต้น เท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 8.0 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดลิกนินได้ร้อยละ 51 และปริมาณ Micronized Chitosan และ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดลิกนินในน้ำเสียจากถังตกตะกอนชั้นที่ 2 เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 8.0 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดลิกนินได้ร้อยละ 71

ชัชชัย วิเชียรเครือ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบของเทศบาลนครอุดรธานีด้วยสารโพลีเฟอร์ริกซัลเฟตด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารโพลีเฟอร์ริกซัลเฟต 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่ pH 12 มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงสุดร้อยละ 82.58 ส่วนการหาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละ pH ของ Optimum Dose พบว่า ที่ pH 12 มีปริมาณกากตะกอนมาก ส่วนที่ pH 6 มีปริมาณกากตะกอนน้อยที่สุด

ชลทิศ แก้วลี (2547: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ นิกเกิล โครเมียมและสังกะสี โดยใช้ตะกอนสารส้มจากการผลิตน้ำประปา จากผลการวิจัยพบว่า การกำจัดโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีที่สุด เมื่อใช้ปริมาณตะกอนสารส้ม 180 กรัมต่อลิตร โดยสามารถกำจัดนิกเกิลได้ร้อยละ 91.50 กำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 80.31 และกำจัดสังกะสีได้ร้อยละ 68.59 โดย pH เริ่มต้นไม่มีการปรับ pH เป็น 7.30 ,2.82 และ 5.52 ตามลำดับ แต่ค่าความขุ่นที่ได้มีค่าประมาณ 20 -30 NTU ซึ่งไม่ได้แปรผันตามปริมาณตะกอนสารส้มที่ใช้

ชัยวัฒน์ บัญญัติศรีสกุล (2547: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการสร้างตะกอนด้วยโซดาไฟขณะทำการกวนเร็วในช่วง pH 7.5 -11.0 และรวมตะกอนด้วยสารรวมตะกอนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ACCLOFLOC ชนิด A95, A110, A120 และ OXYFLOC 106 จากการศึกษาพบว่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในช่วง 10 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยกระบวนการสร้างตะกอนคือ 11.0 ทำให้

ปริมาณทองแดงเหลืออยู่ในช่วง 1.10 – 2.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงคือ ACCLOFLOC A 95 ที่ปริมาณ 0.4 - 1.2 มก/ล โดยปริมาณทองแดงลดลงเหลือประมาณ 0.15 – 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน pH ที่เหมาะสมในการกำจัดนิเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในช่วง 10 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยกระบวนการสร้างตะกอนคือ 11.0 ทำให้ปริมาณนิเกิลคงเหลืออยู่ในช่วง 3.19 – 5.12 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดนิเกิลคือ ACCLOFLOC A 95 ที่ปริมาณ 0.4 - 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปริมาณนิเกิลลดลงเหลืออยู่ในช่วง 0.063 – 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การใช้กระบวนการสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวสามารถลดได้เฉพาะปริมาณทองแดงให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม ขณะที่การเสริมประสิทธิภาพด้วยการกวนช้าและการใช้สารรวมตะกอนที่เหมาะสมสามารถลดทั้งปริมาณทองแดงและนิเกิลให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้

Al-Mutairi, Hamoda และ Ghusain (2004: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษานำบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ด้วยขบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารส้มและสารโพลีเมอร์เป็นสารรวมตะกอนพบว่า ความเข้มข้นของ สารส้มและโพลีเมอร์ เท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยสูงถึง ร้อยละ 99 สำหรับสารส้ม และ ร้อยละ 96 สำหรับโพลีเมอร์ แต่สารส้มผลิตจากตะกอนที่อัดตัวกันแน่นมากกว่าโพลีเมอร์ โดยจากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นปริมาณกากตะกอนลดลงแต่ให้ปริมาณสารแขวนลอยสูงขึ้น ส่วนโพลีเมอร์ เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณกากตะกอนสูงขึ้นแต่ปริมาณสารแขวนลอยลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่า ปริมาณกากตะกอนและปริมาณสารแขวนลอย มีความสัมพันธ์กันกับความเข้มข้นของสารส้มและโพลีเมอร์

Aboulhassan และคณะ (2005: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษานำบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้าโดยใช้สารรวมตะกอนที่สกัดจากธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนประกอบของแทนนิน คือ Polysep3000 พบว่า Polysep3000 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดในช่วง Ph ที่กว้างคือ อยู่ในช่วง pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 และให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ร้อยละ 96 เมื่อเปรียบเทียบการเกิดกาก (Sludge Production) ระหว่างบำบัดด้วย Polysep3000 กับ สารส้มและเฟอริคคลอไรด์ พบว่า Polysep3000 ให้ปริมาณกากตะกอนน้อยกว่า

Ahmad, Sumathi และ Hameed (2005: บทคัดย่อ) ได้ศึกษานำบำบัดน้ำมันคาก้าง (Residue Oil) และสารแขวนลอยจากโรงงานน้ำมันปาล์มโดยใช้ Micronized Chitosan สารส้ม และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของ Micronized Chitosan กับสารส้มและ PAC ในการบำบัดน้ำตัวอย่างที่มีสารแขวนลอยเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมี Residue Oil 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4 เวลาในการสัมผัส 15 นาที กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เวลาตกตะกอน 20 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่า สารส้ม และ PAC โดยมีประสิทธิภาพการ

บำบัดสารแขวนลอยและ Residue Oil มากกว่า ร้อยละ 95 และลักษณะของฟล็อกที่เกิดจาก Micronized Chitosan เกิดขึ้นเร็วและรวมตัวกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ สามารถตกตะกอนได้ง่าย ซึ่งลักษณะของฟล็อกเป็นเส้นใยคล้ายกับใยแมงมุม ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า เกิดจากกลไก Bridging แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงเกินจุด Optimum ส่งผลให้ปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น

ณัฐพล เอี่ยมอ้น (2549: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก: กรณีศึกษาน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักในการบำบัดคุณภาพน้ำตัวอย่าง จากคลองแสนแสบ จากผลการศึกษาพบว่า น้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดคุณภาพของตัวอย่าง เนื่องจากค่า pH บีโอดี ปริมาณสารแขวนลอย ตะกั่ว แคดเมียม โปรท และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสกัดชีวภาพ จากกากส่าเหล้าหมักชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่ให้พหุไม่แตกต่างกันกับการเติมน้ำกลั่นเข้าไปในตัวอย่างน้ำเสีย

อัศรเดช จันทรพิพัฒน์ (2549: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการแยกโลหะ निकเกิล ออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารโดยวิธีการตกตะกอน รวมกลุ่มตะกอนทางเคมี กรณีศึกษา: บริษัทอุเอโน ไฟน์ เคมีคัลส์ อินดัสตรี (ประเทศไทย) จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิด ปริมาณ และสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน และการรวมกลุ่มตะกอนโลหะ निकเกิลจากน้ำเสีย โดยวิธีทางเคมี โดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการสังเคราะห์แล้วในปริมาณตัวอย่างละ 500 มิลลิลิตร และมีโลหะ निकเกิลปนเปื้อนในรูปของสารละลายเฉลี่ย 621 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการทดลอง โดยใช้สารเคมี NaOH ความเข้มข้น 50 % ที่ pH 14+ FeSO_4 และโพลีเมอร์ประจุลบ "Kurita C-0320" ให้ผลในการตกตะกอน และการรวมกลุ่มตะกอนได้เหมาะสมที่สุด โดยการปรับ pH ที่ 10 ด้วย NaOH เป็นค่าที่เหมาะสมในการตกตะกอน และการเติม FeSO_4 ตั้งแต่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป จะช่วยให้การตกตะกอนเร็วขึ้น อีกทั้งการเติม Polymer ประจุลบที่ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร จะช่วยให้การจับตัวของกลุ่มตะกอนดีขึ้น โดยเวลาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15 – 20 นาที และจากการวิเคราะห์น้ำหลังตกตะกอน พบว่ามีฟิสิกเกิลปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.36 – 0.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดที่ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

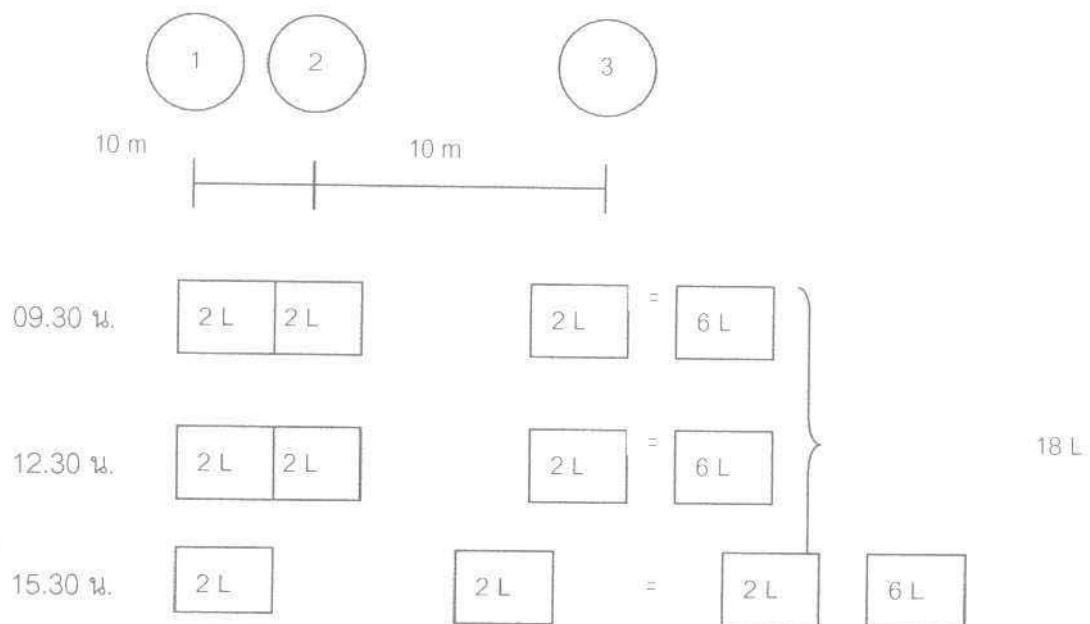
บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

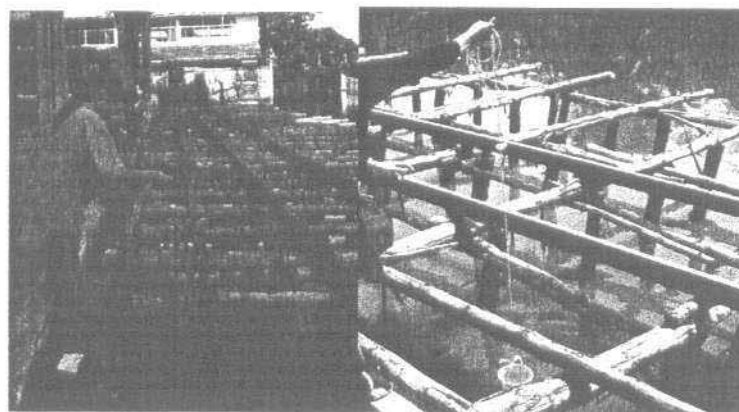
การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ โดยมุ่งศึกษาถึงอัตราเร็วในการตกตะกอนรวมทั้งปริมาณกากตะกอนภายหลังการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนหรือการทำโคแอกกูเลชัน นอกเหนือจากการศึกษาอัตราเร็วการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนจะทำการศึกษาคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้สารรวมตะกอนแต่ละชนิดด้วย โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ความขุ่น (Turbidity Removal) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

3.1 ประชากรและตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite Sampling) โดยแบ่งจุดเก็บน้ำตัวอย่างเป็น 3 จุด ระยะห่างกันระหว่างจุดเก็บตัวอย่างประมาณ 10 เมตร ซึ่งดำเนินการเก็บทุกช่วงในปริมาณที่เท่ากันคือ 6 ลิตรต่อช่วงเวลา ในช่วงเวลา 9:30, 12:30, 15:30 นาฬิกา ที่ระยะความลึกประมาณ 30 – 60 เซนติเมตรจากผิวน้ำ โดยสันนิษฐาน (Assume) ว่าตัวอย่างน้ำเสียบริเวณที่ศึกษามีอัตราการไหลเท่ากันของวันที่เก็บตัวอย่างแล้วนำมาผสมรวมกันทั้งหมดจำนวน 18 ลิตร ดัง ภาพที่ 3.1 และ ภาพที่ 3.2

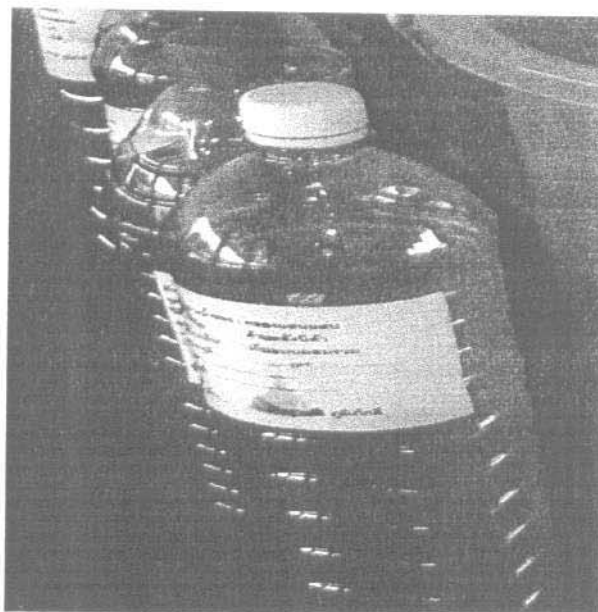


ภาพที่ 3.1 แผนภาพการเก็บตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบแบบผสมรวม
ณ วันที่ 24 มีนาคม 2549



ภาพที่ 3.2 การเก็บน้ำตัวอย่างบริเวณด้านหลังโรงอาหารอาคารที่จอดรถ

หลังจากนั้นทำการกรองเอาเศษขยะและเศษใบไม้ออกก่อนที่จะทำการบรรจุในอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้เก็บน้ำตัวอย่างคือ ขวดโพลีเอทิลีน ที่สะอาดและมีฝาเกลียวปิดสนิท ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขวดเก็บน้ำตัวอย่าง (โพลีเอทิลีน) มีฝาเกลียวปิด

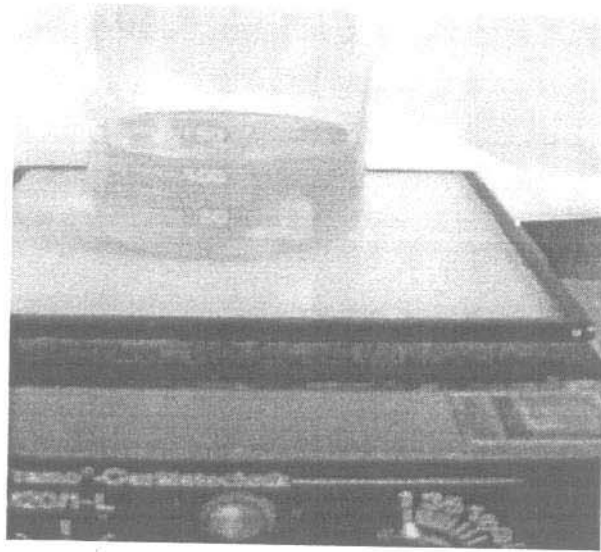
3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ทดสอบน้ำก่อนการบำบัด

โดยจะทำการศึกษาคุณภาพน้ำด้านกายภาพด้วยการวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) อุณหภูมิ (Temperature) และ ความขุ่น (Turbidity)

3.2.2 ทดสอบน้ำโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทส

โดยนำตัวอย่างน้ำเสียที่ต้องการทดสอบมาเติมสารเคมีเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรวมกลุ่มตะกอนในปริมาณและชนิดของสารเคมีที่แตกต่างกันและให้น้ำเสียดังกล่าวผ่านขั้นตอนการกวนเร็ว-กวนช้าด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การกวนช้าเมื่อเติม FeCl_3 ในตัวอย่างน้ำเสีย

โดยค่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ ค่า pH ของสารส้ม และ Cationic Polyelectrolyte คือ pH เท่ากับ 6, 7 และ 8 ทั้งนี้มีผู้ได้ศึกษาเกี่ยวกับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนไว้ ดังนี้

Amirtharajah และ Mill (1982 อ้างถึงใน พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 8) กล่าวว่าสารส้มจะตกตะกอนและทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำได้ดีในช่วงสภาวะพีเอช คือ 6.8 – 8.2

มันสิน ดันทุลเวศน์ (2537: 181) กล่าวว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยสารส้ม คือ ช่วง 6 - 7

Koprivanac และคณะ (1993 อ้างถึงใน พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 14) ได้ทำการทดลองเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีโดยใช้โพลีเมอร์ประจุบวก พบว่า ช่วง pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสาร โพลีเมอร์ประจุบวก คือ 6.0 - 7.0

สำหรับเฟอริกคลอไรด์ จะทำการทดลองที่ pH เท่ากับ 8, 9 และ 10 โดยมีผู้ศึกษาเกี่ยวกับ pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของเฟอริกคลอไรด์ ไว้ดังนี้

วิโรจน์ ทรัพย์สัตย์ (2544: 74) ได้ศึกษาการใช้เฟอริกคลอไรด์ในการบำบัดความขุ่นในน้ำดิบ ที่มีค่าความขุ่นเริ่มต้น 11.09 NTU จนถึง ความขุ่นสูงสุดเท่ากับ 44.20 NTU พบว่าช่วง pH ของเฟอริกคลอไรด์ เท่ากับ 7.0 – 9.5 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นและตกตะกอนได้ดีพอๆ กัน

มันสิน ดันทุลเวศน์ (2537: 181) กล่าวว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยเฟอริกคลอไรด์ คือ ช่วง pH 5 - 7

Lenntech (2006: 1) กล่าวว่าช่วง pH ที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน ด้วย Fe^{3+} คือ pH ควรมากกว่า 5

สำหรับ Micronized Chitosan ทดลองที่ pH เท่ากับ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ โดยมีผู้ศึกษาเกี่ยวกับ pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของ Micronized Chitosan ดังนี้

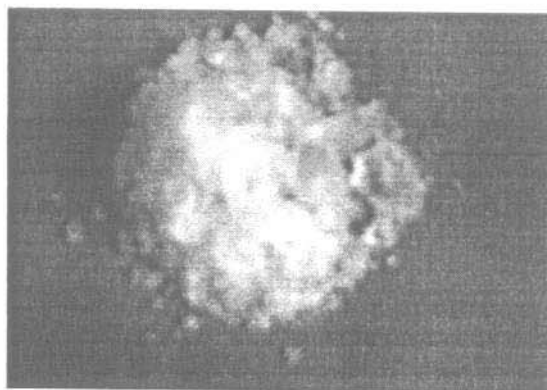
Roussy และคณะ (2005: บทคัดย่อ) กล่าวว่า Micronized Chitosan จะเกิดการรวมตะกอนได้ดีที่ pH ช่วงต่ำและได้ทำการศึกษาการใช้ Micronized Chitosan บำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนหมักพิมพ์ พบว่า ที่ pH 5 ความเข้มข้นใกล้กับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด

ส่วนค่าความเข้มข้น (mg/l) ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดแยกเป็น สารส้มเท่ากับ 500 800 และ 1,000 mg/l เฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 300 500 และ 700 mg/l, Micronized Chitosan มีค่าความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองคือ 60 80 และ 100 mg/l และ Cationic- Polyelectrolyte ทดลองที่ค่าความเข้มข้น เท่ากับ 0.3 0.5 และ 0.7 mg/l

การใช้ช่วง pH แตกต่างกันในการทดลองของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด เนื่องจากสารรวมตะกอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดตะกอนได้ดีในสภาวะ pH แตกต่างกันและนอกจากนี้ค่า pH และ ค่าความเข้มข้นของสารรวมตะกอนเหล่านี้อ้างอิงต่อเนื่องจากการศึกษาเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี (ทิตยา นันหมื่น, 2548: 75)

3.2.2.1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

1) สารส้ม (Alum) มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ชนิดใส - ผง จาก บริษัท เจม่อน จำกัด ลักษณะทางกายภาพของสารส้มที่ใช้เป็นสารรวมตะกอนแสดงได้ดังภาพที่ 3.5



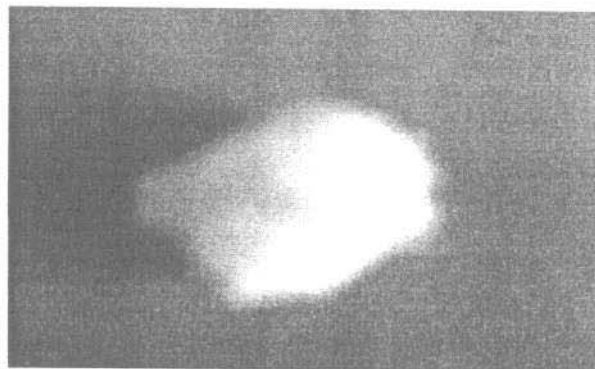
ภาพที่ 3.5 ลักษณะทางกายภาพของสารส้ม (Alum)

2) เฟอริกคลอไรด์ ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ FeCl_3 จาก บริษัท Merck
ลักษณะทางกายภาพของเฟอริกคลอไรด์แสดงได้ดัง ภาพที่ 3.6



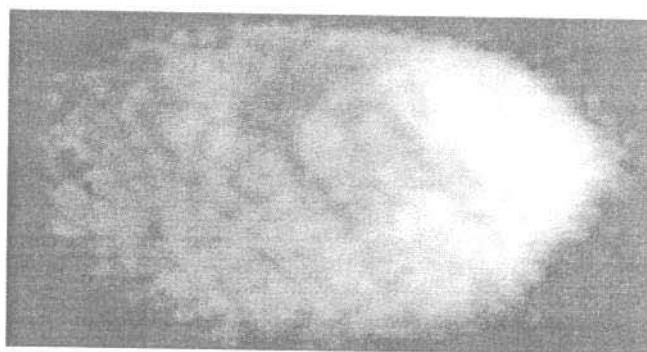
ภาพที่ 3.6 เฟอริกคลอไรด์จากบริษัท Merck

3) Cationic Polyelectrolyte จากบริษัท Nalco ชนิด OPTIMER 9916
(Dry Cationic Flocculant) มีส่วนประกอบเป็น Acrylamide Co-Polymer, High Cationic Charge
มีลักษณะทางกายภาพแสดงได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก – OPTIMER 9916

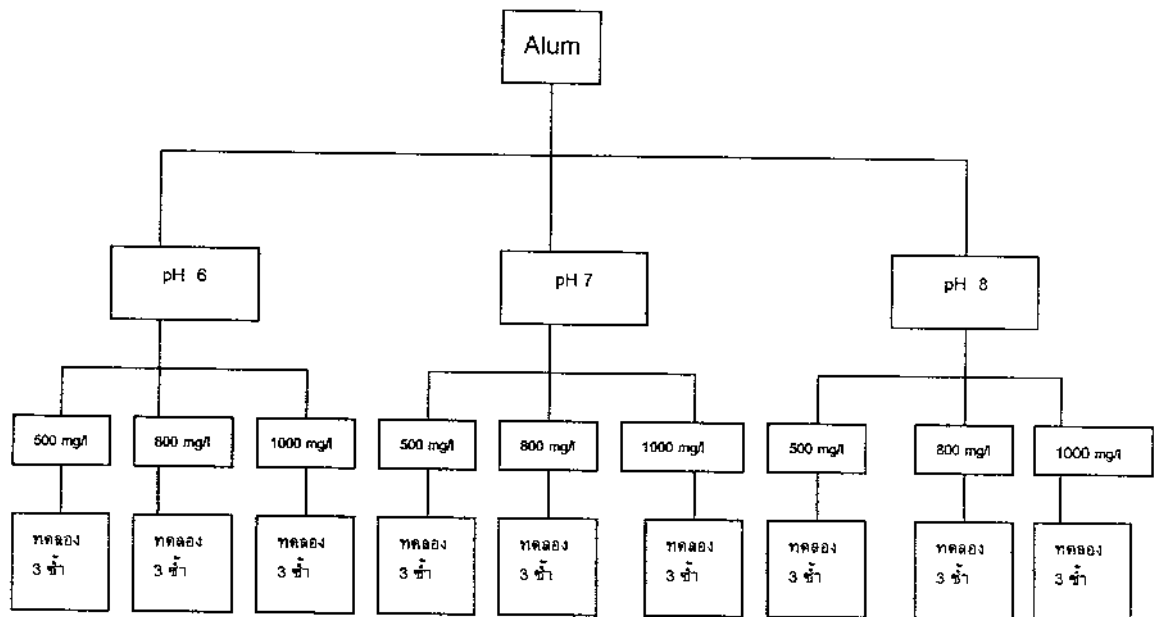
4) Micronized Chitosan จากบริษัท EL และ Corporation LTD. ชนิด Micronized Chitosan ผลิตจากกุ้งและเปลือกหอย ความชื้นสูงสุดร้อยละ 10 มีความหนืด (1% Solution / 1% Acid) เท่ากับ 50 cps, Deacetylation Degree เท่ากับ $90\% \pm 5$ มีลักษณะทางกายภาพแสดงได้ดังภาพที่ 3.8



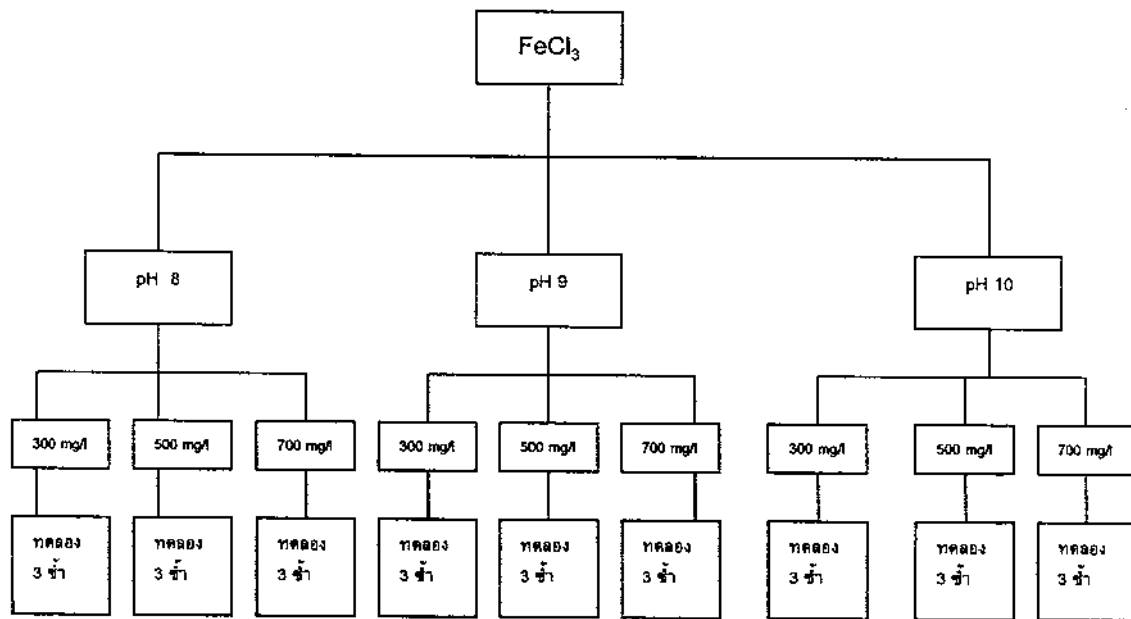
ภาพที่ 3.8 ลักษณะทางกายภาพของ Micronized Chitosan

3.2.3 การตกตะกอน

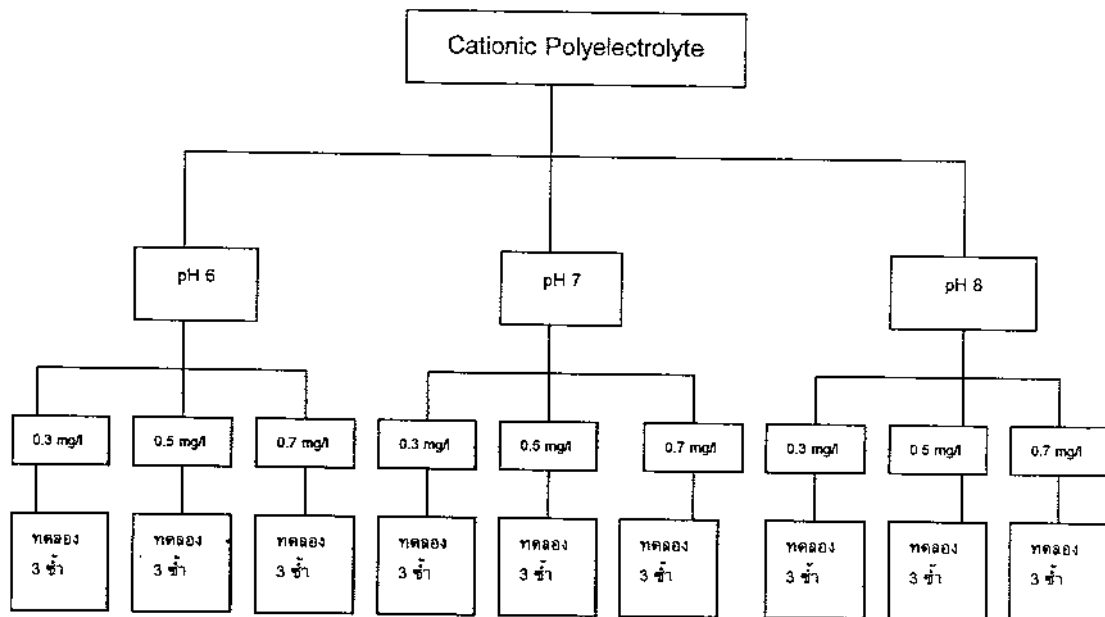
เมื่อทำการเติมสารรวมตะกอนและผ่านการกวนเร็วและช้าแล้ว ในหัวข้อ 3.2.2 จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนและทำการจับเวลาเพื่อหาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นและนำน้ำส่วนที่ใสออกมาตรวจสอบคุณภาพโดยเลือกมาเพียงพารามิเตอร์เดียวคือความขุ่น (Turbidity) โดยใช้แผนการทดลองที่กำหนด ดังแผนภาพในภาพที่ 3.10 - 3.13 ซึ่งความหมายของแผนภาพการทดลอง แสดงได้ดัง ภาพที่ 3.9



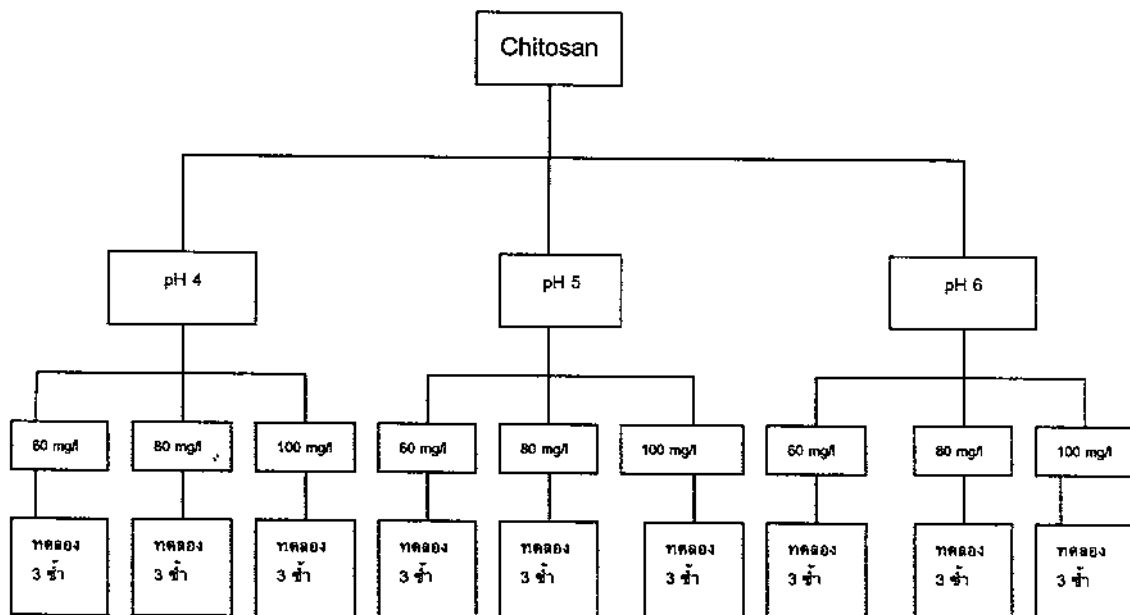
ภาพที่ 3.9 แผนภาพการทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน



ภาพที่ 3.10 แผนภาพการทดลองเมื่อใช้ FeCl₃ เป็นสารรวมตะกอน



ภาพที่ 3.11 แผนภาพการทดลองเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน

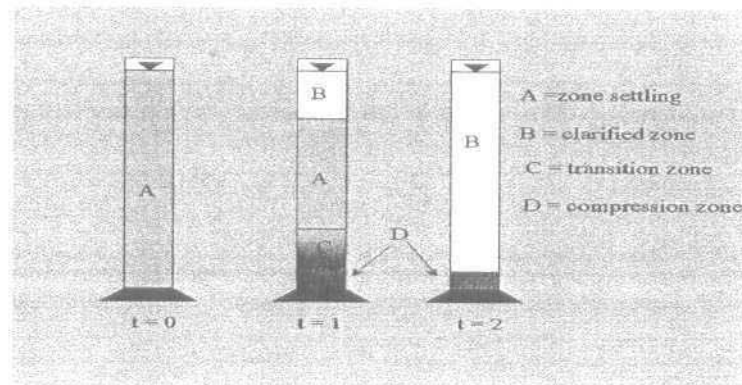


ภาพที่ 3.12 แผนภาพการทดลองเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน

3.2.4 การทดสอบหาค่าอัตราเร็วในการตกตะกอนและวัดปริมาณกากตะกอน

3.2.4 การทดสอบหาค่าอัตราเร็วในการตกตะกอนและวัดปริมาณกากตะกอน

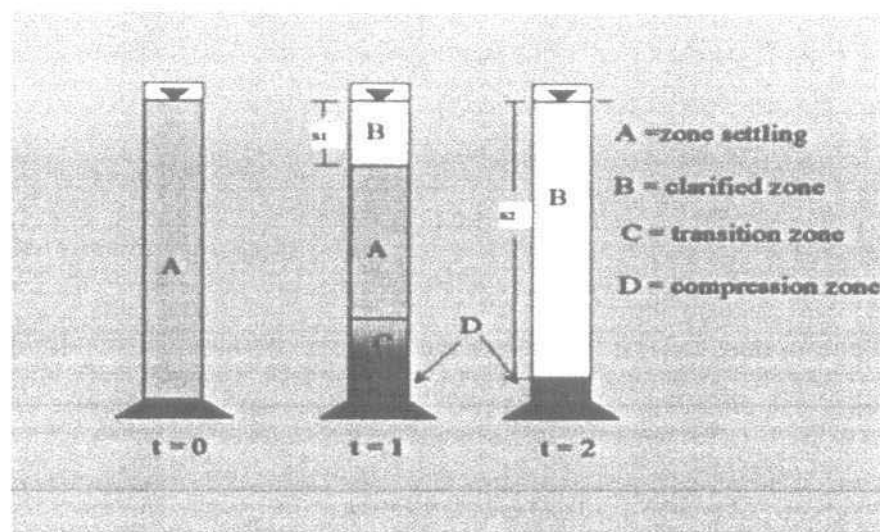
การทดสอบเพื่อหาค่าอัตราเร็วในการตกตะกอนและหาปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังการเติมสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นและที่สภาวะความเป็นกรด - ด่างที่แตกต่างกัน เวลา 60 นาที โดยตัวอย่างของลักษณะการตกตะกอนและบริเวณกากตะกอนในกระบอกตวงในการทดลอง แสดงได้ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ลักษณะการตกตะกอนในกระบอกตวง

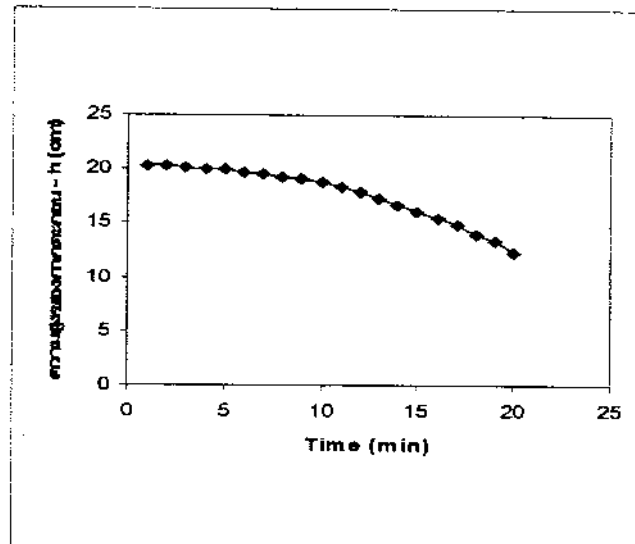
3.2.4.1 การหาค่าอัตราเร็วการตกตะกอน

จะได้ค่าของเวลาที่ตกตะกอน (t) และความสูงของปริมาณกากตะกอน (h) หรือระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) แสดงในภาพที่ 3.14

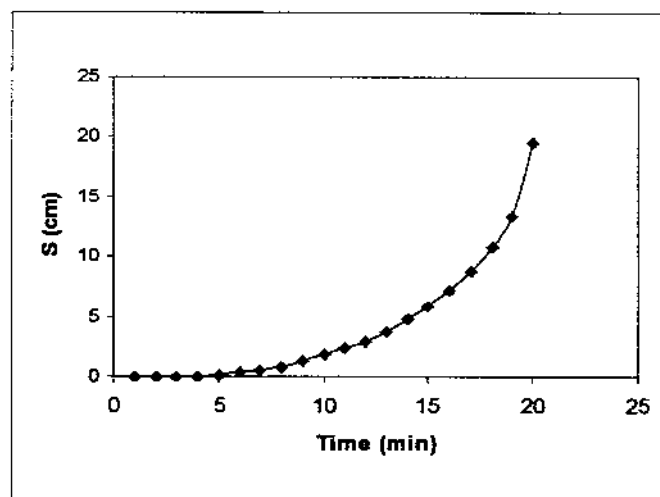


ภาพที่ 3.14 ระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s_1 และ s_2)

เมื่อได้ข้อมูลของระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) และเวลาในการตกตะกอน (t) แล้วสามารถนำไปพล็อตกราฟได้ดังตัวอย่างกราฟใน ภาพที่ 3.15 หรือสามารถพล็อตกราฟระหว่างระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (t) จะได้กราฟ ระหว่าง s กับ t ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.15 กราฟระหว่างเวลาในการตกตะกอน (t) และความสูงของกาก (h)



ภาพที่ 3.16 กราฟแสดงระยะการเคลื่อนที่ของตะกอน (s) ต่อเวลา (t) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่

และสามารถนำมาคำนวณหาอัตราเร็วได้ ดังสมการ

$$\text{อัตราเร็ว}(v) = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

โดยที่

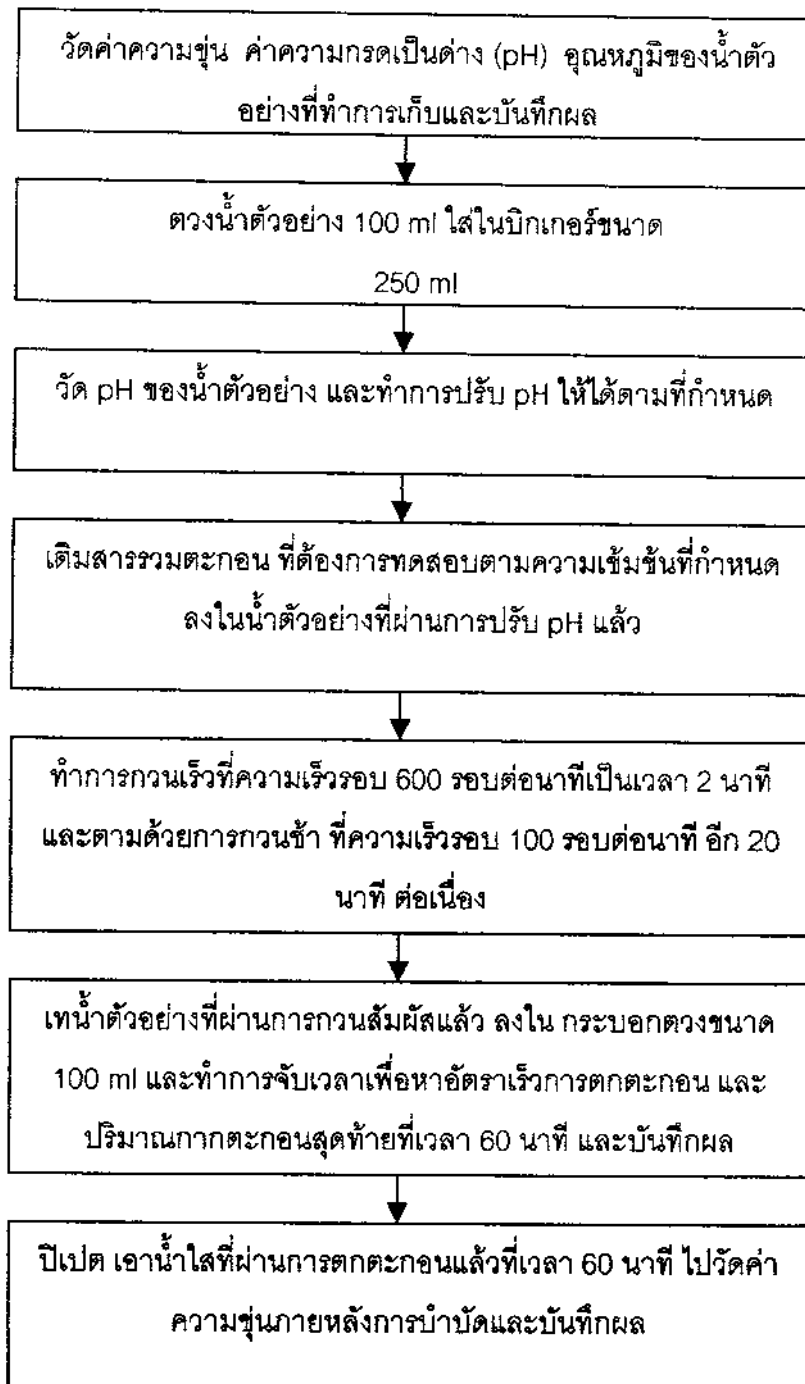
s_1 = ระยะทางการเคลื่อนที่ของกากตะกอนตำแหน่งที่ 1

s_2 = ระยะทางการเคลื่อนที่ของกากตะกอนตำแหน่งที่ 2

t_1 = เวลาที่กากตะกอนเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ 1

t_2 = เวลาที่กากตะกอนเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ 2

ซึ่งขั้นตอนการทดลองทั้งหมดสรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 3.17 แผนภาพสรุปขั้นตอนการทดลอง

3.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีทดสอบ/เครื่องมือ

พารามิเตอร์	วิธีทดสอบ/เครื่องมือ	รุ่น
1. ค่าความเป็น กรด-ด่าง	pH Miter	HANNA HI 98107
2. อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	ปรอท/SM องศา 1/1
3. ความขุ่น	Turbidity Meter	2100PTurbidimeter (HACH)

3.4 วัสดุอุปกรณ์

3.4.1 การทำจาร์เทสต์ (Jar Test)

3.4.1.1 Magnetic Stirrer รุ่น Framo-M20/1 - L

3.4.1.2 กระบอกตวงขนาด 100 ml

3.4.1.3 บีกเกอร์ขนาด 250 ml

3.4.1.4 นาฬิกาจับเวลา

3.4.2 pH มิเตอร์

3.4.3 เครื่องมือวัดความขุ่น

3.4.4 เครื่องชั่งละเอียด

3.4.5 เครื่องแก้ว

3.4.6 สารละลายที่ใช้ในการปรับ pH ได้แก่ 0.1N NaOH และ 0.1N H₂SO₄

3.4.7 สารเคมี ได้แก่

3.4.7.1 สารส้มประมาณ 7 กรัม

3.4.7.2 เฟอริกคลอไรด์ประมาณ 4.5 กรัม

3.4.7.3 Micronized Chitosan ปริมาตร 22 มิลลิลิตร

3.4.7.4 Cationic Polyelectrolyte ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาทดลองครั้งนี้ แบ่งได้ดังนี้

3.5.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) แล้วนำมาหาความสัมพันธ์โดยการพล็อตกราฟ และ Scatterplot เพื่อหาจุดเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำการทดสอบ

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าความชุ่มชื้นหลังการบำบัดและอัตราเร็ว การตกตะกอนเฉลี่ยจากการใช้สารรวมตะกอนแต่ละชนิดโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูป SPSS Version 13 สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ปริมาณ กากตะกอน ใช้สถิติวิเคราะห์ Friedman Test – Test for Several Related Sample

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองการศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี ใช้สารรวมตะกอน (Coagulants) แต่ละชนิดได้แก่ สารส้ม (Alum), เฟอริคคลอไรด์ (FeCl_3), โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte) จากบริษัท Nalco (OPTIMER 9916) และ Micronized Chitosan จากบริษัท ELAND Corporation ในการตกตะกอนตัวอย่างน้ำเสียจากคลองแสนแสบ โดยตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบที่ศึกษาเป็นน้ำตัวอย่างจากด้านหลังโรงอาหารอาคารที่จอดรถภายในสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ซึ่งทำการเก็บ ณ วันที่ 24 มีนาคม 2549

การทดลองนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการรวมกลุ่มตะกอนของสารเคมีแต่ละชนิดโดยวิธีโคแอกกูเลชัน ซึ่งพิจารณาจากการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal) อัตราเร็วในการตกตะกอน (Flocculant Settling) และปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) เป็นวัตถุประสงค์หลัก โดยในแต่ละสารรวมตะกอนที่ทำการทดลอง ได้ทำการทดลองในช่วงสภาวะความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ได้แก่

สารส้ม ทดลองที่ pH 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย Amirtharajah and Mill (1982 อ้างถึงใน พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 8) กล่าวว่าสารส้มจะตกตะกอนและทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำได้ดีในช่วงสภาวะ pH คือ ช่วง 6.8 – 8.2

สำหรับเฟอริคคลอไรด์ ทดลองที่ pH 8, 9 และ 10 ความเข้มข้นของสารเฟอริคคลอไรด์เท่ากับ 300, 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย Lenntech (2006: 1) กล่าวว่าช่วง pH ที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกกูเลชันด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ คือ ช่วงมีค่า pH มากกว่า 5 เมื่อเติม Cationic Polyelectrolyte ทำการทดลองที่ pH 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย Koprivanac และคณะ (1993 อ้างถึงใน พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 14) ได้ทำการทดลองเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน

ผลิตโดยใช้โพลีเมอร์ประจุบวก พบว่า ช่วง pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารโพลีเมอร์ประจุบวก คือ 6.0 -7.0 เมื่อเติม Micronized Chitosan ทดลองที่ pH 4, 5 และ 6 ความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดย Roussy และคณะ (2005: บทคัดย่อ) กล่าวไว้ว่า Micronized Chitosan จะเกิดการรวมตะกอนได้ดีในช่วง pH ต่ำและได้ทำการศึกษาการใช้ Micronized Chitosan บำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนหมักพิมพ์ พบว่าที่ pH 5 ความเข้มข้นใกล้เคียงกับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุดและเนื่องจากการศึกษาวิจัยชุดนี้เป็นการทดลองต่อเนื่องจากงานวิจัยเรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี (ทิตยา นันหมื่น, 2548: 75) จึงได้มีการอ้างอิงค่า pH และค่าความเข้มข้นของสารรวมตะกอนในการทดลองต่อเนื่องจากงานวิจัยชุดดังกล่าวโดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละสภาวะ pH และความเข้มข้นต่างๆ ดังแผนการทดลองใน ภาพที่ 3.9 – 3.12

4.1 คุณลักษณะของน้ำเสีย

ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียจากคลองแสนแสบด้านหลังโรงอาหารอาคารที่จอดรถ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ซึ่งทำการเก็บโดยวิธีผสมรวมมีลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองดังภาพที่ 4.1 และ ผู้วิจัยได้ทำการวัดคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละพารามิเตอร์ ได้แก่ pH, ความขุ่น, และ อุณหภูมิ โดยวัด 3 ชั่วโมง แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยซึ่งคุณลักษณะของน้ำเสียก่อนการทดลองแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D)
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.50	7.80	7.60	0.146
2. ค่าความขุ่น (Turbidity)	7.90	8.34	8.08	0.194
3. อุณหภูมิ (Temperature)	27.00	32.00	29.81	2.044

4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น

ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดวัดในรูปของร้อยละการบำบัดความขุ่นที่สภาวะต่างๆ มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Turbidity Removal} = \frac{(T1 - T2)}{T1} \times 100$$

โดย T1 = ความขุ่นก่อนบำบัด

T2 = ความขุ่นหลังบำบัด

โดยสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

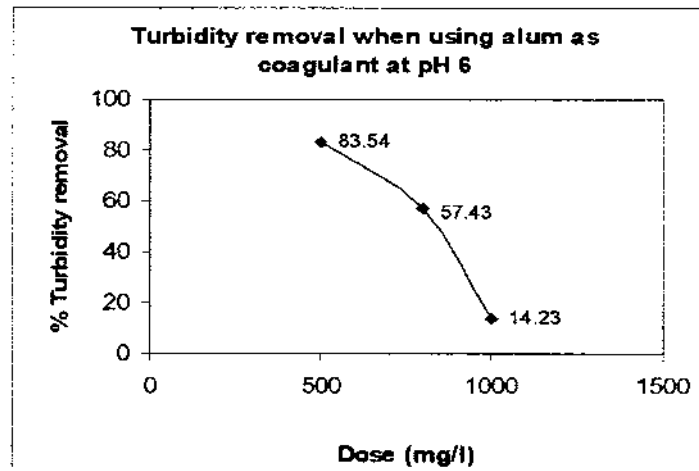
4.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนภายหลังประยุกต์ใช้หลักการจลน์ศาสตร์

ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนภายหลังประยุกต์ใช้หลักการจลน์ศาสตร์ แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนที่
ปัจจัย pH แตกต่างกัน

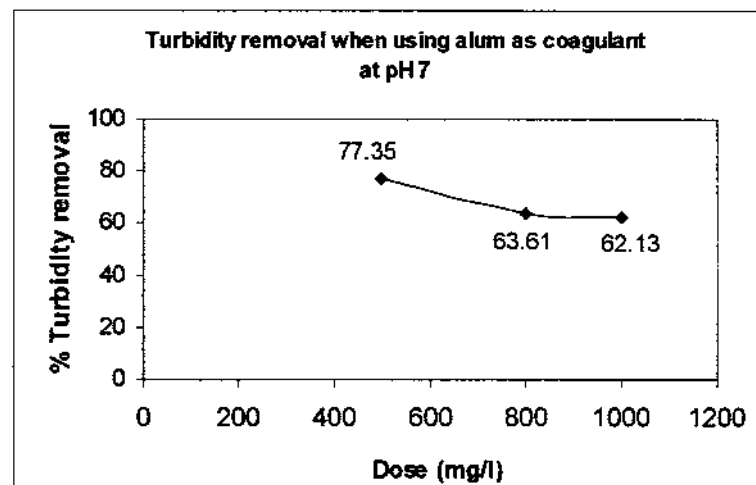
สาร รวมตะกอน (Coagulant)	ความเข้มข้น ของสาร รวมตะกอน (Dose) (mg/l)	pH ทดลอง	pH หลัง บำบัด	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่น หลังบำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
สารส้ม (Alum)	500	6	4.20	8.08	1.333	83.54
	800		4.00		3.440	57.43
	1000		4.00		6.933	14.23
	500	7	6.07	8.08	1.830	77.35
	800		4.33		2.940	63.61
	1000		4.06		3.060	62.13
	500	8	6.77	8.08	2.097	74.04
	800		5.90		2.403	70.29
	1000		4.13		3.633	55.07

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่ pH 6 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 83.54 ที่ pH 7 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 77.35 และที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 74.04



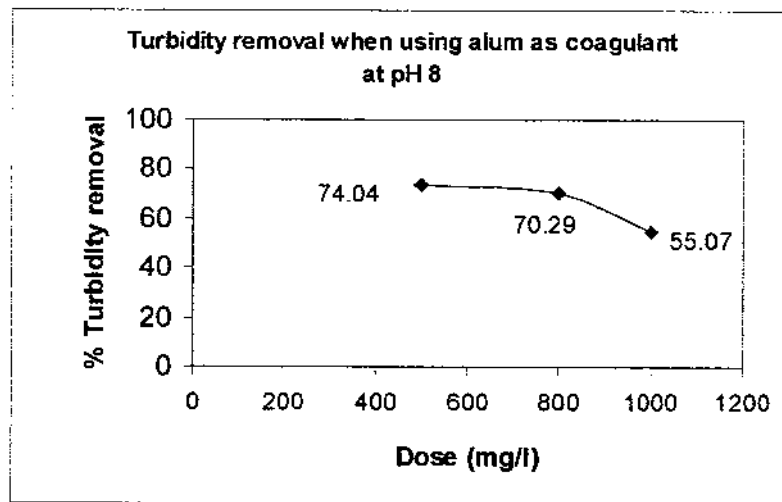
ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 6

จากภาพที่ 4.2 พบว่าที่ pH 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 83.54, 57.43 และ 14.23 ตามลำดับ



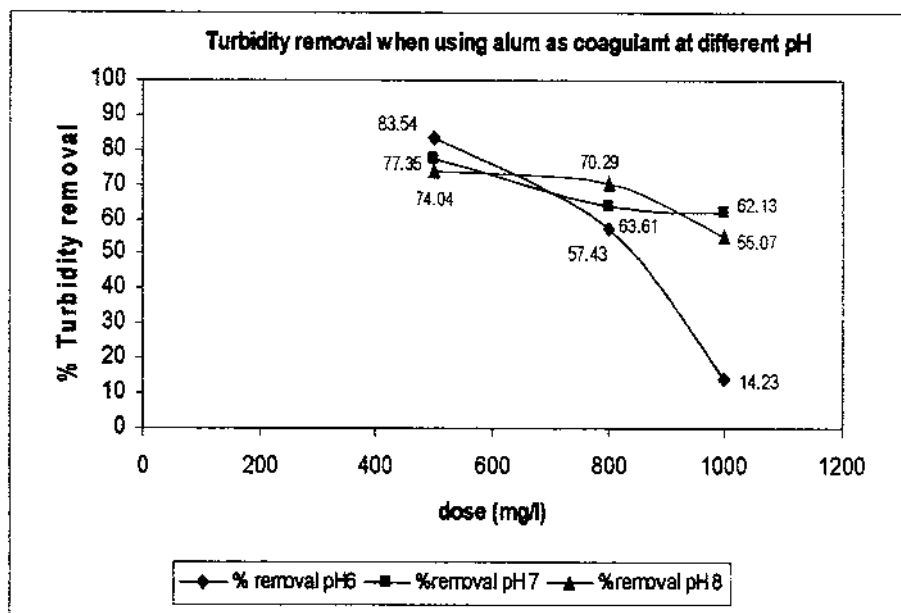
ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 7

จากภาพที่ 4.3 พบว่าที่ pH 7 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 800 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 77.35 และ 63.61 ตามลำดับ และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเพียงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลง คือ ร้อยละ 62.13



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8

จากภาพที่ 4.4 พบว่าที่ pH 8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 74.04, 70.29 และ 55.07 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่ pH ต่าง

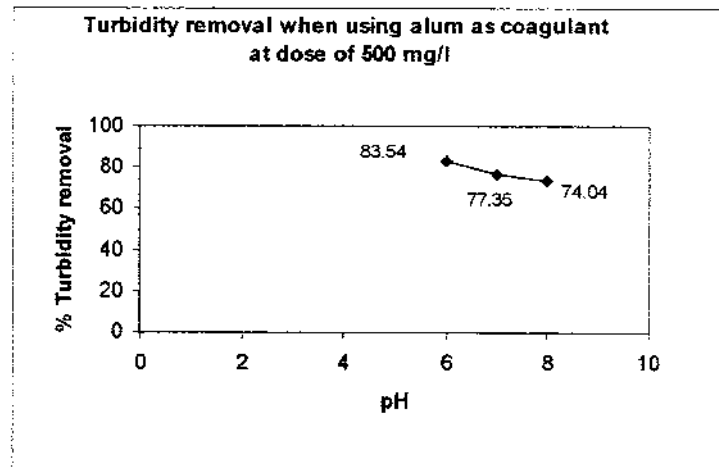
จากภาพที่ 4.5 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ซึ่งมีค่าความขุ่นก่อนการบำบัดเท่ากับ 8.08 NTU ดังตารางที่ 4.2 พบว่าในทุกๆ ค่า pH ได้แก่ 6 7 และ 8 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณสารส้มหรือความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 500 เป็น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกันผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.6 ภาพที่ 4.8 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน

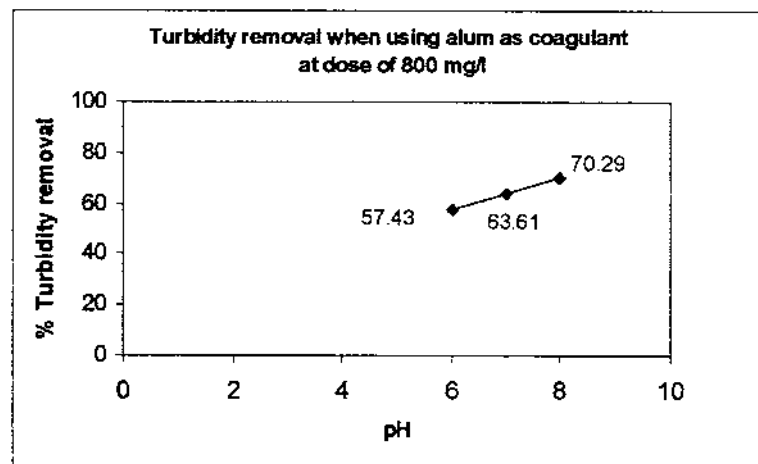
สารรวมตะกอน (Coagulant)	ความเข้มข้นของสารรวมตะกอน (Dose) (mg/l)	pH ทดลอง	pH หลังบำบัด	ความขุ่นก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่นหลังบำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
สารส้ม (Alum)	500	6	4.20		1.333	83.54
		7	6.07	8.08	1.830	77.35
		8	6.77		2.079	74.04
	800	6	4.00		3.440	57.43
		7	4.33	8.08	2.940	63.61
		8	5.90		2.403	70.29
	1000	6	4.00		6.933	14.23
		7	4.06	8.08	3.060	52.13
		8	4.13		3.633	55.07

จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 83.54 ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ pH 8 เท่ากับ ร้อยละ 70.29 ส่วนที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 7 เท่ากับ ร้อยละ 62.13



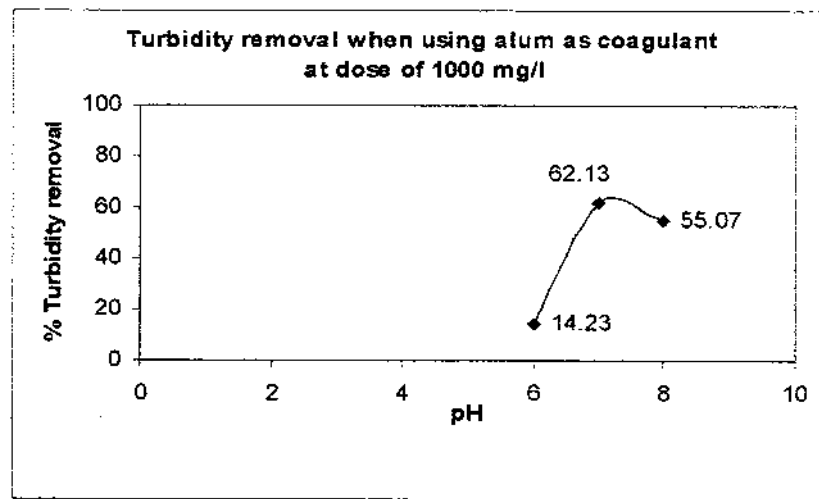
ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.6 พบว่า ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 และ 8 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 83.54, 77.35 และ 74.04 ตามลำดับ



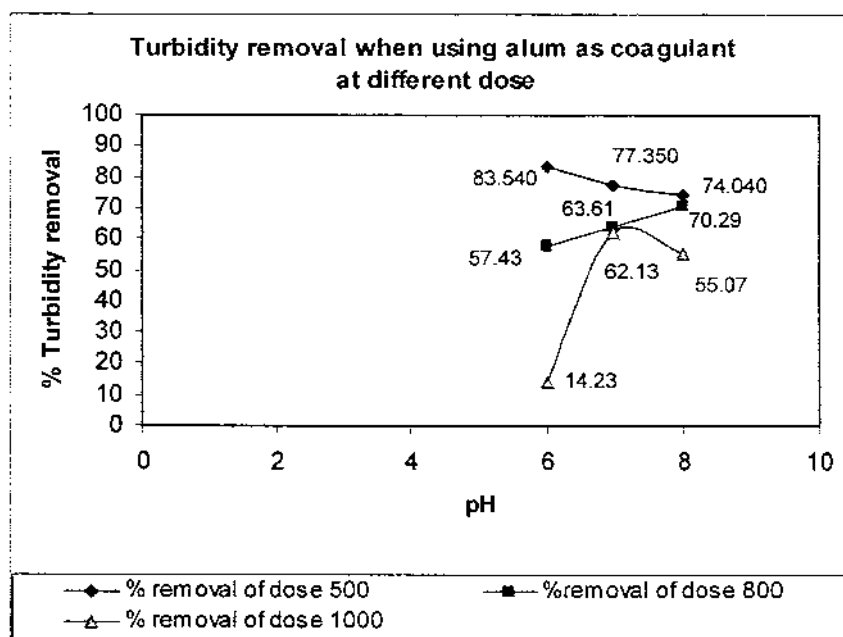
ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.7 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารส้ม 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเริ่มต้นจาก 6 เป็น 7 และ 8 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 57.43, 63.61 และ 70.29 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.8 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารส้ม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเริ่มต้นจาก 6 เป็น 7 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น ร้อยละ 14.23 และ 62.13 ตามลำดับ แต่ที่ pH 8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลง เป็น ร้อยละ 55.07



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน
ที่ค่า pH แตกต่าง

จากภาพที่ 4.9 พบว่าที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 และ 8 ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มสวนทางกันกับที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร กล่าวคือ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ส่วนที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นมากเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 6 เป็น 7 แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 8

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way Analysis of Variance เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียภายหลังการบำบัดพร้อมกันทุกกลุ่ม (Within Group) พบว่าค่าความขุ่นภายหลังบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความขุ่นภายหลังบำบัดเปลี่ยนแปลงไป

ทั้งนี้โดยภาพรวมอธิบายได้ว่า ที่ทุก ๆ ค่า pH ความเข้มข้นของสารส้มจะมีผลต่อประสิทธิภาพการลดความขุ่น ในลักษณะดังนี้คือ เมื่อเติมสารส้มในน้ำ สารส้มจะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบดังปฏิกิริยา $Al_2(SO_4)_3 \longrightarrow 2Al^{+3} + 3SO_4^{-2}$ หลังจากนั้นอะลูมิเนียมไอออนจาก $Al_2(SO_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ชนิดต่างๆที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่

โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน เช่น $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก $\text{Al}(\text{OH})_3$ ดังปฏิกิริยา $\text{Al}^{+3} + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$ เมื่อเติมปริมาณสารส้มมากพอจะทำให้ผลึก $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวจนไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า $\text{Al}(\text{OH})_3$ จึงทำหน้าที่สร้างเป็นสัณฐานอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนลงมาได้เอง (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 6 - 7) จากผลการทดลองพบว่าที่ทุกๆสภาวะ pH เมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลง สันนิษฐานได้ว่า เนื่องจากปริมาณของสารสร้างตะกอนมีจำนวนมากเกินไปหรืออาจจะเรียกได้ว่าความเข้มข้นของสารส้มในตัวอย่างน้ำเสียมากเกินไปจนจุด Optimum (Over Optimum Dose) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำให้สารคอมเพล็กซ์ที่มีอะลูมิเนียมที่เป็นประจุบวก หรือ Polymeric Hydroxo Complex เช่น $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$ $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากซึ่งไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีหมู่ของไฮดรอกซิลดังกล่าวพร้อมที่จะดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์และห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ได้แต่ถ้าไอออนมีประจุตรงกันข้ามและมากกว่าคอลลอยด์ส่งผลให้คอลลอยด์ในระบบคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพแล้วจะกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้งการรวมตัวของอนุภาคเพื่อตกตะกอนจึงเกิดขึ้นได้น้อยลง

จากการทดลองพบว่าค่า pH ภายหลังบำบัดมีค่าลดลงในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งการลดลงของ pH ภายหลังบำบัด อาจเกิดจากการแตกตัวของ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ทำให้ได้ประจุบวก คือ 2Al^{+3} และประจุลบ คือ 3SO_4^{-2} และเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิดไฮโดรเจนไอออนและ SO_4^{-2} จึงแสดงสภาวะความเป็นกรดออกมา ดังสมการ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 6\text{H}^+ + 3\text{SO}_4^{-2}$

นอกจากนั้น $\text{Al}(\text{OH})_3$ จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ pH เข้าใกล้ความเป็นกลาง ดังนั้นการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มจึงควรมี pH เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย (6.0 – 7.5) โดยจากการทดลองครั้งนี้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นที่สูงที่สุดคือที่ pH 6 เท่ากับร้อยละ 83.54 ที่ความเข้มข้นของสารส้ม 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

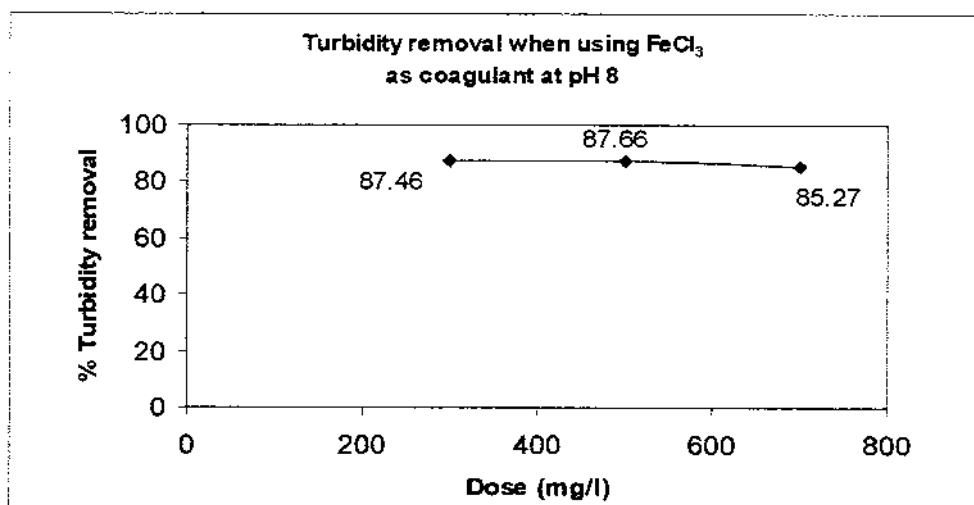
4.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนภายหลังบำบัดโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทส

ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนภายหลังบำบัดโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทสแสดงผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน

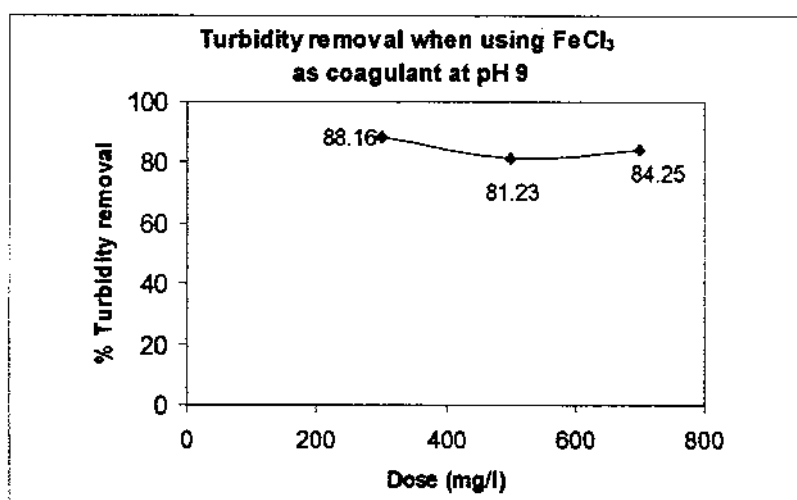
สารรวม ตะกอน (Coagulant)	pH ทดลอง	pH หลังบำบัด	ความเข้มข้น ของสาร รวมตะกอน (Dose) (mg/l)	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่น หลังบำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
FeCl_3	8	6.70	300		1.013	87.46
		4.70	500	8.08	0.997	87.66
		2.43	700		1.190	85.27
	9	7.23	300		0.957	88.16
		6.13	500	8.08	1.517	81.23
		2.83	700		1.273	84.25
	10	7.73	300		1.753	78.30
		7.00	500	8.08	0.747	90.75
		5.53	700		0.877	89.15

จากตารางที่ 4.4 พบว่าที่ pH 8 ความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัดความขุ่นได้สูงสุดร้อยละ 87.66 ส่วนที่ pH 9 ความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร บำบัดความขุ่นได้สูงสุดร้อยละ 88.16 และที่ pH 10 ความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัดความขุ่นได้สูงสุดร้อยละ 90.75



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8

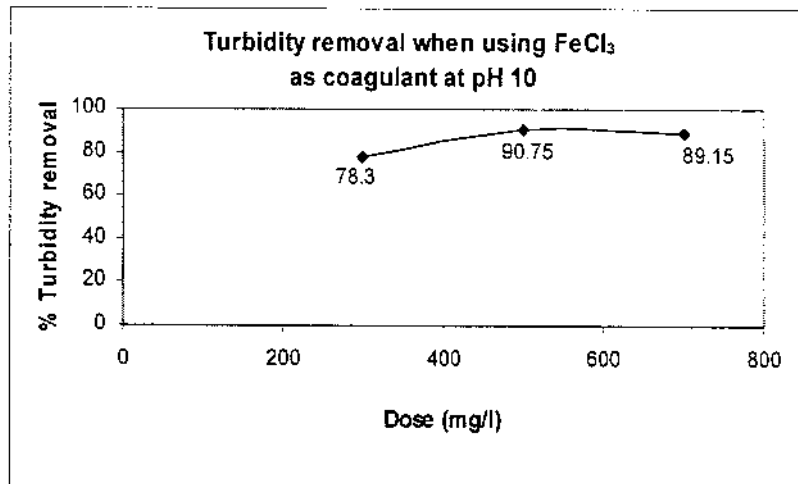
จากภาพที่ 4.10 พบว่าที่ pH 8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่แตกต่างกันเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 87.46, 87.66 และ 85.27 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 9

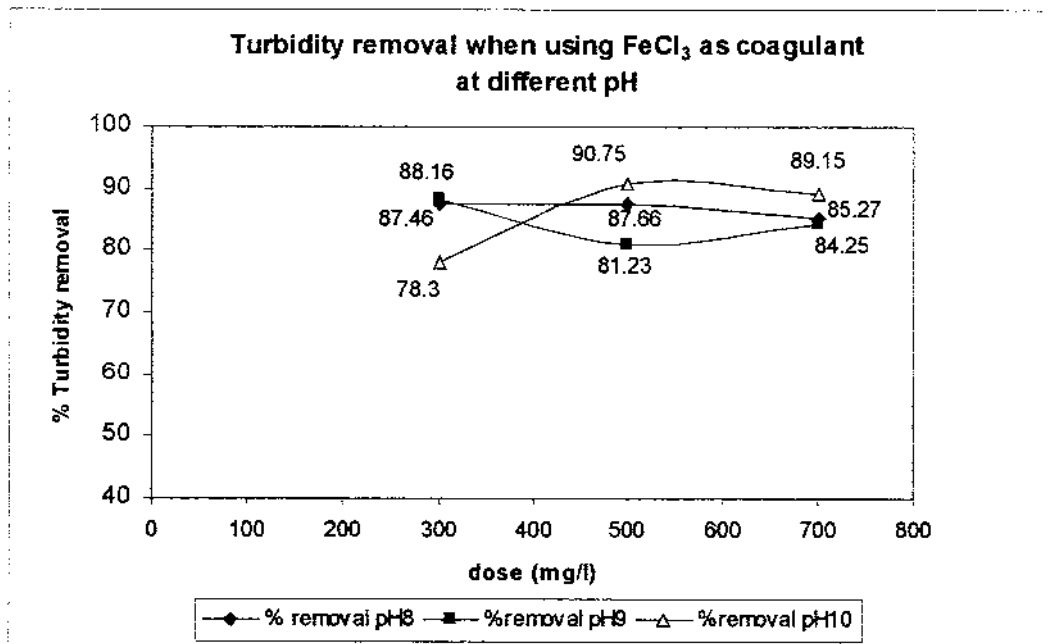
จากภาพที่ 4.11 พบว่าพบว่าที่ pH 9 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการ

บำบัดความขุ่น ร้อยละ 88.16 และ 81.23 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นเป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ร้อยละ 84.25



ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 10

จากภาพที่ 4.12 พบว่าที่ pH 10 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะเพิ่มขึ้นจากระดับความเข้มข้นของ FeCl_3 ตั้งแต่ 300 ถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ ร้อยละ 78.3 และ 90.75 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ร้อยละ 89.15



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน

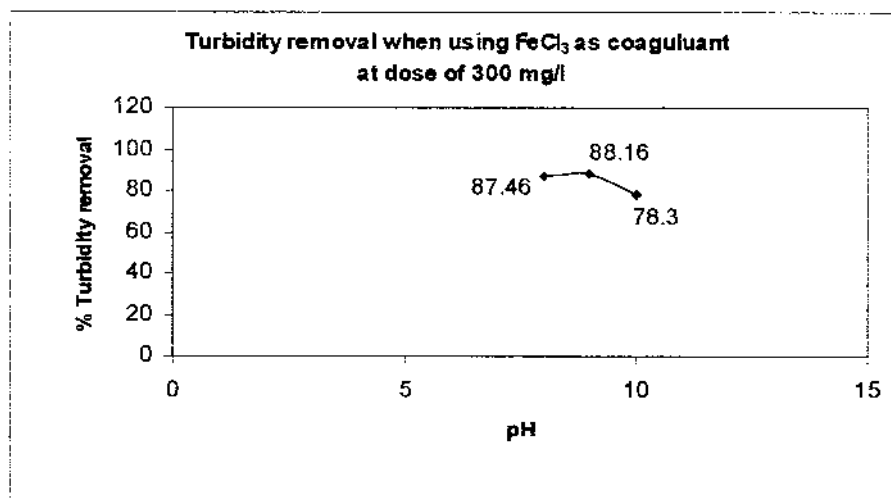
จากภาพที่ 4.13 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ซึ่งมีค่าความขุ่นก่อนการบำบัดเท่ากับ 8.08 NTU ดังตารางที่ 4.6 พบว่าที่ pH 8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 9 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 และประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มจาก 500 เป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 10 เมื่อความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์เพิ่มจาก 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนแต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน

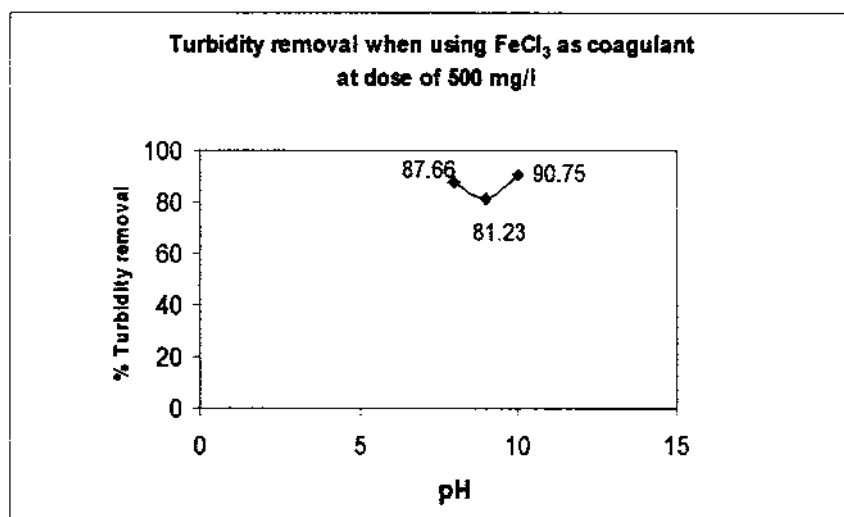
สารรวม ตะกอน (Coagulant)	ความเข้มข้น ของสารรวม ตะกอน (Dose) (mg/l)	pH ทดลอง	pH หลังบำบัด	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่น หลังบำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
FeCl_3	300	8	6.7		1.013	87.46
		9	7.23	8.08	0.957	88.16
		10	7.73		1.753	78.30
	500	8	4.70		0.997	87.66
		9	6.13	8.08	1.517	81.23
		10	7.00		0.747	90.75
	700	8	2.43		1.190	85.27
		9	2.83	8.08	1.273	84.25
		10	5.53		0.877	89.15

จากตารางที่ 4.5 พบว่าที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 9 เท่ากับ ร้อยละ 88.16 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 10 เท่ากับ ร้อยละ 90.75 และที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 10 เท่ากับ ร้อยละ 89.15



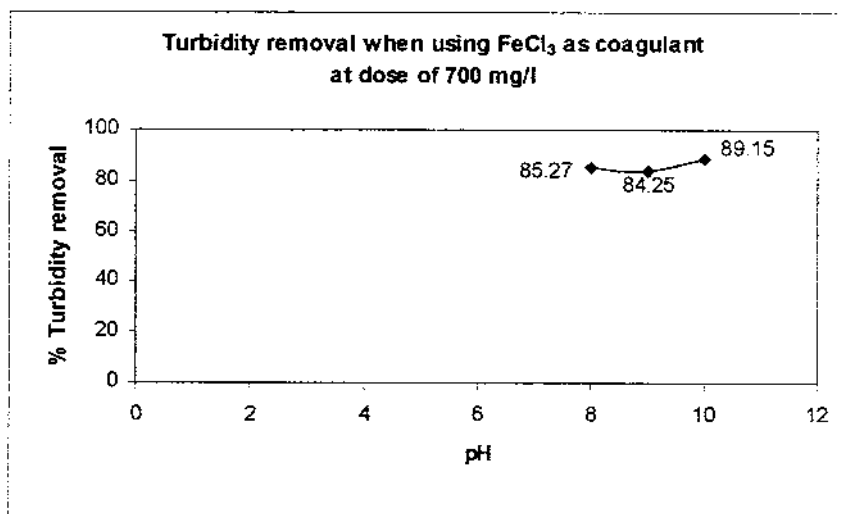
ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.14 พบว่าที่ความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น ร้อยละ 87.46 และ 88.16 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 10 คือ ร้อยละ 78.3



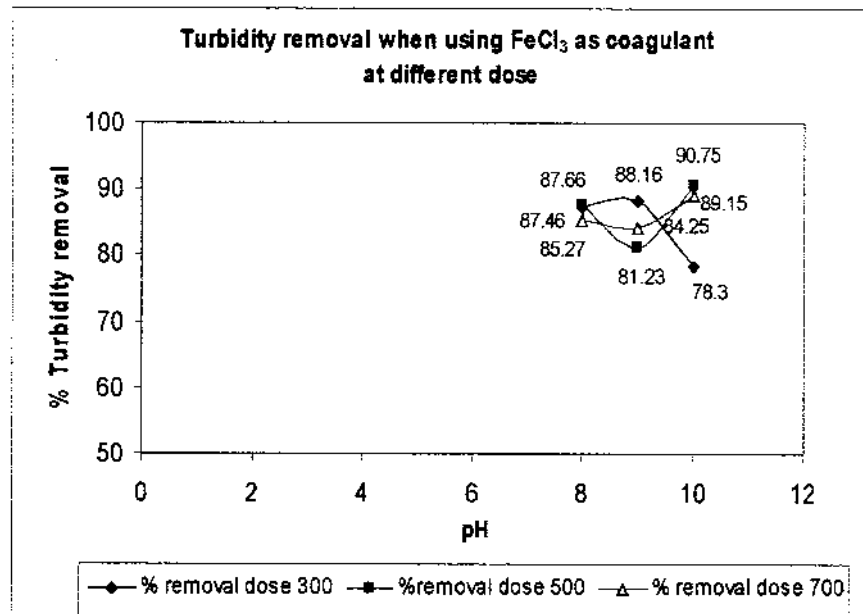
ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.15 พบว่าที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 คือ ร้อยละ 87.66 และ 81.23 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มเป็น 10 คือ ร้อยละ 90.75



ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl₃ ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.16 พบว่าที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นร้อยละ 85.27, 84.25 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 89.15 เมื่อค่า pH เพิ่มจาก 9 เป็น 10



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.17 พบว่าที่สภาวะความเข้มข้น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตรมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 แต่ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เท่ากับ 10 ส่วนที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อ pH เท่ากับ 10

เมื่อนำค่าความขุ่นภายหลังการบำบัดมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way Analysis of Variance เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความขุ่นพร้อมกันทุกกลุ่ม (Within Group) ของปัจจัย pH หรือปัจจัยความเข้มข้นของ FeCl_3 พบว่า ค่าความขุ่นภายหลังบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความขุ่นภายหลังบำบัดเปลี่ยนแปลงไป

ทั้งนี้โดยภาพรวมอธิบายได้ว่า ที่ pH 8 ความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์เพิ่มจาก 300 เป็น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น เนื่องจากความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นน้อยมาก ส่วนที่ pH 9 ในช่วงแรกที่มีความเข้มข้น 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สันนิษฐานว่า เกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพประจุคอลลอยด์เพื่อให้เกิด Charge Neutralization โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นที่ 300 mg/l ทำให้ประจุบวกของ Fe^{3+} ไปเสถียรประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ และเกาะติดบนผิวของอนุภาค ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกตะกอนได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นที่ 500 mg/l สันนิษฐานว่ากลไกการเกิดโคแอกกูเลชันยังเป็นกลไกทำลายประจุ (Destabilization Mechanism) เพียงกลไกเดียวจึง

ส่งผลให้อนุภาคคอลลอยด์กลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง รวมทั้งปริมาณ OH^- ที่ pH 9 มีมากอยู่แล้วยังส่งผลให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุลบของคอลลอยด์กับ OH^- ทำให้ประจุบวกจาก FeCl_3 ไปลดเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้น้อยลง แต่เมื่อเติม FeCl_3 ที่ความเข้มข้น 700 mg/l สันนิษฐานว่าเกิดกลไกการรวมกลุ่มตะกอน (Sweep Coagulation) กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นเป็น 700 mg/l มีแนวโน้มที่โครงสร้างของผลึกจะเปิด (Structure Opening) จึงสามารถล้อมจับหรือห่อหุ้มคอลลอยด์เอาไว้ได้ กากตะกอนจึงตกลงมาได้มากขึ้น จึงส่งผลให้กำจัดความขุ่นได้มากขึ้น แต่ที่ pH เท่ากับ 10 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นกลับมีแนวโน้มสวนทางกับสภาวะทดลองที่ pH 9 โดยความเข้มข้นของ FeCl_3 มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจะทำให้ Polymeric Hydroxy Complex ซึ่งเป็นอนุผลของเหล็กไฮดรอกไซด์ เช่น $[\text{Fe}_3(\text{OH})_4]^{5+}$ สูงขึ้นด้วยซึ่งจะมีประจุตรงข้ามกับสารแขวนลอยในระบบของคอลลอยด์ซึ่งส่วนใหญ่จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ดังนั้น FeCl_3 ซึ่งมีประจุบวกสูงจึงมีประสิทธิภาพในการลดสารคอลลอยด์ต่างๆ ได้ดีและไอออนคอมเพล็กซ์ของสารประกอบเหล็กชนิดต่างๆ ยังสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์และทำลายประจุลบของคอลลอยด์ทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและพร้อมที่จะรวมตัวกันหลาย ๆ อนุภาคจนกลายเป็นฟล็อก (มันสิน ดันทุลเวศน์, 2537: 164) เมื่อมีน้ำหนักรวมมากขึ้นจะเกิดตะกอนแยกออกมาในที่สุด โดยจากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและที่สภาวะทดลองโดยความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเพียงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าแทบไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามเฟอริคคลอไรด์สามารถตกตะกอนได้ดีพอๆ กันเนื่องจากเฟอริคคลอไรด์ตกตะกอนได้ดีในช่วง pH 7.0 – 9.5 (วิโรจน์ ทรัพย์สัตย์, 2544: 74)

และเมื่อกระบวนการโคเอกูเลชันสิ้นสุดลงจะสังเกตได้ว่าค่า pH หลังบำบัดลดลงในทุกสภาวะทดลอง ทั้งนี้เกิดขึ้นจากเมื่อเติม FeCl_3 ลงในน้ำเสียจะได้ตะกอนของ เฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) และกรดคาร์บอนิกทำให้น้ำมี pH ลดลง ดังสมการ



4.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte) จากบริษัท NALCO คือ OPTIMER 9916 เป็นสารรวมตะกอนภายหลังบำบัดโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทส

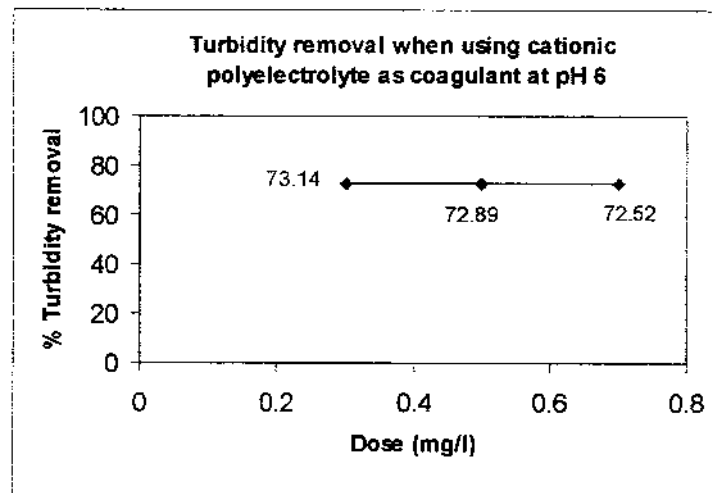
ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte) จากบริษัท NALCO คือ OPTIMER 9916 เป็นสารรวมตะกอนภายหลังบำบัดโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทสแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte) เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน

สารรวมตะกอน (Coagulant)	pH ทดลอง	pH หลังบำบัด	ความเข้มข้น ของสารรวม ตะกอน (Dose) (mg/l)	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่น หลังบำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
Cationic Polyelectrolyte	6	6.80	0.3		2.170	73.14
		6.90	0.5	8.08	2.187	72.89
		7.03	0.7		2.217	72.52
	7	7.73	0.3		1.790	77.85
		7.73	0.5	8.08	1.670	79.33
		7.83	0.7		2.297	71.57
	8	8.37	0.3		2.457	69.59
		8.40	0.5	8.08	2.277	71.82
		8.40	0.7		3.060	62.13

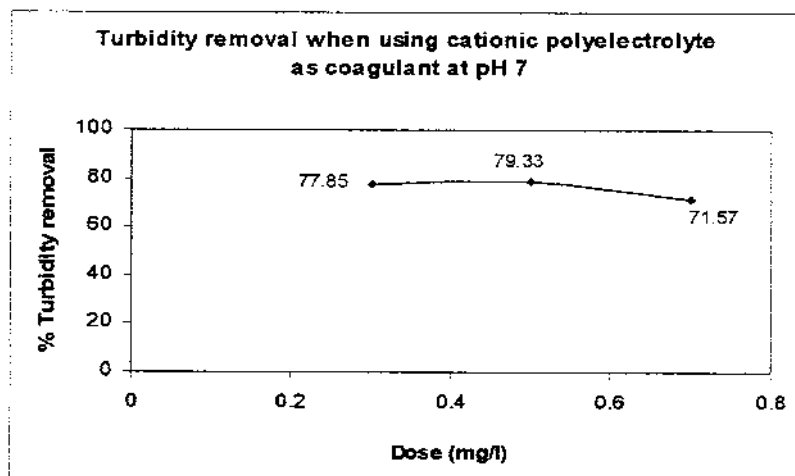
จากตารางที่ 4.6 พบว่าที่ pH 6 ความเข้มข้นของสาร Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 73.14 ส่วนที่ pH 7 ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการ

บำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 79.33 และที่ pH 8 ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 71.82



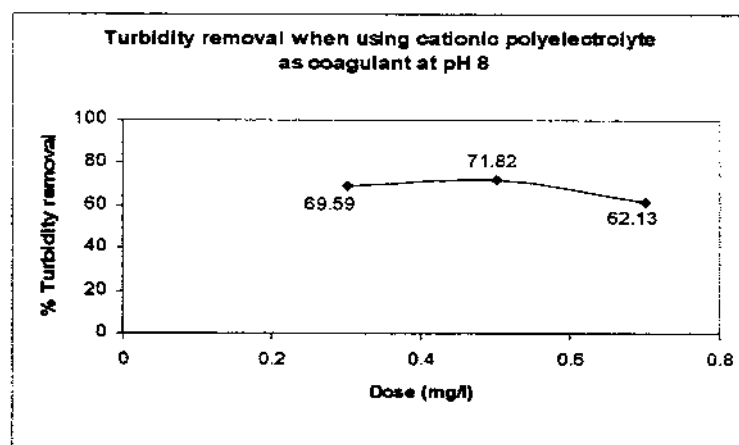
ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 6

จากภาพที่ 4.18 พบว่าที่ pH 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นหลังบำบัดแทบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นจาก 0.3 เป็น 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นร้อยละ 73.14, 72.89 และ 72.52 ตามลำดับ



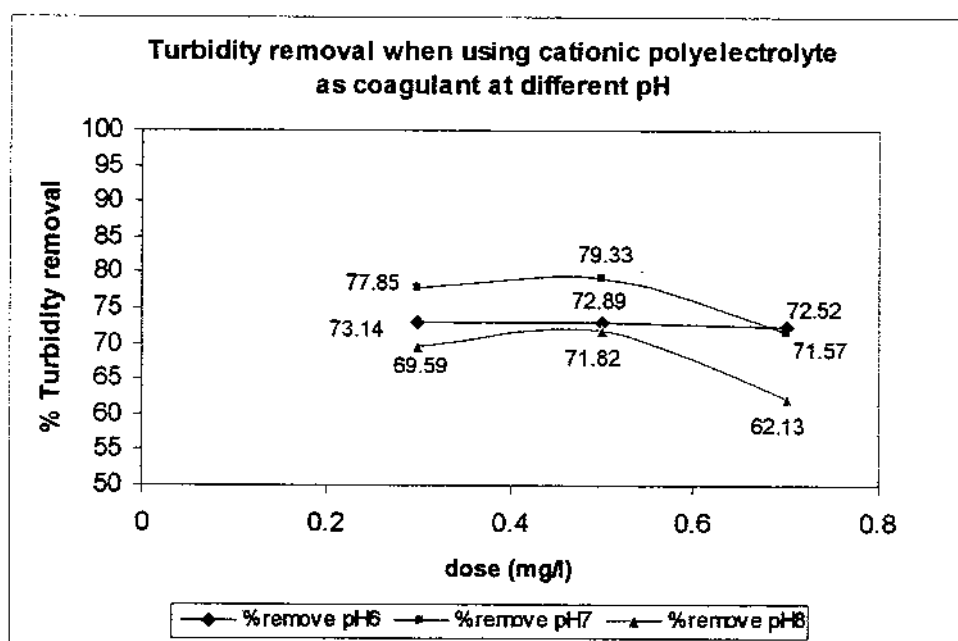
ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 7

จากภาพที่ 4.19 พบว่าที่ pH 7 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 0.3 เป็น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลง คือ ร้อยละ 77.85 และ 79.33 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 71.57 เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8

จากภาพที่ 4.20 พบว่าที่ pH 8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นจาก เริ่มต้น 0.3 เป็น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ร้อยละ 69.59 และ 71.82 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพ การบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นเป็น 0.7 มิลลิกรัม ต่อลิตร คือ ร้อยละ 62.13



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน

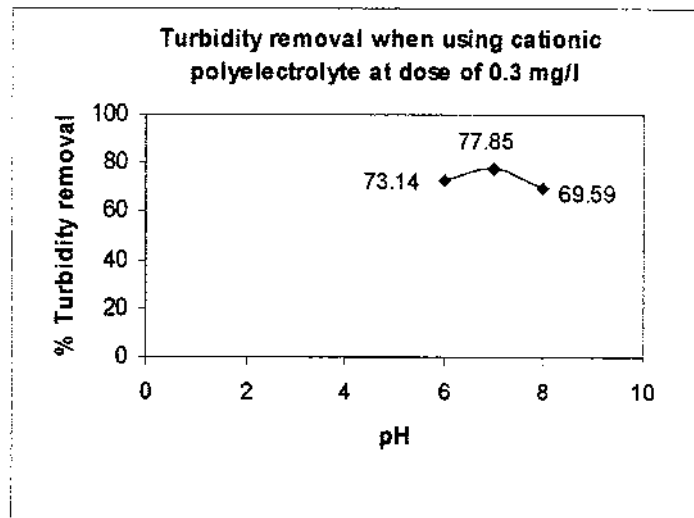
จากภาพที่ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ซึ่งมีค่าความขุ่นก่อนการบำบัดเท่ากับ 8.08 NTU พบว่า ที่ค่า pH 6 ประสิทธิภาพในการบำบัด ความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของสารรวมตะกอน Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้น ที่ช่วง pH 7 และ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นเริ่มต้น 0.3 เป็น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัด ความขุ่นลดลงจากเดิมเมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นที่ดีที่สุดคือที่ pH 7 ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียเท่ากับ ร้อยละ 79.33

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่สภาวะความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

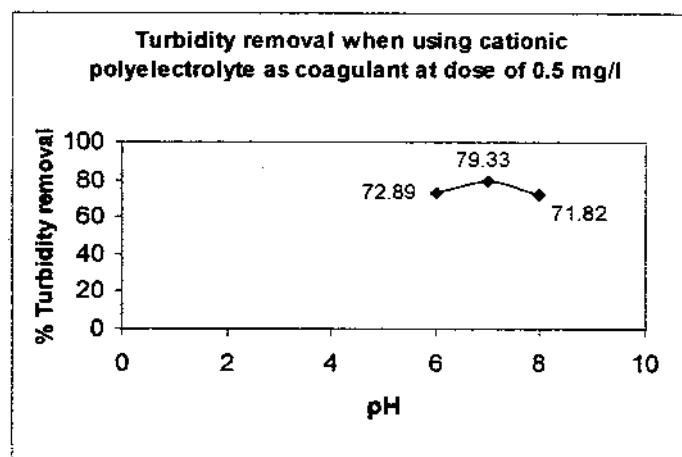
สารรวมตะกอน (Coagulant)	ความเข้มข้น ของสารรวม ตะกอน (Dose) (mg/l)	pH ทดลอง	pH หลัง บำบัด	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่น หลังบำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
Cationic Polyelectrolyte	0.3	6	6.80		2.170	73.14
		7	7.73	8.08	1.790	77.85
		8	8.37		2.457	69.59
	0.5	6	6.90		2.187	72.89
		7	7.73	8.08	1.670	79.33
		8	8.40		2.277	71.82
	0.7	6	7.03		2.217	72.52
		7	7.83	8.08	2.297	71.57
		8	8.40		3.060	62.13

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ที่ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 7 เท่ากับ ร้อยละ 77.85 ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 7 เท่ากับ ร้อยละ 79.33 และที่ความเข้มข้น 0.7 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 6 เท่ากับ ร้อยละ 72.52



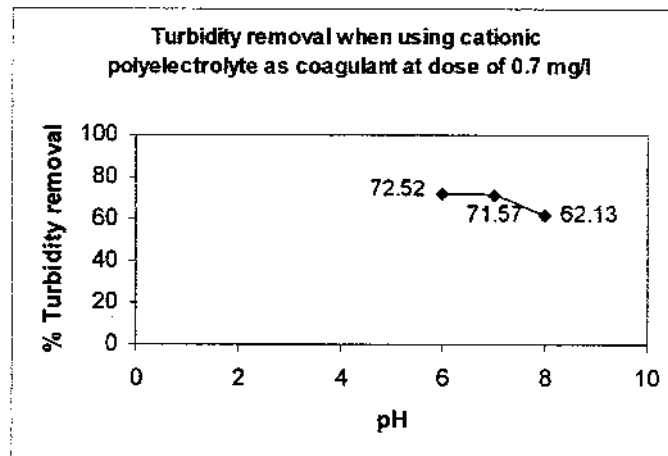
ภาพที่ 4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.22 พบว่าที่ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น จาก 6 เป็น 7 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 73.14, 77.85 และ 69.59 ตามลำดับ



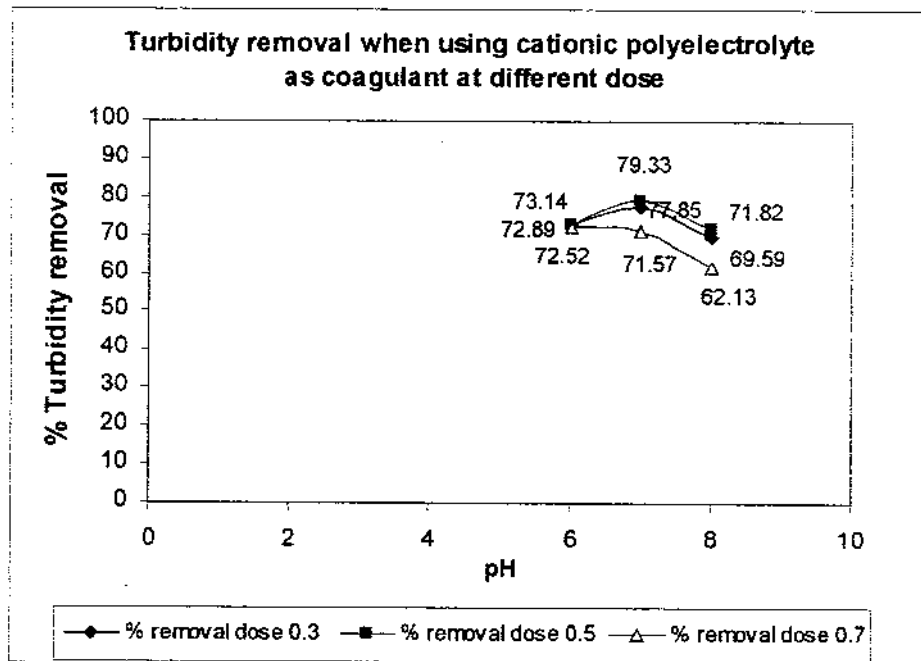
ภาพที่ 4.23 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.23 พบว่าที่ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น จาก 6 เป็น 7 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 72.89, 79.33 และ 71.82 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.24 พบว่าที่ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 72.52 และ 71.57 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลง เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 8 โดยประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 62.13



ภาพที่ 4.25 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.25 พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพความขุ่นจะลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 ส่วนที่ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 และความขุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 8

เมื่อนำค่าความขุ่นภายหลังการบำบัดมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way Analysis of Variance เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความขุ่นหลังบำบัดพร้อมกันทุกกลุ่ม (Within Group) ของปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte พบว่า ค่าความขุ่นภายหลังที่ผ่านการบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความขุ่นภายหลังบำบัดเปลี่ยนแปลงไป

ทั้งนี้จากผลการทดลองโดยภาพรวมอธิบายได้ว่า ที่ pH 7 และ pH 8 ความเข้มข้นของสาร Cationic Polyelectrolyte (OPTIMER 9916) มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น กล่าวคือ โพลีเมอร์จะสร้างโคแอกกูแลชันให้กับน้ำขุ่นโดยคุณสมบัติในการเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ อาจเป็นการเสถียรประจุของอนุภาคคอลลอยด์ประจุลบด้วยโพลีเมอร์ที่มีประจุบวกทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์หมดสิ้นไปหรือโดยอาศัยสารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลาย ๆ ตัว (Polymer Bridging) ตามทฤษฎีกล่าวว่า โมเลกุลของสารโพลีเมอร์ สามารถเกาะติด

บนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง ซึ่งการเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ รวมทั้งอนุภาคที่มีสารโพลีเมอร์เกาะติดอยู่จะมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) โดยอนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่อ (มันสิน ตันกุลเวศน์, 2537: 159) ทำให้เกิดเป็นกลุ่มฟล็อกขนาดใหญ่และหนักขึ้นจึงตกตะกอนลงมาในที่สุด โดยที่ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดหรืออาจเรียกได้ว่า ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ Oimum Dse ของ Cationic Polyelectrolyte แต่ในบางสภาวะการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้นเป็น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลง ทั้งนี้ สันนิษฐานได้ว่า การเกาะหรือจับตัวกันของอนุภาคโดยมีสารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมจะเกิดขึ้นได้ทราบเท่าที่มีสารโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวของอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่จะเกาะจับบนอนุภาคอื่นๆ ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่นและมีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่างจะอยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่หรือที่เรียกว่า สภาวะ Restabilized Particle (มันสิน ตันกุลเวศน์, 2537: 161) ดังนั้นการใช้สาร Cationic Polyelectrolyte ที่มากเกินไปหรือที่เรียกว่า Over Optimum Dose จึงทำให้การตกตะกอนของฟล็อกเกิดขึ้นได้น้อยลง

ส่วนที่ pH 6 ความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องแต่ลดลงในช่วงแคบๆหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่แตกต่างกัน สันนิษฐานได้ว่า ที่ pH เท่ากับ 6 เกิดสภาวะการแข่งขันของไฮโดรเจนไอออนกับ Cationic Polyelectrolyte และยังทำให้ผิวของคอลลอยด์บางส่วนมีประจุบวกด้วยจึงทำให้ Cationic Polyelectrolyte จับกับอนุภาคคอลลอยด์ได้น้อยลง

นอกจากนั้นจากผลการทดลองพบว่า pH หลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการทดลอง เมื่อเติม Cationic Polyelectrolyte ทั้งนี้สันนิษฐานได้ว่า โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกที่ใช้มีส่วนประกอบของ Acrylamide Co-Polymer ซึ่งในโครงสร้างโมเลกุลดังกล่าวประกอบไปด้วยหมู่ Primary Amine (NH_2) ที่แขนของโพลีเมอร์ เมื่อเติมสารโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกลงในตัวอย่างน้ำเสียที่ pH ค่าต่างๆ จะเกิดการแตกตัวของหมู่ Primary Amine (NH_2) และการแตกตัวออกมานี้จะดึง H^+ ออกจากน้ำแล้วรวมตัวกันเป็น NH_3 ทำให้เหลือหมู่ OH^- ส่งผลให้ค่า pH หลังกระบวนการโคแอกกูเลชันมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของหรือปริมาณของโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก

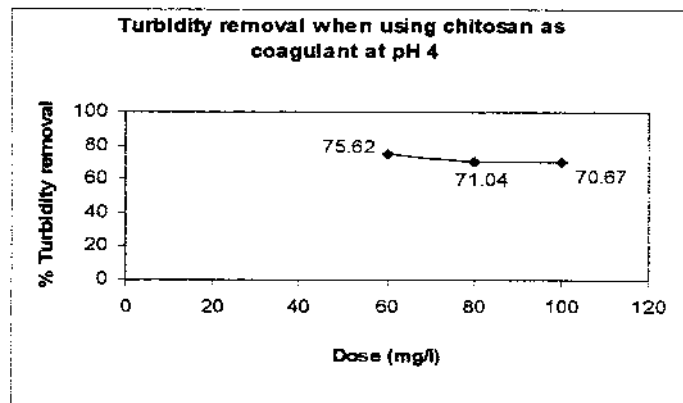
4.2.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้ Micronized Chitosan จากบริษัท ELAND Corporation จำกัด เป็นสารรวมตะกอน ภายหลังบำบัดโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทส

ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นออกจากตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ (Turbidity Removal) เมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนภายหลังบำบัดโดยประยุกต์ใช้หลักการจาร์เทส แสดงผลได้ดัง ตารางที่ 4. 8

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัย pH แตกต่างกัน

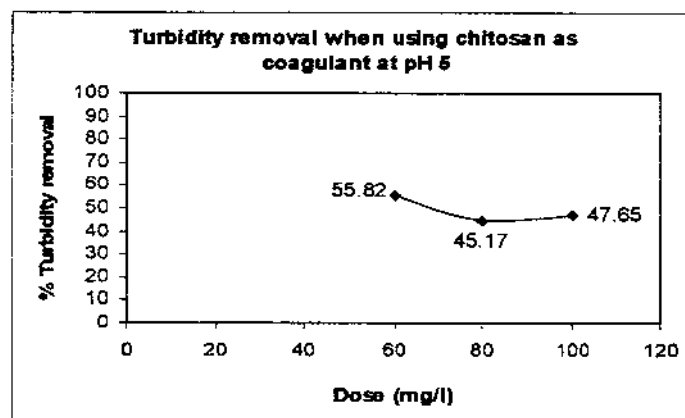
สารรวม ตะกอน (Coagulant)	pH ทดลอง	pH หลัง บำบัด	ความเข้มข้น ของสารรวม ตะกอน (Dose) (mg/l)	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity before treated) (NTU)	ความขุ่น หลังบำบัด (Turbidity after treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
Micronized Chitosan	4	4.33	60		1.973	75.62
		4.30	80	8.08	2.343	71.04
		4.33	100		2.370	70.67
	5	4.60	60		3.567	55.82
		4.67	80	8.08	4.433	45.17
		4.67	100		4.233	47.65
	6	6.33	60		1.267	84.28
		5.97	80	8.08	2.100	74.00
		6.00	100		3.333	58.79

จากตารางที่ 4.8 พบว่าที่ pH 4 ความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 75.62 ส่วนที่ pH 5 มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 55.82 โดยความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ pH 6 ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 84.28



ภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ที่ pH เท่ากับ 4

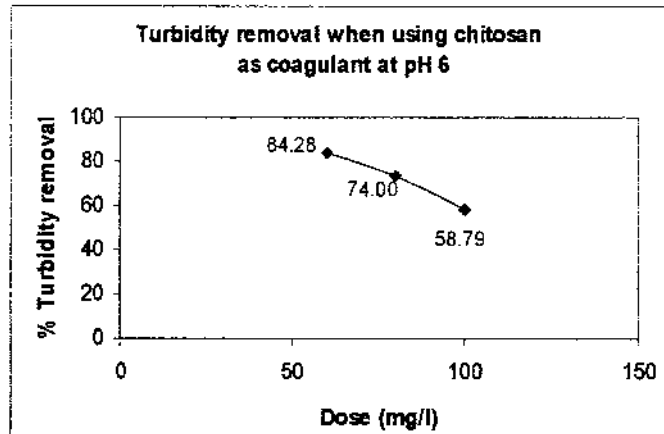
จากภาพที่ 4.26 พบว่า ที่ pH 4 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 60 เป็น 80 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 75.62, 71.04 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มจาก 80 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ร้อยละ 70.67



ภาพที่ 4.27 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ที่ pH เท่ากับ 5

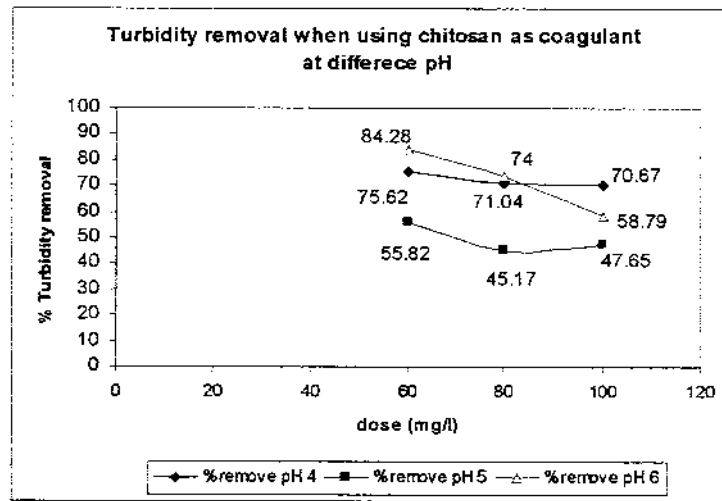
จากภาพที่ 4.27 พบว่าที่ pH 5 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อปริมาณหรือความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 55.82 และ 45.16 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่แตกต่างเมื่อความเข้มข้นของ

Micronized Chitosan เพิ่มจาก 80 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 47.65



ภาพที่ 4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6

จากรูป 4.28 พบว่าที่ pH 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 60 เป็น 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 84.28, 74.00 และ 58.79 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.29 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน

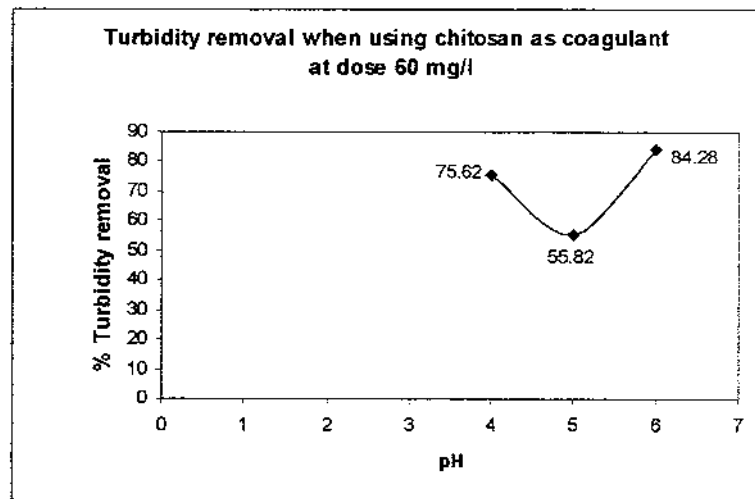
จากภาพที่ 4.29 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นในตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ซึ่งมีค่าความขุ่นก่อนการบำบัดเท่ากับ 8.08 NTU พบว่าในช่วง pH 4 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 80 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือไม่แตกต่างจากประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 5 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 60 เป็น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าไม่แตกต่างเมื่อความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มจาก 80 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 6 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณของสาร Micronized Chitosan เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกันมีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน

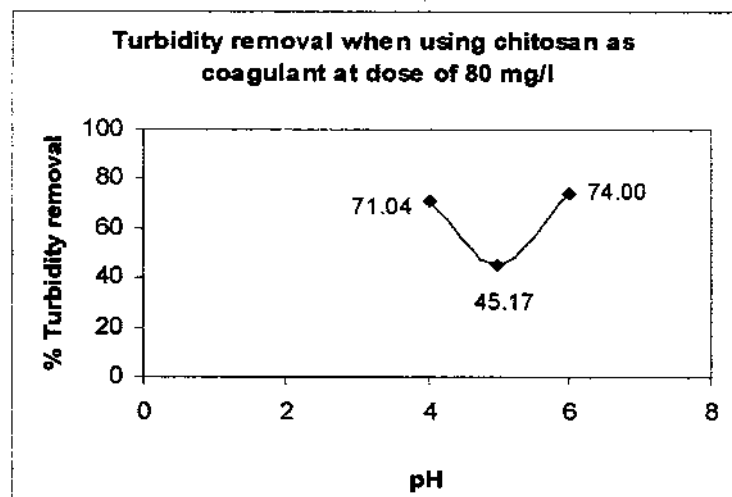
สารรวม ตะกอน (Coagulant)	ความเข้มข้น ของสารรวม ตะกอน (Dose) (mg/l)	pH ทดลอง	pH หลัง บำบัด	ความขุ่น ก่อนบำบัด (Turbidity Before Treated) (NTU)	ความขุ่นหลัง บำบัด (Turbidity After Treated) (NTU)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ความขุ่น (Turbidity Removal) (%)
Micronized Chitosan	60	4	4.33		1.973	75.62
		5	4.60	8.08	3.567	55.82
		6	6.33		1.267	84.28
	80	4	4.30		2.343	71.04
		5	4.67	8.08	4.433	45.17
		6	5.97		2.100	74.00
	100	4	4.33		2.370	70.67
		5	4.67	8.08	4.233	47.65
		6	6.00		3.333	58.79

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ที่ความเข้มข้นของ Micronized Chitosan เท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 6 เท่ากับ ร้อยละ 84.28 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดที่ pH 6 เท่ากับ ร้อยละ 74.00 และที่ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ pH 4 เท่ากับ ร้อยละ 70.67



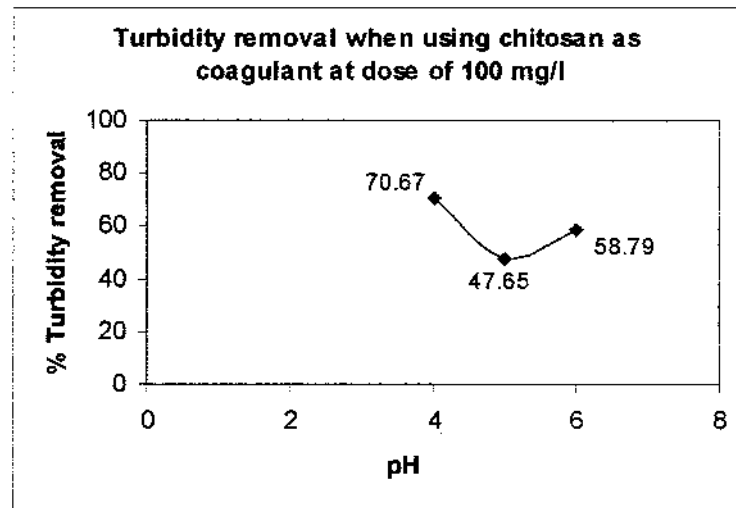
ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.30 พบว่าที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 5 แต่เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นสูงมาก โดยประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของแต่ละ pH เท่ากับ ร้อยละ 75.62, 55.82 และ 84.28 ตามลำดับ



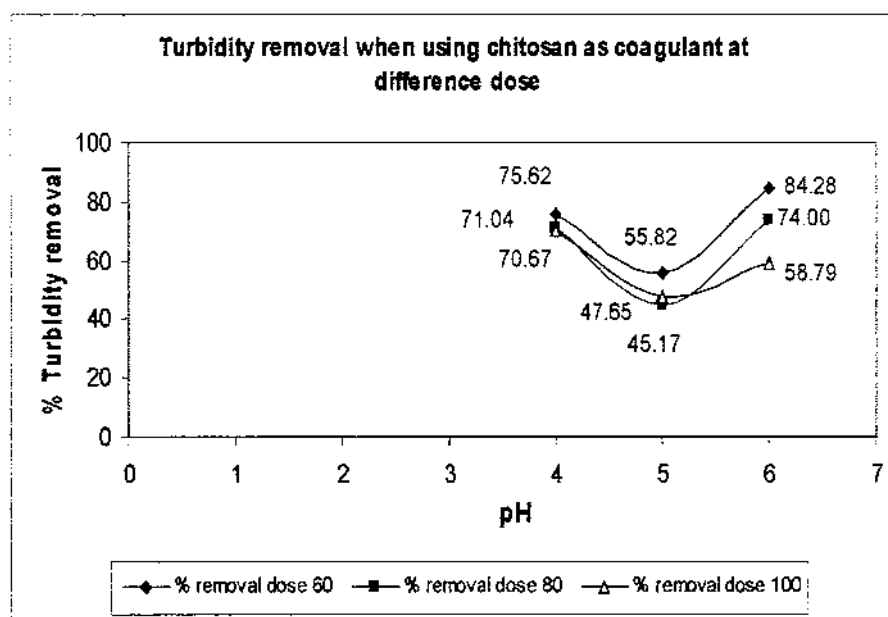
ภาพที่ 4.31 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.31 พบว่าที่ความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงมากเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 5 แต่เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นกลับเพิ่มขึ้นสูงมาก โดยประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของแต่ละ pH เท่ากับ ร้อยละ 71.04, 45.17 และ 74.00 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.32 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.32 พบว่าที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 5 แต่เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของแต่ละ pH เท่ากับ ร้อยละ 70.67, 47.65 และ 58.79 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.33 พบว่าทุกๆ ปัจจัยความเข้มข้น มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น 4 เป็น 5 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มเป็น 6 ตามลำดับ

เมื่อนำค่าความขุ่นภายหลังบำบัดมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ One Way Analysis of Variance มาทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความขุ่นภายหลังบำบัดพร้อมกันทุกกลุ่ม (Within Group) ของปัจจัย pH หรือปัจจัยความเข้มข้นของ Micronized Chitosan พบว่า ที่ปัจจัย pH ค่าความขุ่นภายหลังบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) ส่วนปัจจัยความเข้มข้นของค่าความขุ่นภายหลังบำบัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความขุ่นภายหลังบำบัดเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองโดยภาพรวมอธิบายได้ว่า ทฤษฎีกลไกกระบวนการโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนมีสองขั้นคือ ในขั้นตอนแรก Micronized Chitosan ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ประจุบวกจะเกาะติดกับอนุภาคมลสารหรือคอลลอยด์ที่มีประจุลบซึ่งถือว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ อนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้วสามารถจับเกาะกับอนุภาคอื่นๆ ได้โดยใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่ออนุภาค (Polymer-Bridging) ซึ่งสามารถยึดติดผิวอนุภาคของมลสารได้เพราะ Micronized Chitosan เป็นโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่สามารถใช้เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคของมลสาร

หรือคอลลอยด์ได้ รวมทั้งสะพานนั้นยังมีความแข็งแรงและสามารถต้านทานแรงผลักระหว่างอนุภาคและความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนน้ำได้ด้วย นอกจากนั้นค่า pH ยังมีอิทธิพลที่สำคัญกับความหนาแน่นของประจุ Micronized Chitosan ด้วย

จากผลการทดลองอธิบายได้ว่า ทุกๆปัจจัยความเข้มข้นของ Micronized Chitosan ค่า pH มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น กล่าวคือ ประสิทธิภาพการเกิดฟล็อกหรือการเกิดโคแอกกูเลชันของ Micronized Chitosan มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อ pH มีค่าเพิ่มมากขึ้น จาก 4 เป็น 5 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ El-Manuoni และคณะ (1998) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของ Micronized Chitosan พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของ Micronized Chitosan ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก ร้อยละ 95 เป็น ร้อยละ 72 เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 7 แต่ในบางสภาวะการทดลองนี้ พบว่าเมื่อ pH สูงขึ้นจาก 5 เป็น 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นกลับเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปัจจัยความเข้มข้น ทั้งนี้ในสภาวะที่เป็นกรด (Low pH) จำนวนโปรตอนของหมู่เอมีน (Amine Group) ของ Micronized Chitosan จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังนั้นที่ pH 5 ซึ่งมีจำนวนโปรตอนของหมู่เอมีนมากอยู่แล้ว เมื่อเติมความเข้มข้นของ Micronized Chitosan ลงไปจึงส่งผลให้เกิด Charge Neutralization ลดลง หรือประจุลบของคอลลอยด์จับกับประจุบวกได้น้อยลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลง แต่เมื่อเพิ่ม pH เป็น 6 ปริมาณ OH^- สูงขึ้นจึงสันนิษฐานได้ว่า OH^- และอนุภาคคอลลอยด์สามารถเกาะจับ หรือดูดติดกับประจุบวกของ Micronized Chitosan และยึดเกาะบนสายโพลีเมอร์ได้มากขึ้น จึงเกิดการรวมตัวเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ขึ้น และกวาดจับตะกอนจนตกลงมาได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น

4.3 อัตราเร็วในการตกตะกอน

ผลการศึกษาอัตราเร็วการตกตะกอนพิจารณาจากการพล็อตกราฟระหว่างความสูงของกาก (h) จากด้านล่างสุดของกระบอกทรงหรือระยะที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) ณ เวลาต่างๆ (t) ที่ใช้ในการตกตะกอนและพิจารณาประสิทธิภาพอัตราเร็วการตกตะกอนจากอัตราเร็วในการตกตะกอนสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและหาอัตราเร็วเฉลี่ยได้จากความชันของกราฟหรือจากสูตร

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

ตัวอย่างการหาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยแสดงในภาคผนวก จ
โดยผลการทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเป็นดังต่อไปนี้

หรือคอลลอยด์ได้ รวมทั้งสะพานนั้นยังมีความแข็งแรงและสามารถต้านทานแรงผลักระหว่างอนุภาคและความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการกวนน้ำได้ด้วย นอกจากนั้นค่า pH ยังมีอิทธิพลที่สำคัญกับความหนาแน่นของประจุ Micronized Chitosan ด้วย

จากผลการทดลองอธิบายได้ว่า ทุกๆปัจจัยความเข้มข้นของ Micronized Chitosan ค่า pH มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น กล่าวคือ ประสิทธิภาพการเกิดฟล็อกหรือการเกิดโคแอกกูเลชันของ Micronized Chitosan มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อ pH มีค่าเพิ่มมากขึ้น จาก 4 เป็น 5 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ El-Manuoni และคณะ (1998) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของ Micronized Chitosan พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของ Micronized Chitosan ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก ร้อยละ 95 เป็น ร้อยละ 72 เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 7 แต่ในบางสภาวะการทดลองนี้ พบว่าเมื่อ pH สูงขึ้นจาก 5 เป็น 6 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นกลับเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปัจจัยความเข้มข้น ทั้งนี้ในสภาวะที่เป็นกรด (Low pH) จำนวนโปรตอนของหมู่เอมีน (Amine Group) ของ Micronized Chitosan จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังนั้นที่ pH 5 ซึ่งมีจำนวนโปรตอนของหมู่เอมีนมากอยู่แล้ว เมื่อเติมความเข้มข้นของ Micronized Chitosan ลงไปจึงส่งผลให้เกิด Charge Neutralization ลดลง หรือประจุลบของคอลลอยด์จับกับประจุบวกได้น้อยลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นลดลง แต่เมื่อเพิ่ม pH เป็น 6 ปริมาณ OH^- สูงขึ้นจึงสันนิษฐานได้ว่า OH^- และอนุภาคคอลลอยด์สามารถเกาะจับ หรือดูดติดกับประจุบวกของ Micronized Chitosan และยึดเกาะบนสายโพลีเมอร์ได้มากขึ้น จึงเกิดการรวมตัวเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ขึ้น และกวาดจับตะกอนจนตกลงมาได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น

4.3 อัตราเร็วในการตกตะกอน

ผลการศึกษาอัตราเร็วการตกตะกอนพิจารณาจากการพล็อตกราฟระหว่างความสูงของกาก (h) จากด้านล่างสุดของกระบอกทรงหรือระยะที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) ณ เวลาต่างๆ (t) ที่ใช้ในการตกตะกอนและพิจารณาประสิทธิภาพอัตราเร็วการตกตะกอนจากอัตราเร็วในการตกตะกอนสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและหาอัตราเร็วเฉลี่ยได้จากความชันของกราฟหรือจากสูตร

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

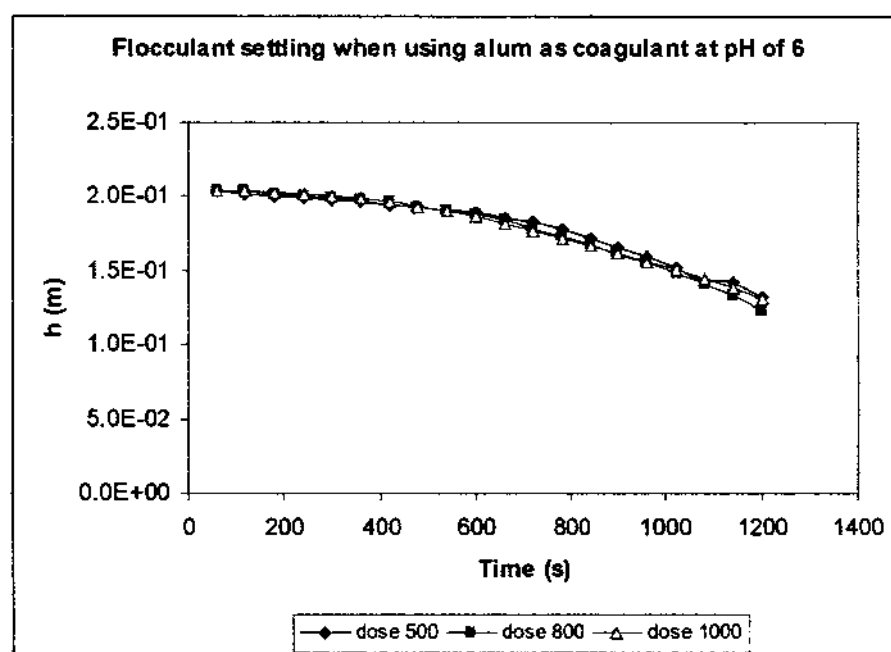
ตัวอย่างการหาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยแสดงในภาคผนวก จ
โดยผลการทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเป็นดังต่อไปนี้

4.3.1 การหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอน

การหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารรวมตะกอนแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 และแนวโน้มหรือทิศทางในการตกตะกอนของ Flocculant แสดงได้ ดังภาพที่ 4.34 ถึง ภาพที่ 4.36

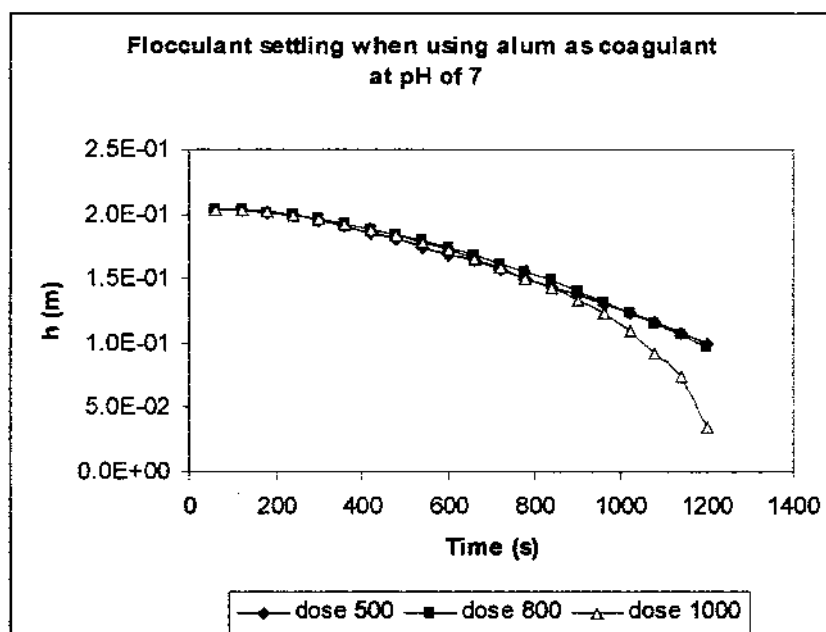
ตารางที่ 4.10 อัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ($\times 10^{-4}$ m/s)				
pH	Dose (mg/l)			
	500	800	1000	
6	0.60	0.69	0.65	
7	0.94	0.95	1.27	
8	1.56	1.32	1.25	



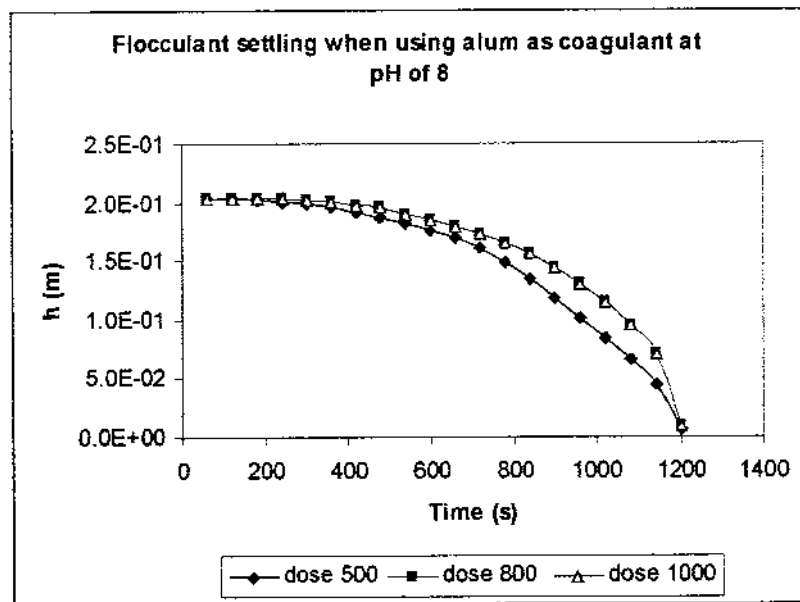
ภาพที่ 4.34 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6

จากภาพที่ 4.34 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิธีโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 6 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยใกล้เคียงกันมากหรือไม่แตกต่างกันคือ 0.60×10^{-4} 0.65×10^{-4} และ 0.60×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 800 1,000 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.35 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 7

จากภาพที่ 4.35 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิธีโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 7 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 1.27×10^{-4} เมตรต่อวินาที รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 800 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่าง เท่ากับ 0.95×10^{-4} และ 0.94×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.36 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8

จากภาพที่ 4.36 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 8 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 1.56×10^{-4} , 1.32×10^{-4} และ 1.25×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

เมื่อนำค่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี One Way ANOVA เพื่อหาความแตกต่างของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้น พบว่า อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากปัจจัย pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) แต่ที่ปัจจัยความเข้มข้นอัตราเร็วการตกตะกอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองอธิบายได้ว่า การตกตะกอนของฟล็อกที่เกิดจากการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนทำให้อนุภาคหรือคอลลอยด์ที่กระจัดกระจายในตัวอย่างน้ำเสียมารวมตัวกัน โดยการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ สารส้มสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนเกิดขบวนการโคแอกกูเลชันได้ด้วยกลไกหลัก สองประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารรวมตะกอน (Dose) และ pH ของน้ำ กลไกดังกล่าวคือ กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึกหรือ Sweep Coagulation อนึ่งในการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มของน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่มักมีกลไกแบบ Sweep Coagulation เป็นกลไกหลัก โดยอาจมีกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุเป็นกลไกร่วมซึ่งมีบทบาทน้อยกว่า (มันสิน ดันจุลเวทย์, 2537: 163) โดยสารส้มสร้างกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึกหรือ

Sweep Coagulation โดยการสร้างผลึก $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะคล้ายเป็นปุยและเมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก $Al(OH)_3$ ก็จะเกาะตัวจับอยู่บนผลึกนั้นเมื่อเกิดการเกาะกันมากขึ้นเรื่อยๆ จะได้ฟล็อกขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย ผลการทดลองโดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนตกตะกอนตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นปุยสีขาวขุ่น ดังภาพที่ 4.46 ซึ่งระหว่างการตกตะกอนฟล็อกจะมีขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้างโดยฟล็อกที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนลงมาก่อนในช่วงแรกของการตกตะกอน (1-5 นาทีแรก) และเมื่อเวลาผ่านไปในช่วงกลางถึงช่วงสุดท้าย (5 – 20 นาที) ตะกอนขนาดเล็กที่ลอยตัวอยู่ในน้ำตัวอย่างจะชนกันและเกาะตัวกันเพิ่มมากขึ้นจนตกตะกอนลงมาที่ด้านล่างกระบอกทดลองทำให้มองเห็นน้ำใสที่อยู่ส่วนบนแยกกับชั้นกากตะกอนด้านล่างชัดเจนมากขึ้น ซึ่งการเคลื่อนตัวของฟล็อกในกระบอกทดลองจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวที่ค่อนข้างช้าทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากฟล็อกมีลักษณะเป็นปุยขนาดเล็กและบางทำให้มีน้ำหนักเบามากจึงตกตะกอนหรือเคลื่อนที่ได้ช้า

เมื่อพิจารณาภาพรวมของอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling) โดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนพบว่าที่ pH 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยของฟล็อกเร็วที่สุดเท่ากับ 1.56×10^{-4} เมตรต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ 4.10 รองลงมาคือที่ pH 8 เช่นเดียวกัน ที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 1.32×10^{-4} เมตรต่อวินาที ส่วนอัตราเร็วในการตกตะกอนต่ำสุดเกิดขึ้นที่ pH 6 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ 0.60×10^{-4} เมตรต่อวินาที ซึ่งอัตราเร็วการตกตะกอนเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (t) และความสูงของกากในแต่ละช่วงเวลา (h) หรือระยะที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) นอกจากนี้ลักษณะการตกตะกอนของฟล็อกจะมีทิศทางตั้งลงด้านล่างกระบอกทดลองตามแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นกราฟการตกตะกอนของแต่ละสภาวะทดลองจึงมีวิถีโค้งลงดังภาพที่ 4.34 ถึง 4.36

อย่างไรก็ตามนักวิจัยเชื่อว่าการตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตราช้ามากเมื่อใช้สารส้มน้อยเนื่องจากไม่มีสารชักนำ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องมีสารส้มไม่น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือสารส้มที่ใช้ต้องมีปริมาณสูงพอโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียที่มีค่าความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสกันน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพจะเกิดขึ้นแล้วแต่โคแอกกูเลชันอาจไม่เกิดดีเท่าที่ควร ทำให้ต้องใช้ปริมาณสารส้มในปริมาณสูงเพื่อสร้างเป้าสัมผัสให้เกิดมากขึ้นนอกจากนี้ pH ของน้ำควรอยู่ในช่วง 6 - 7.5 จึงจะได้ผลดีที่สุด (มันสิน ดัณฑุลเวศม์, 2537: 159 – 165) ซึ่งจากผลการทดลองจึงสอดคล้องกับทฤษฎีดังกล่าว คือ ลักษณะของฟล็อกมีลักษณะคล้ายเป็นปุยจากผลึก $Al(OH)_3$ และคอลลอยด์จะเกาะบนผลึกนั้นจนเกิดฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้ง่ายขึ้นการเกิดการตกตะกอนได้ดีที่สุดในการทดลองนี้คือที่ pH เท่ากับ 8 ซึ่งใกล้เคียงกับช่วง pH ที่เหมาะสมและใช้ปริมาณสารส้มมากกว่าตามที่ทฤษฎีกล่าวไว้คือควรต้องมากกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุด

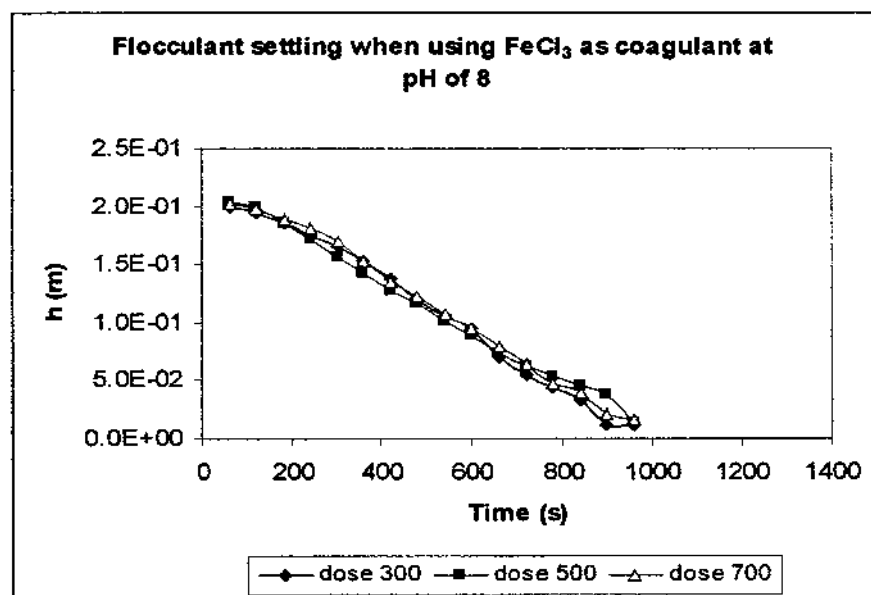
จากการทดลอง คือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำเสียมีค่าความขุ่นต่ำจึงต้องการสร้างเป่าลมให้มากที่สุด

4.3.2 การทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน

การทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.11 และทิศทางในการตกตะกอน ดังภาพที่ 4.37 ถึง 4.39

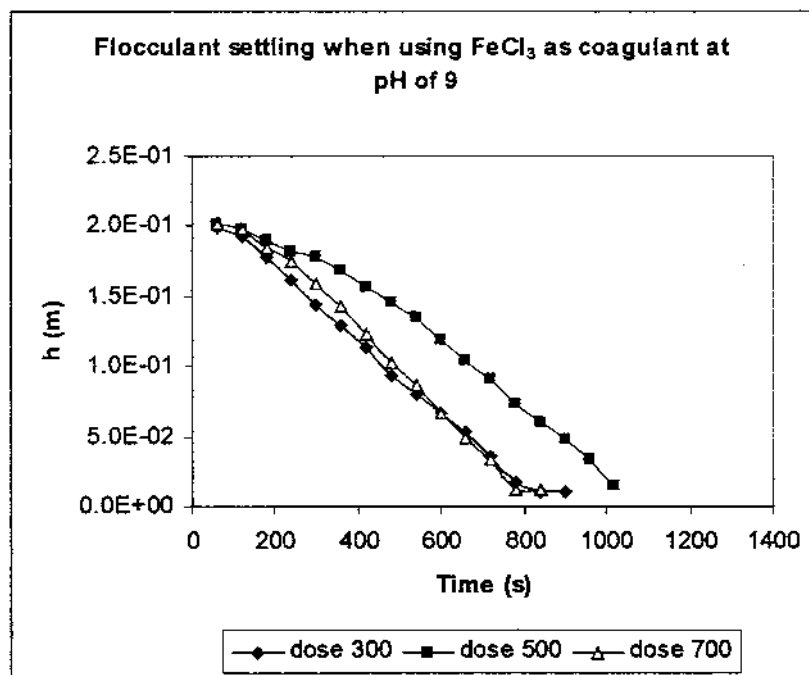
ตารางที่ 4.11 อัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน

อัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน($\times 10^{-4}$ m/s)			
pH	Dose (mg/l)		
	300	500	700
8	2.30	2.12	2.21
9	2.55	2.00	2.71
10	2.40	2.17	2.23



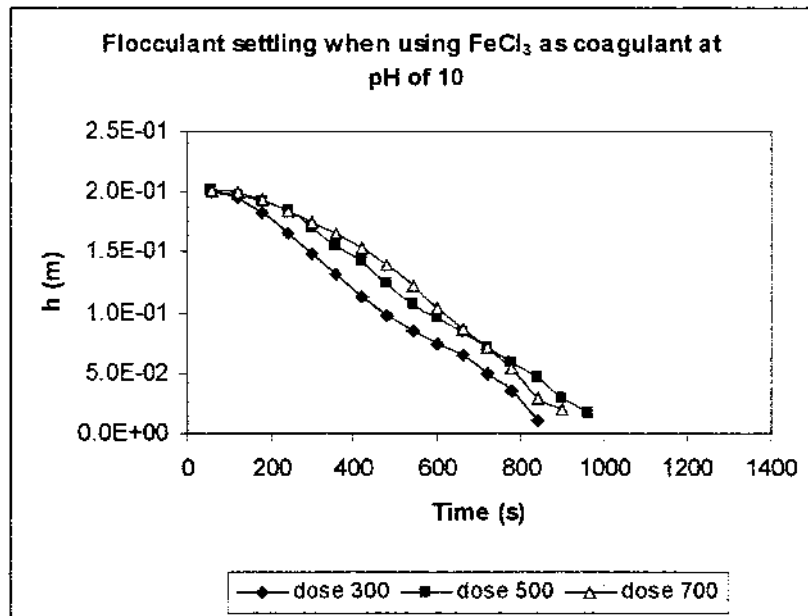
ภาพที่ 4.37 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 8

จากภาพที่ 4.37 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถึโค้งลงและจากตารางที่ 4.11 ที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 8 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 700 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 2.30×10^{-4} , 2.21×10^{-4} และ 2.12×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.38 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 9

จากภาพที่ 4.38 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถึโค้งลงและจากตารางที่ 4.11 ที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 9 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 2.71×10^{-4} , 2.55×10^{-4} และ 2.00×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.39 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 10

จากภาพที่ 4.39 และตารางที่ 4.11 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 10 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 700 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 2.40×10^{-4} , 2.23×10^{-4} และ 2.17×10^{-4} เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

เมื่อนำค่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี One Way ANOVA เพื่อหาความแตกต่างของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้น พบว่า อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยทั้งปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value > 0.05) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองอธิบายได้ว่า การตกตะกอนของฟล็อกที่เกิดจากการใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนหรือสารรวมตะกอนจะทำให้อนุภาคหรือคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ในตัวอย่างน้ำเสียมารวมตัวกันโดย FeCl_3 เป็นสารประกอบหลักที่มีประจุบวกเมื่อเกิดการแตกตัวจึงส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มของตะกอน โดย FeCl_3 จะจับกับอนุภาคมลสารหรือคอลลอยด์ที่มีประจุลบในน้ำได้ตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าพฤติกรรม การตกตะกอนของฟล็อกในตัวอย่างน้ำเสียเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนแบ่งได้ 2 แบบ กล่าวคือ ในช่วงแรกของการตกตะกอน (1-5 นาทีแรก) การตกตะกอนจะมีลักษณะเป็นแบบรวมกลุ่มกันเป็นฟล็อกและช่วงกลางและช่วงสุดท้าย (5 - 20 นาที) จะมีลักษณะการตกตะกอนแบบ

แบบสะสมเป็นชั้นๆ (Accumulation) โดยแยกชั้นของกากตะกอนกับน้ำใสอย่างชัดเจนและการใช้สารประกอบเหล็กหรือเฟอริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอนตกตะกอนตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบทำให้ลักษณะของฟล็อกที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดง ดังภาพที่ 4.55

จากผลการทดลองพบว่าการตกตะกอนของฟล็อกที่เกิดขึ้นค่อนข้างเร็วเมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ทั้งนี้สันนิษฐานได้ว่าเกิดจากฟล็อกที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างกลม (Spheres Shape) เมื่อมองด้วยตาเปล่า จึงอาจส่งผลให้เกิดแรงต้านแรงเสียดทานในน้ำต่ำ รวมทั้งฟล็อกมีขนาดใหญ่จึงทำให้มีน้ำหนักมากและตกตะกอนได้เร็วเมื่อเทียบกับฟล็อกที่ตกตะกอนโดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

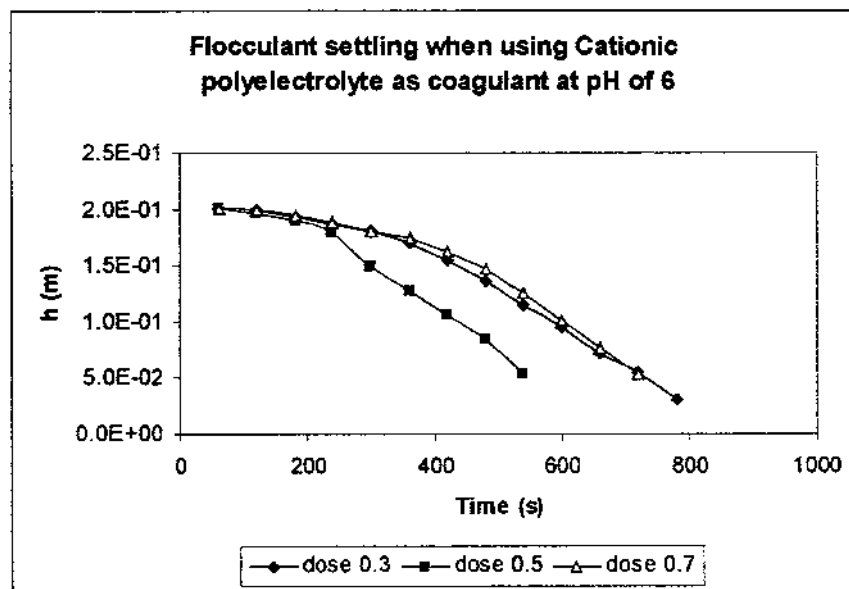
เมื่อพิจารณาอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling) โดยใช้เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนพบว่าที่ pH 9 ปริมาณของเฟอริกคลอไรด์เท่ากับ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนของฟล็อกเร็วที่สุดโดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 2.71×10^{-4} เมตรต่อวินาที ดังตารางที่ 4.12 รองลงมาคือที่ pH 9 เช่นเดียวกัน ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 2.55×10^{-4} เมตรต่อวินาที ส่วนอัตราเร็วต่ำสุดเกิดก็ขึ้นที่สภาวะ pH เท่ากับ 9 โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 จะพบว่าในทุกสภาวะ pH อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราเร็วเฉลี่ยจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อัตราเร็วการตกตะกอนเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (t) และความสูงของกาก (h) หรือระยะที่ตะกอนเคลื่อนที่ไป (s) ทำให้ทราบว่าอนุภาคนั้นเคลื่อนที่ไปที่ระยะความลึกเท่าไรที่เวลาต่างๆ ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกดังนั้นกราฟการตกตะกอนจึงมีวิถีโค้งลง ดังภาพที่ 4.37-4.39

4.3.3 การทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน

การทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolye (Optimer 9916) เป็นสารรวมตะกอน ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.40 ถึง 4.42

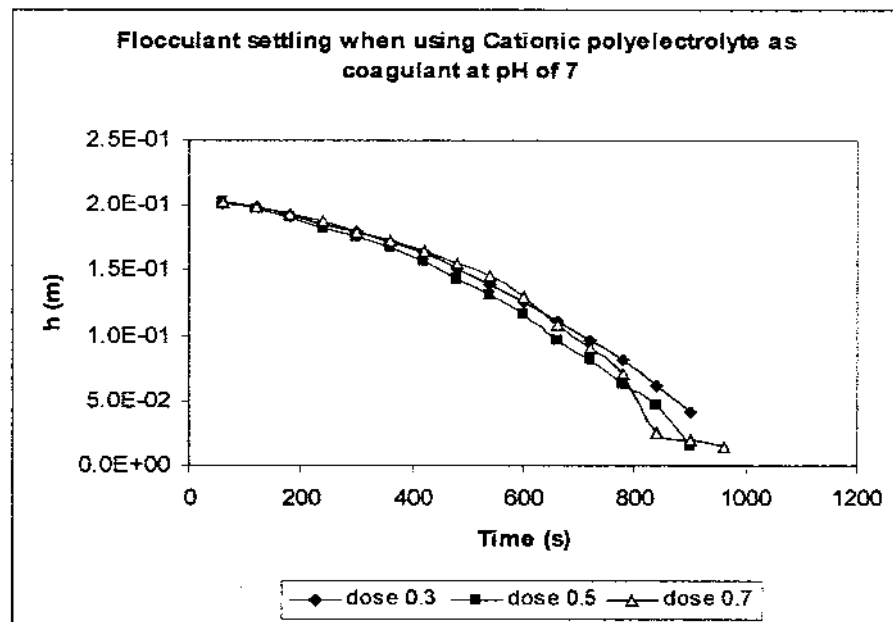
ตารางที่ 4.12 อัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน

อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน ($\times 10^{-4}$ m/s)			
pH	Dose (mg/l)		
	0.3	0.5	0.7
6	2.45	3.38	2.22
7	1.89	2.17	2.24
8	1.84	1.85	2.30



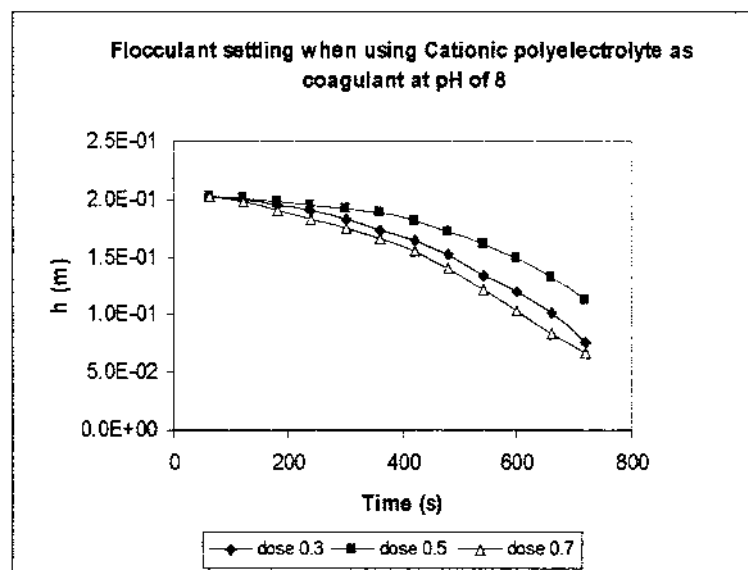
ภาพที่ 4.40 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6

จากภาพที่ 4.40 และตารางที่ 4.12 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สมภาวะทดลอง pH เท่ากับ 6 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 3.38×10^{-4} , 2.45×10^{-4} , 2.22×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.41 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 7

จากภาพที่ 4.41 และตารางที่ 4.12 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 7 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 2.24×10^{-4} , 2.17×10^{-4} , 1.89×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.42 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 8

จากภาพที่ 4.42 และตารางที่ 4.12 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สมภาวะทดลอง pH เท่ากับ 8 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้น 0.5 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกัน โดยอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนที่ความเข้มข้น 0.7, 0.5 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 2.30×10^{-4} , 1.85×10^{-4} , 1.84×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

เมื่อนำค่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธีโดยวิธี One Way ANOVA เพื่อหาความแตกต่างของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้น พบว่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองอธิบายได้ว่า การตกตะกอนโดยใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน - ฟล็อกกูเลชัน เกิดขึ้นในลักษณะ Polymer Bridging กล่าวคือ อาศัยสารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลายๆตัว ที่ถูกทำลายเสถียรภาพด้วยโพลีเมอร์ประจุบวกนั่นเอง จึงทำให้ได้ฟล็อกที่แน่นและยึดเหนี่ยวกันได้ดี โดยจากการสังเกตระหว่างการตกตะกอนฟล็อกจะมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีปริมาณฟล็อกค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณโพลีเมอร์ที่เติมมีปริมาณต่ำ (0.3 – 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) และลักษณะของฟล็อกที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างกลมมากกว่าเมื่อเทียบกับฟล็อกที่เกิดจากการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน จากการสังเกตในการทดลองพบว่า การตกตะกอนโดยใช้

Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนจะเกิดขึ้นได้เร็วมาก โดยจะตกตะกอนได้เกือบหมดภายในช่วงเวลา 10 นาที ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า Cationic Polyelectrolyte OPTIMER-9916 มีสายโพลีเมอร์ที่ยาวจึงสามารถกวาดกากตะกอนหรือคอลลอยดีให้มาเกาะรวมตัวกันได้มากและแน่นจึงตกตะกอนได้ดี รวมทั้งปริมาณหรือความเข้มข้นที่เดิมมีปริมาณต่ำ (0.3 -0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) จึงไม่ได้ทำให้ความหนืดในน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไม่มีการเพิ่มแรงต้านการตกตะกอนของฟล็อกในตัวอย่างน้ำเสีย จึงทำให้ฟล็อกสามารถตกตะกอนได้ดีและเร็ว

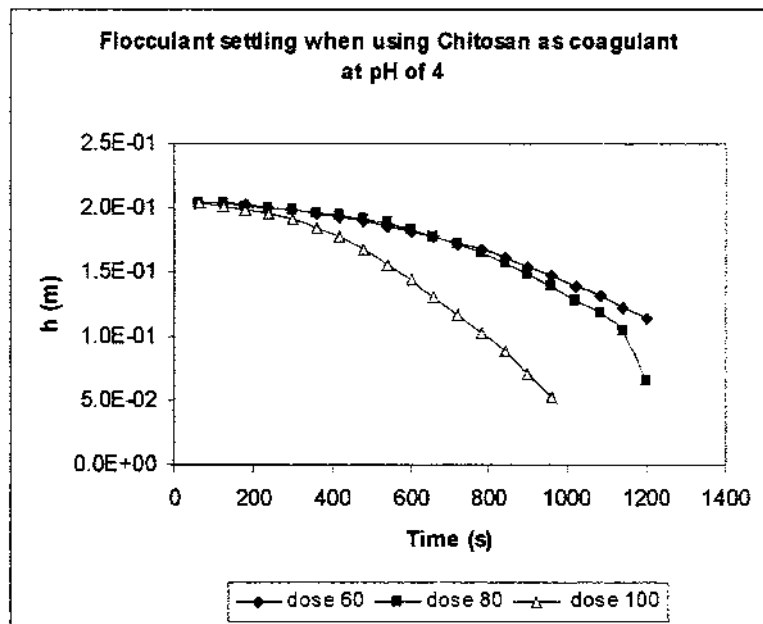
เมื่อพิจารณาอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling) โดยภาพรวม เมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนที่ทุกสภาวะการทดลอง พบว่า ที่ pH 6 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาที รองลงมาคือที่ pH 6 ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ 2.45×10^{-4} เมตรต่อวินาที ส่วนอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยต่ำสุดเกิดขึ้นที่ pH 8 ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 1.84×10^{-4} เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองดังกล่าวเป็นที่น่าสังเกตว่า pH มีผลต่ออัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน กล่าวคือ ฟล็อกจะตกตะกอนได้ดีและเร็วในช่วง pH ต่ำ (Acidic pH Range)

4.3.4 ผลการทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน

การทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.13 และ ภาพที่ 4.43 ถึง 4.45

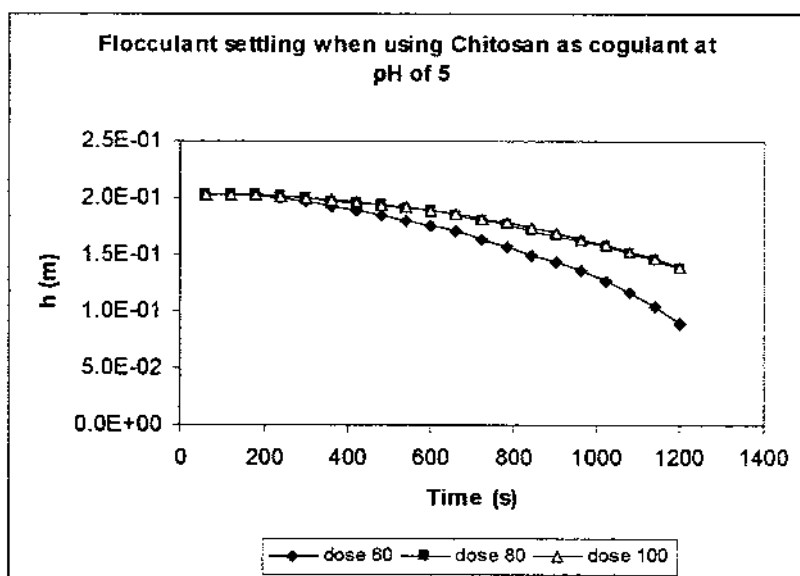
ตารางที่ 4.13 อัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน

อัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ($\times 10^{-4}$ m/s)			
pH	Dose (mg/l)		
	60	80	100
4	0.79	1.01	1.70
5	0.96	0.58	0.55
6	0.57	0.55	0.53



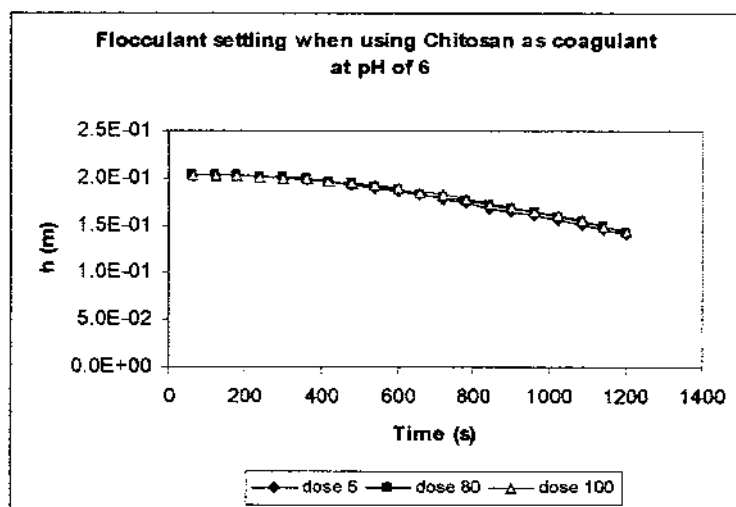
ภาพที่ 4.43 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 4

จากภาพที่ 4.43 และตารางที่ 4.13 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถึโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 4 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 80 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 1.70×10^{-4} , 1.01×10^{-4} , 0.79×10^{-4} เมตรต่อวินาทีตามลำดับ



ภาพที่ 4.44 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 5

จากภาพที่ 4.44 และตารางที่ 4.13 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 5 อัตราเร็วการตกตะกอนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยการตกตะกอนเท่ากับ 0.96×10^{-4} , 0.58×10^{-4} , 0.55×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.45 ทิศทางและอัตราเร็วการตกตะกอนเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนที่ pH เท่ากับ 6

จากภาพที่ 4.45 และตารางที่ 4.13 พบว่าการตกตะกอนของฟล็อกมีวิถีโค้งลง โดยที่สมภาวะทดลอง pH เท่ากับ 6 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทุกๆ ความเข้มข้น คือ มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 0.57×10^{-4} , 0.55×10^{-4} , 0.53×10^{-4} เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

เมื่อนำค่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี One Way ANOVA เพื่อหาความแตกต่างของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้น พบว่า อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองอธิบายได้ว่า การสร้างตะกอนและตกตะกอนของฟล็อกเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับการใช้โพลีอิเล็กโตรไลต์ คือ ใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่อกันของอนุภาคคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพจากการทำลายประจุคอลลอยด์ด้วยประจุบวกของโพลีเมอร์ เพราะ Micronized Chitosan คือ เป็นสารประกอบโพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง จากการสังเกตการตกตะกอนของฟล็อกระหว่างการทดลองพบว่า ฟล็อกของ Micronized Chitosan มีขนาดเล็กและมีปริมาณของฟล็อกค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับการใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอนแต่จะมีปริมาณฟล็อกที่เกิดขึ้นมากกว่าการใช้โพลีเมอร์ชนิด Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนเล็กน้อย

จากการสังเกตอัตราเร็วระหว่างการตกตะกอนของฟล็อกโดยใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนพบว่าการเคลื่อนที่ของฟล็อกจากระดับผิวน้ำมายังด้านล่างกระบอกตวงที่ใช้ทดลองเป็นไปอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับการใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน ทั้ง

นี้สันนิษฐานได้ว่า ปริมาณหรือความเข้มข้นของ **Micronized Chitosan** ที่เติมลงไปในตัวอย่าง น้ำเสียคลองแสนแสบมีปริมาณสูง (60 – 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งมีปริมาณหรือความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของ **Cationic Polyelectrolyte** ประมาณ 140 - 200 เท่า จึงอาจส่งผลให้น้ำมีความหนืดสูงขึ้นจึงทำให้ **Micronized Chitosan** ตกตะกอนได้ช้ากว่าการใช้ **Cationic Polyelectrolyte** เป็นสารรวมตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Y.Q Zhao (2002: บทคัดย่อ) กล่าวไว้ว่า พฤติกรรมการตกตะกอนของ ฟล็อกสามารถควบคุมได้โดยลักษณะของการเชื่อมต่อ โครงสร้างของโพลีเมอร์ที่สัมพันธ์กับปริมาณของโพลีเมอร์ที่เติมลงในตัวอย่างน้ำ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ในน้ำสูงขึ้นจะทำให้น้ำมีความหนืดสูงขึ้นหรือเป็นการเพิ่มแรงเสียดทาน (Drag Force) เพื่อดำเนินการตกตะกอน นอกจากนั้นยังเกิด **Wall Effect** ในการเชื่อมต่อโครงสร้างภายในของโพลีเมอร์ด้วยจึงทำให้อัตราเร็วการตกตะกอนของฟล็อกลดลง

เมื่อพิจารณาอัตราเร็วการตกตะกอน (**Flocculant Settling**) ในภาพรวมจากการใช้สาร **Micronized Chitosan** เป็นสารรวมตะกอนที่ทุกสภาวะการทดลอง พบว่า ที่ pH 4 ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.70×10^{-4} เมตรต่อวินาที รองลงมาคือ ที่ pH เท่ากับ 4 ความเข้มข้นเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ 1.01×10^{-4} เมตรต่อวินาที ส่วนที่ pH 6 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนต่ำสุดเฉลี่ย 0.53×10^{-4} เมตรต่อวินาที จากผลการทดลอง เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อใช้สาร **Micronized Chitosan** เป็นสารรวมตะกอน ฟล็อกจะตกตะกอนได้ดีและเร็วที่ pH ต่ำ (**Acidic Region**) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้ **Cationic Polyelectrolyte** เป็นสารรวมตะกอนโดยสรุป อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของแต่ละสารรวมตะกอนแสดงได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของแต่ละสารรวมตะกอน

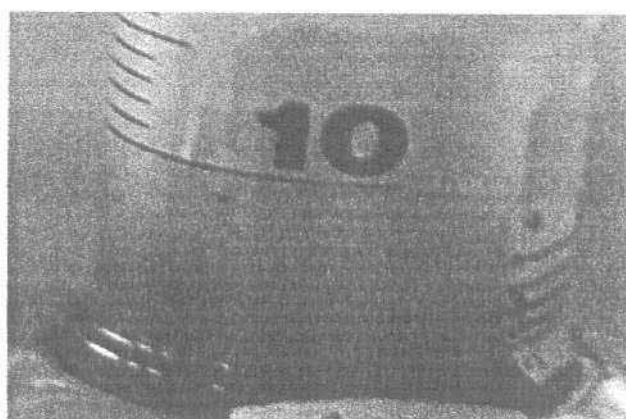
Coagulants	อัตราเร็ว การตกตะกอนเฉลี่ย (v) ,($\times 10^{-4}$ m/s)	pH,Dose (mg/l)
1. สารส้ม (Alum)	1.56	8,500
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl ₃)	2.71	9,700
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte)	3.38	6,0.5
4. Micronized Chitosan	1.70	4,100

4.4 ปริมาณกากตะกอนคงเหลือภายหลังตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การวัดปริมาณกากตะกอนคงเหลือ จะทำการอ่านจากค่าปริมาณตะกอนเปียก (Wet Sludge Volume) ในกระบอกตวงขนาด 100 ml เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำเสนอค่าในรูปของปริมาณกากตะกอน ml ต่อ ปริมาตรตัวอย่างน้ำเสีย 1 ลิตร ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

4.4.1 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังการเกิดปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังการเกิดปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนโดยมีลักษณะตัวอย่างกากตะกอนสารส้มแสดงได้ดังภาพที่ 4.46 และปริมาณกากตะกอนของสารส้มภายหลังโคแอกกูเลชัน ดังตารางที่ 4.15

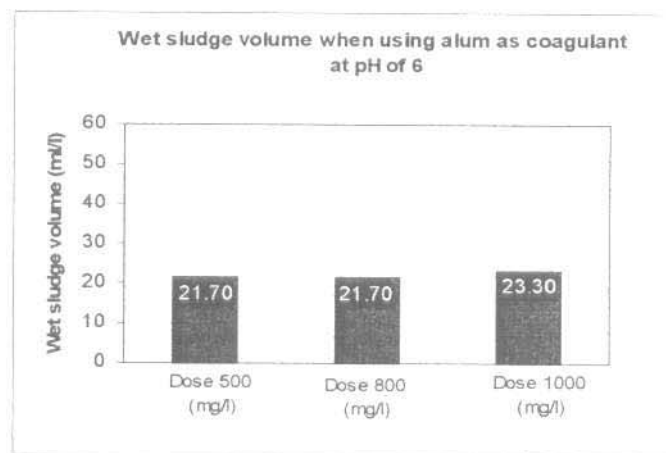


ภาพที่ 4.46 กากตะกอนที่เกิดขึ้น ณ เวลา 60 นาทีจากการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

ตารางที่ 4.15 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาทีเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน

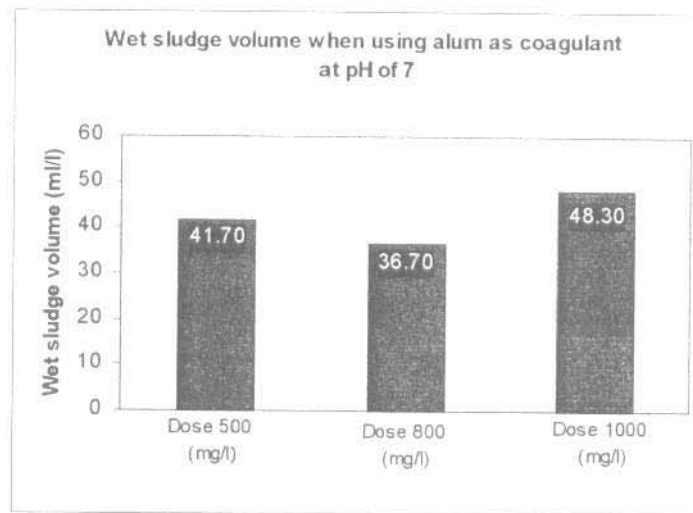
ปริมาณกากตะกอนคงเหลือเมื่อใช้ Alum เป็นสารรวมตะกอน (ml/l)			
Dose (mg/l)	pH 6	pH 7	pH 8
500	21.70	41.70	21.70
800	21.70	36.70	35.00
1,000	23.30	48.30	46.70

จากตารางที่ 4.15 พบว่าที่ pH 6 มีปริมาณกากตะกอนคงเหลือในระบอบตกตะกอนต่ำสุด เท่ากับ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 7 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคือ 36.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 8 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคงเหลือเท่ากับปริมาณตะกอนสุดท้ายที่ pH 6 คือ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



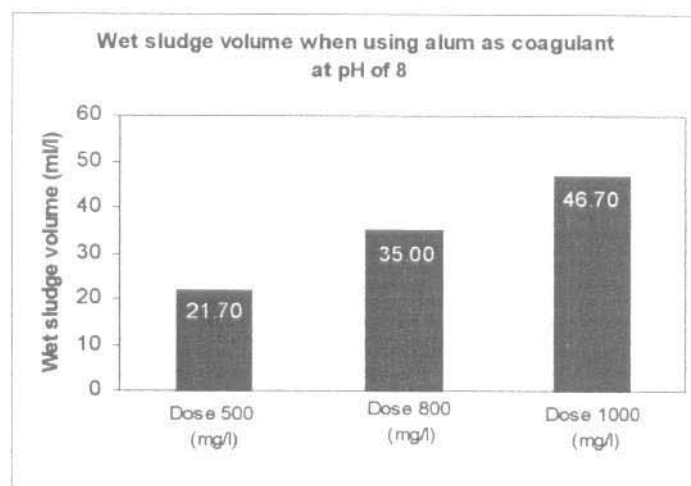
ภาพที่ 4.47 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH เท่ากับ 6

จากภาพที่ 4.47 พบว่า ที่สภาวะ pH เท่ากับ 6 ปริมาณกากตะกอนสุดท้ายในระบอบตกตะกอนเมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที เท่ากับ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 500 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนสุดท้ายในระบอบตกตะกอนเท่ากับ 23.30 มิลลิลิตรต่อลิตร



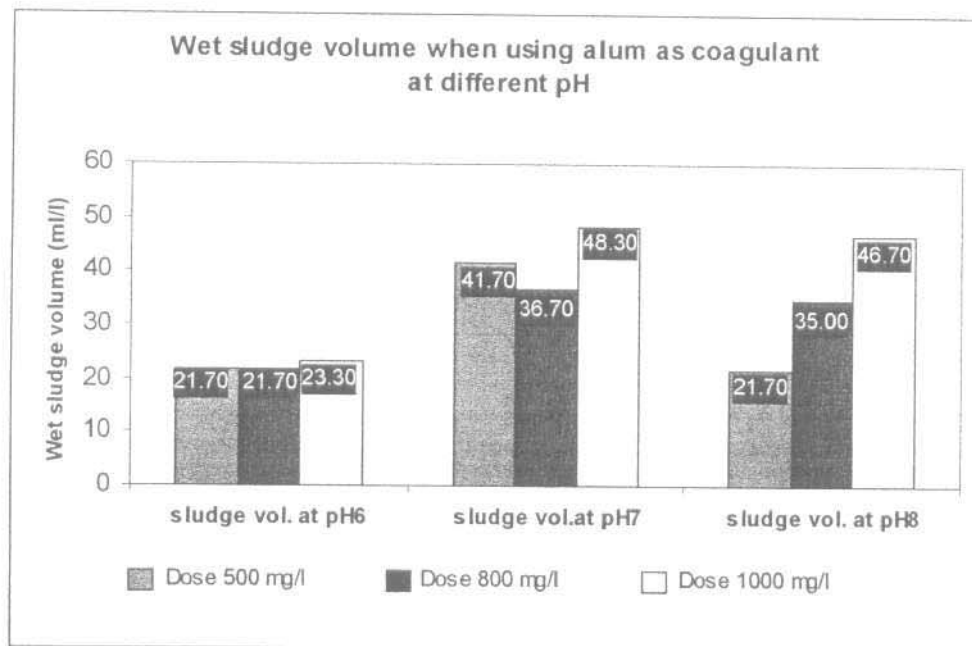
ภาพที่ 4.48 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH เท่ากับ 7

จากภาพที่ 4.48 พบว่า ที่สภาวะ pH เท่ากับ 7 ปริมาณกากตะกอนสุดท้ายในระบอบกวดงเมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที เท่ากับ 41.70 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนเท่ากับ 36.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนสุดท้ายในระบอบกวดงเท่ากับ 48.30 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4. 49 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH เท่ากับ 8

จากภาพที่ 4.49 พบว่า ที่สภาวะ pH เท่ากับ 8 ปริมาณกากตะกอนสุดท้ายในกระบอกตวง เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที เท่ากับ 21.70 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนเท่ากับ 35.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนสุดท้ายในกระบอกตวงเท่ากับ 46.70 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.50 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ที่ pH แตกต่างกัน

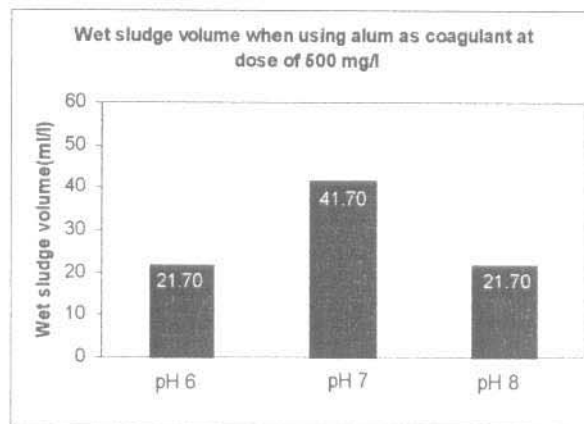
จากภาพที่ 4.50 พบว่า ทุกสภาวะ pH ปริมาณกากตะกอนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารรวมตะกอนหรือสารส้มเพิ่มขึ้น จาก 500 เป็น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ยกเว้นที่ pH 7 ปริมาณกากตะกอนลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มจาก 500 เป็น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณกากตะกอนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อพิจารณาปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่ปัจจัยความเข้มข้น ผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.16 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาทีเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

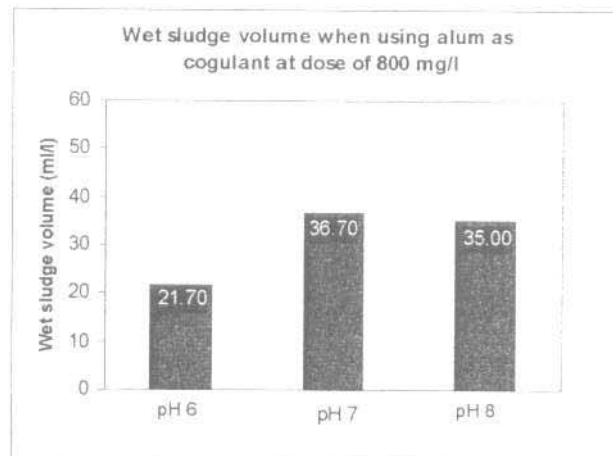
ปริมาณกากตะกอนคงเหลือเมื่อใช้ Alum เป็นสารรวมตะกอน (ml/l)			
PH	Dose 500 mg/l	Dose 800 mg/l	Dose 1000 mg/l
6	21.70	21.70	23.30
7	41.70	36.70	48.30
8	21.70	35.00	46.70

จากตารางที่ 4.16 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารส้ม 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนคงเหลือในระบอบดวงต่ำสุดเท่ากับ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ pH ของสารส้มเท่ากับ 6 และ 8 ที่ความเข้มข้นของสารส้ม 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคือ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ pH ของสารส้มเท่ากับ 6 ส่วนความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคงเหลือเท่ากับ 23.30 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ pH ของสารส้มเท่ากับ 6



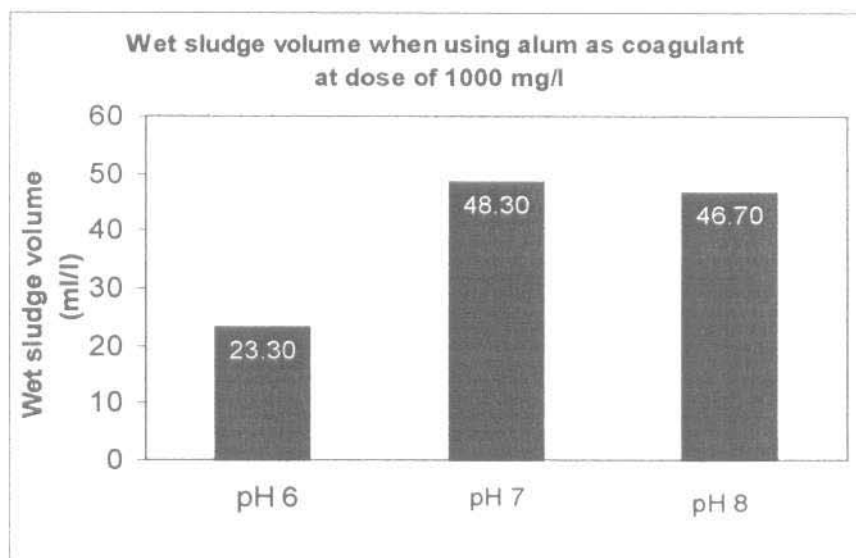
ภาพที่ 4.51 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่างๆ ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.51 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร เป็นสูงสุด 41.70 มิลลิลิตรต่อลิตร และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 ปริมาณกากตะกอนลดลงเหลือ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร



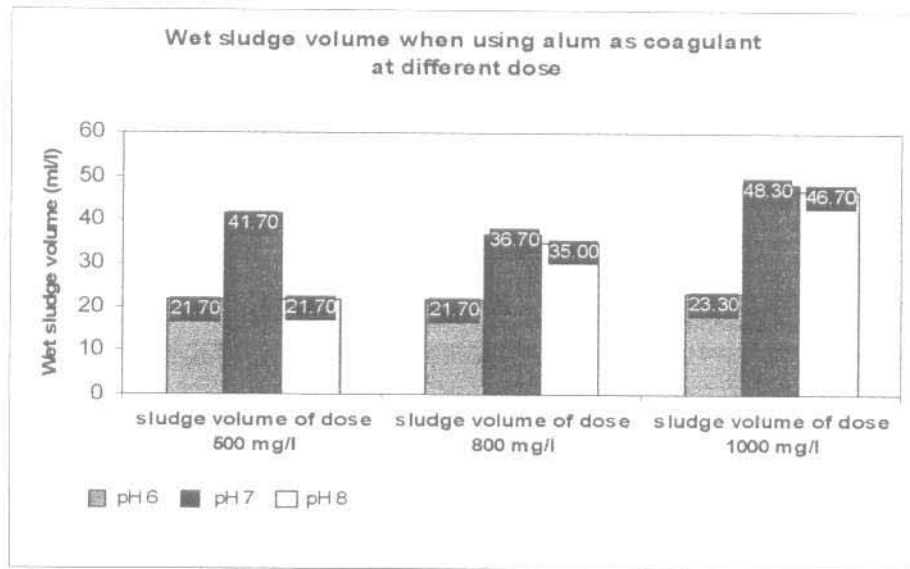
ภาพที่ 4.52 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่างๆ ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.52 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร เป็นสูงสุด 36.70 มิลลิลิตรต่อลิตร และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 ปริมาณกากตะกอนลดลงเล็กน้อย คงเหลือ 35.00 มิลลิลิตรต่อลิตร



ภาพที่ 4.53 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่างๆ ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.53 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 23.30 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสูงสุด 48.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 8 ปริมาณกากตะกอนสุดท้ายลดลงเล็กน้อยเหลือ 46.70 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.54 ปริมาณกากตะกอนที่สภาวะ pH ต่างๆเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.54 พบว่า ที่ทุกสภาวะความเข้มข้นของสารส้ม ปริมาณกากตะกอนภายหลังการบำบัด โดยขบวนการโคแอกกูเลชันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ทุกๆ ความเข้มข้นเมื่อ pH ของตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 7 ปริมาณกากตะกอนจะเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อ pH ของตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มเป็น 8 ปริมาณกากตะกอนจะลดลงโดยเห็นได้ชัดที่สภาวะความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ที่สภาวะความเข้มข้น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ pH เพิ่มจาก 7 เป็น 8

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Friedman Test For Several Related Sample (K Related Sample) เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนโดยพิจารณาที่ปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้น พบว่า ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณกากตะกอนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้จากผลการทดลองหาปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) โดยภาพรวมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน พบว่าลักษณะของตะกอนสารส้มจะมีลักษณะเป็นปุยสีขาวขุ่น

ดังภาพที่ 4.46 และเมื่อความเข้มข้นของสารส้มเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณกากตะกอนมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกสภาวะ pH ซึ่งจากผลการศึกษาสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่า ปริมาณกากตะกอนที่เกิดจากขบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีกายภาพ เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณของสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดถูกบำบัดและจากการรวมตัวกันจากการใช้สารรวมตะกอนชนิดต่างๆ โดยปริมาณตะกอนและลักษณะของกากตะกอนที่เกิดขึ้นระหว่างขบวนการ โคแอกกูเลชัน – ฟล็อกกูเลชัน จะขึ้นอยู่กับประเภทหรือชนิดของสารรวมตะกอนที่ใช้และสภาวะการทดลอง Aguilar และคณะ (2001: 6) เช่น ที่ pH และที่ความเข้มข้นของสารรวมตะกอนแตกต่างกัน เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองชุดนี้ ก็พบว่า ที่ pH 6 กับ 7 มีผลต่อการเกิดปริมาณกากตะกอนที่แตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ที่ pH 6 7 และ 8 ปริมาณกากตะกอนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นหรือปริมาณของสารส้มลดลงจาก 1,000 เป็น 800 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และที่ pH 6 ความเข้มข้น 500 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคือ 21.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้จะมีปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้สันนิษฐานได้ว่าที่สภาวะ pH เท่ากับ 6 การเกิดการรวมตัวของฟล็อกจะเกิดได้ดีและมีน้ำหนักรวมกากตะกอนได้ตามลำดับ เนื่องจาก pH ที่เหมาะสมสำหรับสารส้มในขบวนการโคแอกกูเลชันจะอยู่ในช่วงใกล้ความเป็นกลางทำให้ฟล็อกรวมตัวกันได้ดี นอกจากนั้นเมื่อวัดด้วยสายตา (Visible Inspection) พบว่าฟล็อกที่เกิดจากการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนมีขนาดเล็กแต่เป็นปุยบางๆ เมื่อเปรียบเทียบกับฟล็อกที่เกิดจากการใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนจึงส่งผลให้เกิดปริมาณกากตะกอนมากกว่ากากตะกอนของ FeCl_3 เนื่องจากกากตะกอนที่ตกลงมาไม่แน่น (Less Compaction) แต่ก็มีความต่างกันเพียงเล็กน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าแทบจะไม่แตกต่างเมื่อพิจารณาที่ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือต่ำสุด

4.4.2 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังโคแอกกูเลชัน โดยใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน

ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังโคแอกกูเลชันโดยใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน โดยลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างกากตะกอน FeCl_3 แสดงได้ดังภาพที่ 4.55

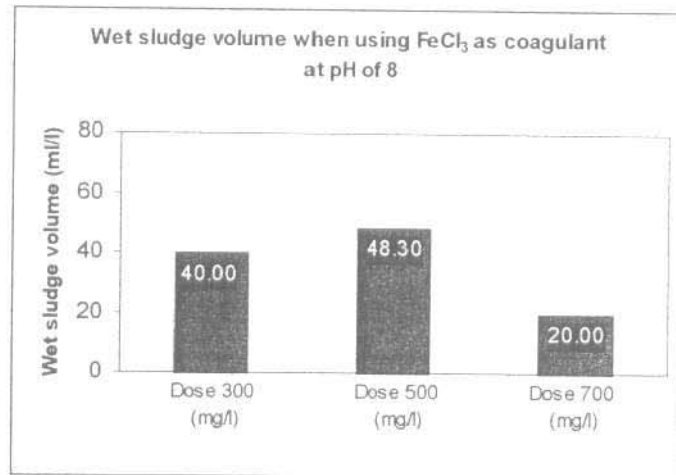


ภาพที่ 4.55 ลักษณะกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน

ตารางที่ 4.17 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาทีเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH แตกต่างกัน

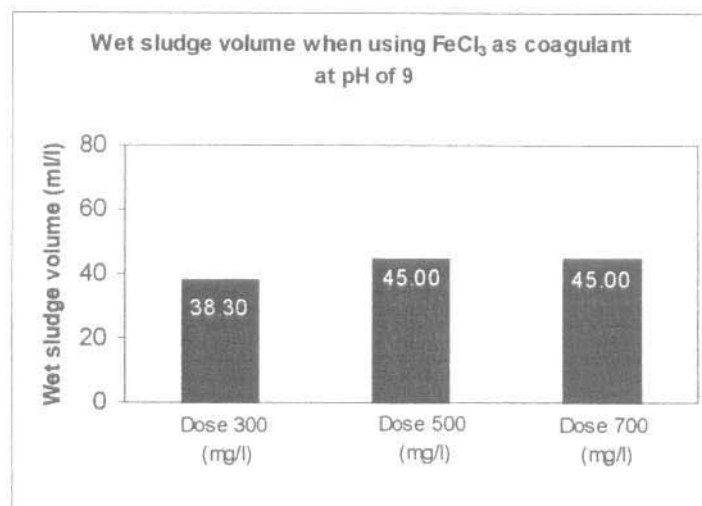
ปริมาณกากตะกอนคงเหลือเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน (ml/l)			
Dose (mg/l)	pH 8	pH 9	pH 10
300	40.00	38.30	43.30
500	48.30	45.00	58.30
700	20.00	45.00	73.30

จากตารางที่ 4.17 พบว่าที่ pH 8 มีปริมาณกากตะกอนคงเหลือในระบอบกวดงต่ำสุดเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 9 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคือ 38.30 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 10 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดคงเหลือเท่ากับ 43.3 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 300 มิลลิลิตรต่อลิตร



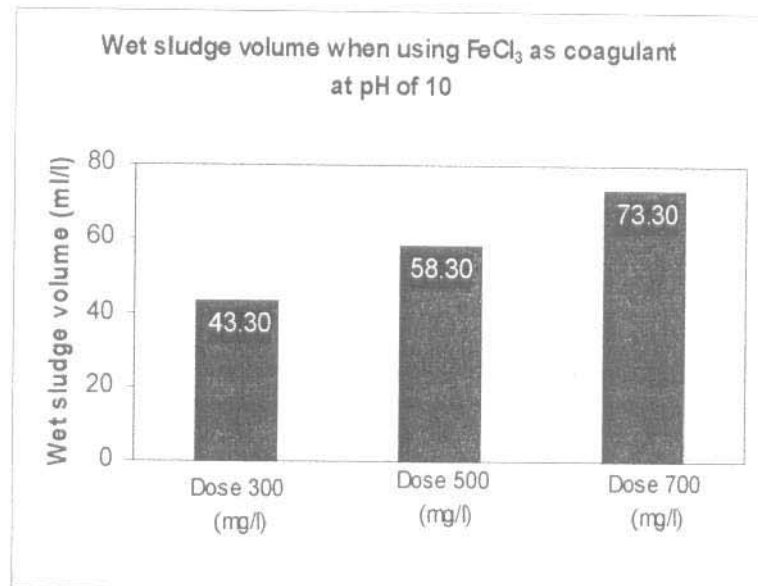
ภาพที่ 4.56 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ pH เท่ากับ 8

จากภาพที่ 4.56 พบว่าที่ pH เท่ากับ 8 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 40 มิลลิลิตรต่อลิตร เป็น 48.3 มิลลิลิตรต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณกากตะกอนลดลงเหลือ 20 มิลลิลิตรต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นหรือปริมาณของ FeCl_3 เพิ่มมากขึ้นเป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร



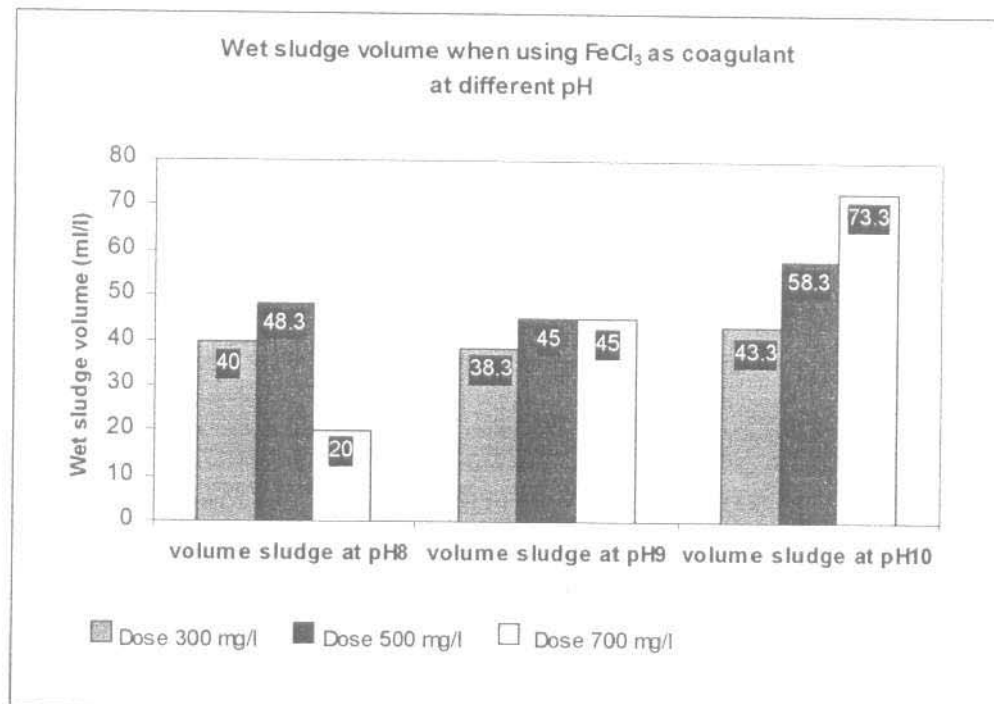
ภาพที่ 4.57 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ pH เท่ากับ 9

จากภาพที่ 4.57 พบว่าที่ pH เท่ากับ 9 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 38.3 มิลลิลิตรต่อลิตรเป็น 45 มิลลิลิตรต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.58 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ pH เท่ากับ 10

จากภาพที่ 4.58 พบว่าที่ pH เท่ากับ 10 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นจาก 43.3 มิลลิลิตรต่อลิตรเป็น 58.3 และ 73.3 มิลลิลิตรต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.59 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 ความเข้มข้นต่างๆที่ pH แตกต่างกัน

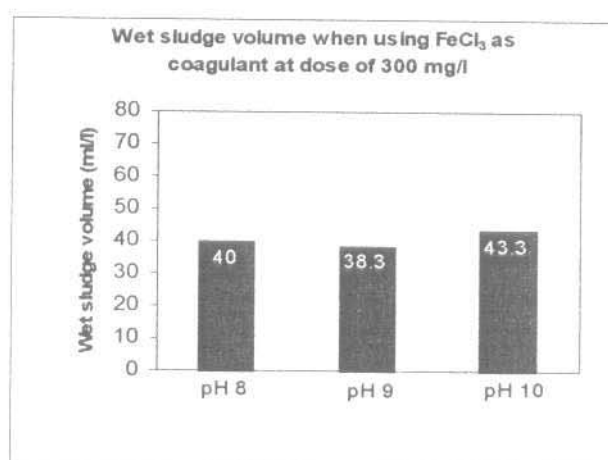
จากภาพที่ 4.59 พบว่า ที่สภาวะ pH เท่ากับ 10 ปริมาณกากตะกอนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารรวมตะกอนหรือ FeCl_3 เพิ่มขึ้น จาก 300 เป็น 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ pH 9 ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มจาก 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณกากตะกอนคงที่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ pH 8 ปริมาณกากตะกอนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณ FeCl_3 เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณกากตะกอนลดลงต่ำสุดเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อพิจารณาปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่ปัจจัยความเข้มข้นแตกต่างกัน ผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.18 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาทีเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

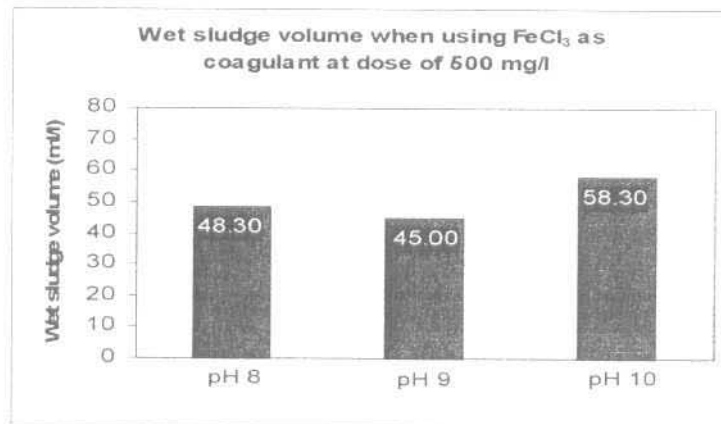
ปริมาณกากตะกอนที่เวลา 60 นาทีเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน (ml/l)			
pH	Dose 300 mg/l	Dose 500 mg/l	Dose 700 mg/l
8	40.00	48.30	20.00
9	38.30	45.00	45.00
10	43.30	58.30	73.30

จากตารางที่ 4.18 พบว่า ที่สภาวะทดลองความเข้มข้นของ FeCl_3 เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดที่ pH 9 เท่ากับ 38.30 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดที่ pH 9 เท่ากับ 45.00 มิลลิลิตรต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดที่ pH 8 เท่ากับ 20.00 มิลลิลิตรต่อลิตร



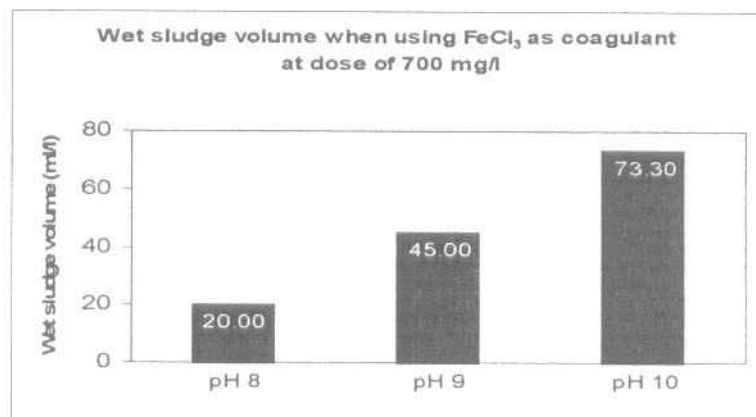
ภาพที่ 4.60 ปริมาณกากตะกอนของ FeCl_3 ที่ pH ต่างๆ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.60 พบว่า ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 แต่ปริมาณกากตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มเป็น 10 โดยมีปริมาณกากตะกอนเท่ากับ 40, 38.3 และ 43.3 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ



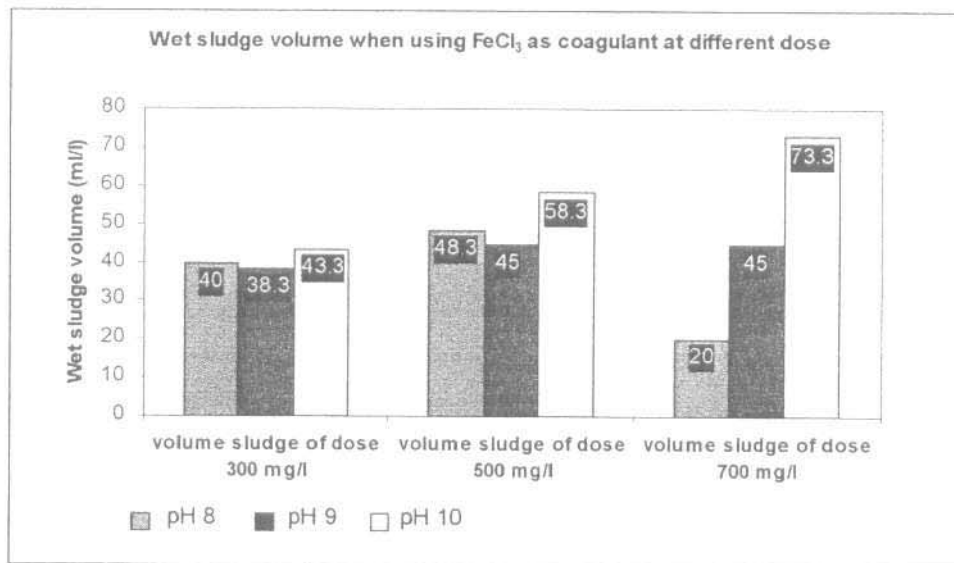
ภาพที่ 4.61 ปริมาณกากตะกอนของ FeCl_3 ที่ pH ต่างๆ ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.61 พบว่า ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 แต่ปริมาณกากตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มเป็น 10 โดยมีปริมาณกากตะกอนเท่ากับ 48.3, 45 และ 58.3 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.62 ปริมาณกากตะกอนของ FeCl_3 ที่ pH ต่างๆ ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากภาพที่ 4.62 พบว่า ที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 และ 10 ตามลำดับ โดยมีปริมาณกากตะกอนเท่ากับ 20, 45 และ 73.3 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.63 ปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.63 พบว่า ปริมาณกากตะกอนภายหลังการบำบัดโดยขบวนการโคแอกกูเลชัน ที่ความเข้มข้น 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อ pH ของตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 ปริมาณกากตะกอนจะลดลง แต่เมื่อ pH ของตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มเป็น 10 ปริมาณกากตะกอนจะเพิ่มขึ้น ส่วนที่ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกากตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 9 และ 10 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Friedman Test for Several Related Sample (K Related Sample) เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนโดยพิจารณาที่ปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้น พบว่า ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย pH และปัจจัยความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณกากตะกอนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้โดยภาพรวมอธิบายได้ว่า ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการเติมเฟอริคคลอไรด์ในขบวนการโคแอกกูเลชัน จะได้ตะกอนของเฟอริคไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ดังสมการ $\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow (\text{Fe}(\text{OH})_3) + 3\text{H}^+ + 3\text{Cl}^-$ ซึ่ง FeCl_3 เป็นสารประกอบเหล็กที่มีประจุบวกเมื่อเกิดการแตกตัวจึงเป็นผลให้เกิดการรวมกลุ่มของตะกอน FeCl_3 โดยจับกับประจุลบของอนุภาคมลสารในน้ำและจากผลการทดลองพบว่า พฤติกรรมการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบโดยใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ กล่าวคือ ในช่วงแรกของการตกตะกอน ลักษณะการตกตะกอนจะมีลักษณะเป็นแบบรวมกลุ่ม (Coagulation) เป็นฟล็อกและช่วงกลางและช่วงสุดท้ายจะมีลักษณะการตกตะกอนแบบสะสมเป็นชั้นๆ (Accumulation) โดยแยกชั้นของตะกอนกับน้ำใสอย่างชัดเจน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนที่ pH 9 และ 10 ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันเมื่อความเข้มข้นของ FeCl_3 เพิ่มขึ้นกล่าวคือ ปริมาณกากตะกอนสุดท้ายที่ 60 นาทีมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเมื่อสารประกอบเหล็กเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการจับตัวหรือรวมตัวกับอนุภาคมลสารในน้ำตัวอย่างมากยิ่งขึ้นจึงทำให้เกิดฟล็อกมากโดยฟล็อกอาจจับตัวกันแบบหลวมๆ แต่บางสภาวะการทดลองที่ pH 8 พบว่าปริมาณกากตะกอนที่สภาวะความเข้มข้นสูงคือ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร กลับพบว่าปริมาณกากตะกอนมีปริมาณน้อยลงและเป็นปริมาณตะกอนที่น้อยที่สุด ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าที่ pH 8 ซึ่งมีสภาวะใกล้เคียงความเป็นกลางมากกว่า pH 9 และ 10 จึงทำให้ตะกอนของ FeCl_3 ที่แตกตัวในน้ำซึ่งเป็นประจุบวกสามารถทำให้เป็นกลางได้ง่ายขึ้นโดยใช้ประจุลบที่เกิดจากมลสารหรือของแข็งในน้ำตะกอนด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอร์ริคคลอไรด์ที่จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate Alkalinity ในน้ำตะกอนและเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate Alkalinity เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ฟล็อกจับตัวกันและมีน้ำหนักมากเมื่อตกตะกอนลงมาจึงอัดตัวกันแน่น (Dense and Compact)

4.4.3 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังโคแอกกูเลชัน โดยใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน

ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังโคแอกกูเลชันโดยใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอนแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน

ปริมาณกากตะกอนคงเหลือเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน (ml/l)			
Dose (mg/l)	pH 6	pH 7	pH 8
0.3	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5
0.5	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5
0.7	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5	ไม่เกิน 5

จากตารางที่ 4.19 พบว่าปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียด้วยการใช้ Cationic Polyelectrolyte มีปริมาณกากตะกอนต่ำมาก คือ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุกสภาวะการทดลอง ทั้งนี้สันนิษฐานได้ว่า เกิดจากปริมาณหรือความเข้มข้นของ Cationic Polyelectrolyte ที่เดิมมีปริมาณต่ำมาก (0.3 -0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฟล็อกมีขนาดเล็กมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับฟล็อกที่เกิดขึ้นจากการใช้สารส้มและ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน รวมทั้งการรวมตะกอนโดยการเกาะเป็นสายโพลีเมอร์ ซึ่งทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นจึงมีโครงสร้างที่แน่นและแข็งแรงเมื่อตกตะกอนลงมาจึงแยกตัวได้ดี

4.4.4 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังโคแอกกูเลชันโดยใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน

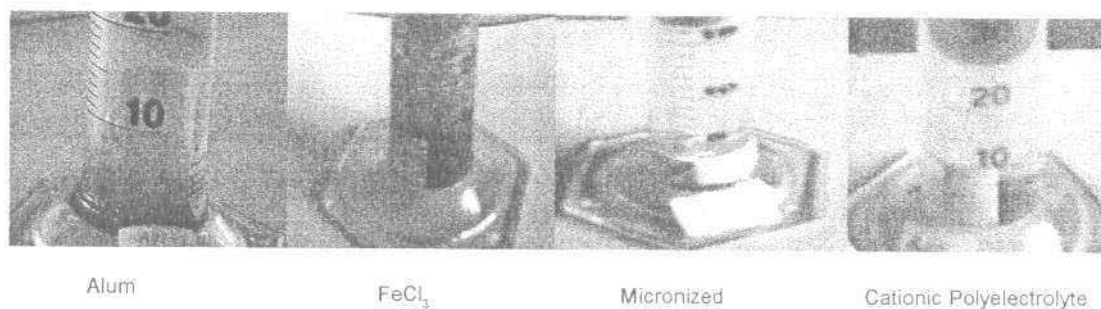
ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) คงเหลือภายหลังโคแอกกูเลชันโดยใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume) ที่เวลา 60 นาที เมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน

ปริมาณกากตะกอนคงเหลือเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน (ml/l)			
Dose (mg/l)	pH 4	pH 5	pH 6
60	ประมาณ 5 -10	ประมาณ 5 -10	ประมาณ 5 -10
80	ประมาณ 5 -10	ประมาณ 5 -10	ประมาณ 5 -10
100	ประมาณ 5 -10	ประมาณ 5 -10	ประมาณ 5 -10

จากตารางที่ 4.20 พบว่าปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังบำบัดด้วยน้ำเสียด้วยการใช้ Micronized Chitosan มีปริมาณกากตะกอนต่ำ คือ ประมาณ 5 – 10 มิลลิลิตรต่อลิตร ในทุกสภาวะการทดลอง ทั้งนี้ สันนิษฐานได้ว่า เกิดจากปริมาณหรือความเข้มข้นของ Micronized Chitosan ที่เติมมีปริมาณไม่มาก (60 -100 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฟล็อกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับการใช้ สารส้มและ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน รวมทั้งการเกาะตัวบนสายโพลีเมอร์มากและแน่นจึงทำให้ตะกอนที่ตกลงมาแยกตัวกันได้ดีและแน่น

โดยลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำเสียและปริมาณกากตะกอนเมื่อมีการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิด แสดงได้ ดังภาพที่ 4.64



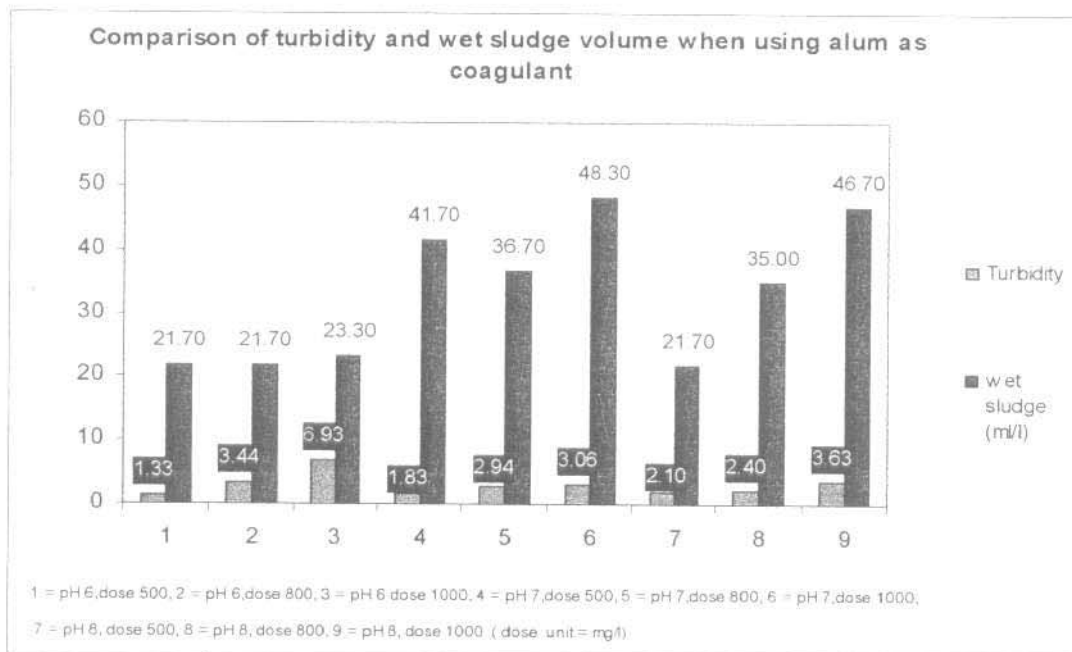
ภาพที่ 4.64 ตัวอย่างปริมาณกากตะกอนในกระบอกตวงเมื่อมีการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

4.5 ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัด

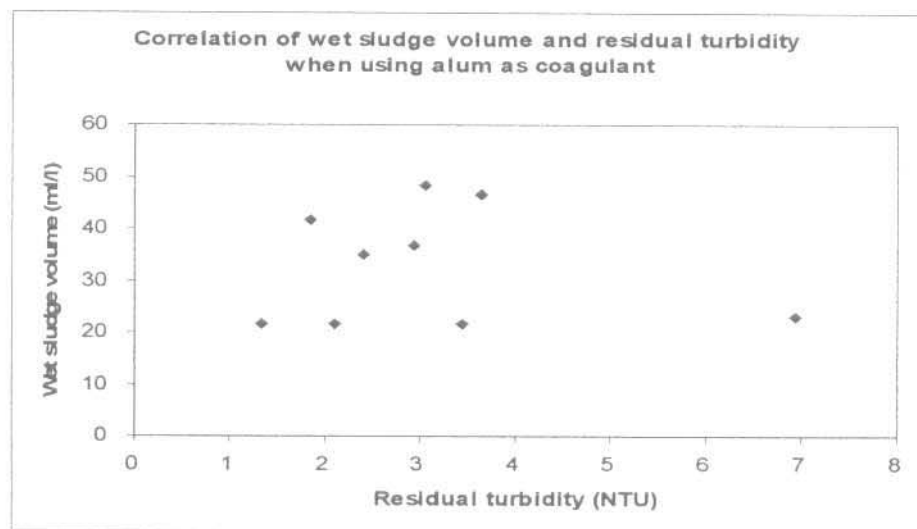
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัด จะดูได้จากการพล็อตกราฟระหว่างค่าความขุ่นภายหลังบำบัดและปริมาณกากตะกอนคงเหลือ เมื่อใช้สารรวมตะกอนชนิดต่างๆ ในที่นี้จะแสดงผลการวิเคราะห์เฉพาะ เมื่อใช้สารส้มและสารเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอนเท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเติมสาร โพลีอิเล็กโตรไลต์ กระจุกและ Micronized Chitosan ให้ปริมาณกากตะกอนคงที่ในทุกสภาวะทดลอง

4.5.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัดเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัดเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนแสดงได้ดัง ภาพที่ 4.65 และ 4.66



ภาพที่ 4.65 เปรียบเทียบปริมาณกากตะกอนและความขุ่นหลังบำบัดเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน



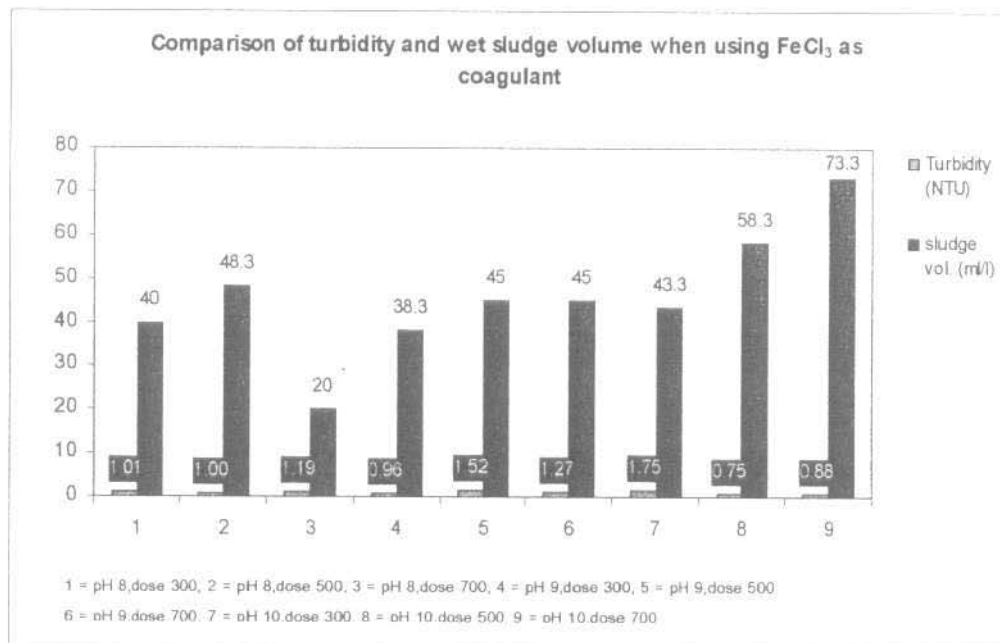
ภาพที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนภายหลังจากบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

จากภาพที่ 4.65 และ 4.66 เมื่อนำค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนภายหลังจากบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมตะกอนโดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน พบว่า

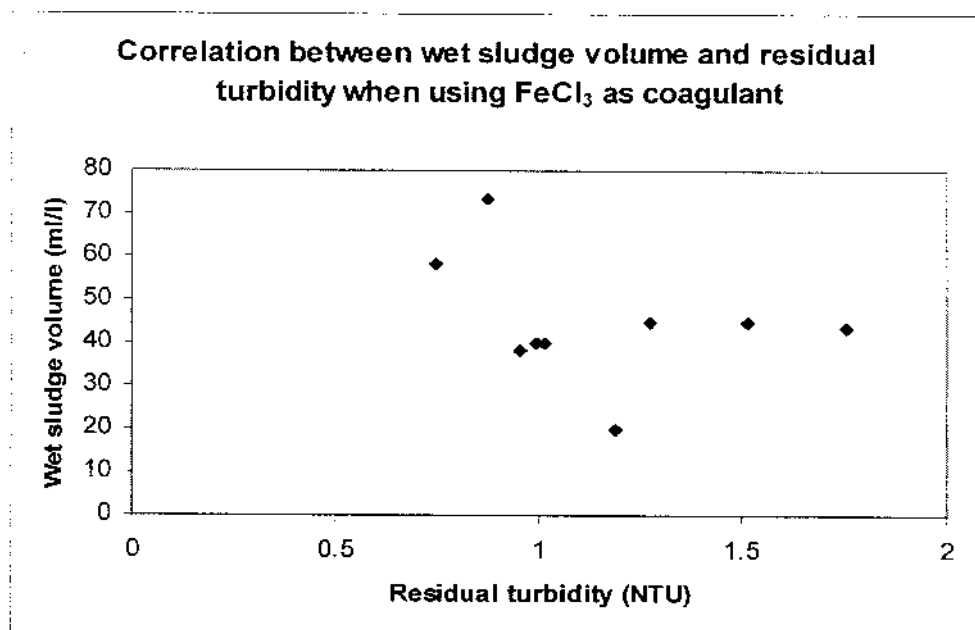
ค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นหลังบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบ ไม่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้น ($R^2 = 0.012$) หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความขุ่นหลังบำบัดไม่ขึ้นกับปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังเติมสารส้มที่สภาวะทดลอง pH และความเข้มข้นต่าง ๆ

4.5.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัด เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณกากตะกอนและความขุ่นภายหลังบำบัด เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอน แสดงดังภาพที่ 4.66



ภาพที่ 4.67 เปรียบเทียบปริมาณกากตะกอนและความขุ่นหลังบำบัดเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน



ภาพที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนภายหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ เมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน

จากภาพที่ 4.67 และภาพที่ 4.68 เมื่อนำค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนภายหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมตะกอนโดยใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน พบว่า ค่าความขุ่นและปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ไม่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้น ($R^2 = 0.108$) หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ค่าความขุ่นหลังบำบัดไม่ขึ้นกับปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังเติม FeCl_3 ที่สภาวะทดลอง pH และความเข้มข้น ต่างๆ

จากผลการทดลองเพื่อหาปริมาณกากตะกอนคงเหลือภายหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ พบว่า สารส้มและเฟอริกคลอไรด์ให้ปริมาณกากตะกอนสูงกว่าการใช้ Micronized Chitosan และโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากการผลิตกากตะกอนภายหลังบำบัดตัวอย่างน้ำเสีย โพลีอิเล็กโตรไลต์จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้บำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ เนื่องจากมีปริมาณกากตะกอนต่ำภายหลังขบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ ทำให้ประหยัดพื้นที่ถังตกตะกอนและลดค่าใช้จ่ายในการรีดน้ำออกจากกากตะกอนเนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน Kawamura (1976 อ้างถึงใน พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2548: 15)

4.6 สรุปภาพรวมผลการทดลอง

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดจาก 3 ส่วน อันได้แก่ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น อัตราเร็วการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนคงเหลือ มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดและอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดรวมทั้งปริมาณกากตะกอนที่คงเหลือต่ำสุด แสดงได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สรุปผลการหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น, อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดและปริมาณกากตะกอนต่ำสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	Highest Turbidity		Fastest Flocculant		Lowest Wet Sludge	
	Removal		Settling		Volume	
	(%)	pH,dose	($\times 10^{-4}$ m/s)	pH,dose	(ml/l)	pH,dose
1. Alum	83.54	6,500	1.56	8,500	21.70	6,500 6,800 8,500
2. FeCl ₃	90.75	10,500	2.71	8,700	20.00	8,700
3. Cationic Polyelectrolyte	79.33	7,0.5	3.38	6,0.5	< 5	ทุกๆ pH, dose
4. Micronized Chitosan	84.28	6,60	1.70	6,0.5	5 - 10	ทุกๆ pH, dose

จากตารางที่ 4.21 พบว่า FeCl₃ ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงที่สุดร้อยละ 90.75 ที่ pH 10 ความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาที เมื่อใช้โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเป็นสารรวมตะกอนที่สภาวะทดลอง pH เท่ากับ 6 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารรวมตะกอนที่ให้ปริมาณกากตะกอนคงเหลือภายหลังบำบัดที่ 60 นาที ต่ำที่สุด คือสารโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก โดยให้ปริมาณกากตะกอนคงเหลือภายหลังบำบัดที่ 60 นาที ในทุกๆ สภาวะทดลอง คือ มีปริมาณกากตะกอนต่ำไม่เกิน 5 มิลลิลิตรต่อลิตร

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาดังกล่าวในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังการบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี โดยใช้สารรวมตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม เพอริคลอไรด์ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกและ **Micronized Chitosan** ซึ่งในแต่ละสารรวมตะกอนที่ทำการทดลอง ได้ทดลองในห้องปฏิบัติการทางเคมี มีสภาวะการทดลองในแต่ละสารรวมตะกอนดังนี้ สารส้ม ทดลองที่ pH 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเพอริคลอไรด์ ทดลองที่ pH 8, 9 และ 10 ความเข้มข้นของสารเพอริคลอไรด์เท่ากับ 300, 500 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก ทำการทดลองที่ pH 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นของเท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และ **Micronized Chitosan** ทดลองที่ pH 4, 5 และ 6 ความเข้มข้นของ **Micronized Chitosan** เท่ากับ 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการสรุปผลการทดลองแยกตามวัตถุประสงค์แบ่งได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

- 5.1 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal)
- 5.2 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling)
- 5.3 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณกากตะกอนคงเหลือ (Wet Sludge Volume)

ซึ่งผลการทดลองข้อ 5.1, 5.2 และ 5.3 แสดงได้ดังตารางที่ 5.1 - 5.6 ดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal)

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (ร้อยละ)															
Alum			FeCl ₃			Cationic -polyelectrolyte			Chitosan --- Micronized chitosan						
pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)				
	500	800	1000		300	500	700		0.3	0.5	0.7	60	80	100	
6	83.54	57.43	14.23	8	87.46	87.66	85.27	6	73.14	72.89	72.52	4	75.62	71.04	70.67
7	77.35	63.61	62.13	9	88.16	81.23	84.25	7	77.85	79.33	71.57	5	55.82	45.17	47.65
8	74.04	70.29	55.07	10	78.30	90.75	89.15	8	69.59	71.82	62.13	6	84.28	74.00	58.79

จากตารางที่ 5.1 พบว่า เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดคือ ร้อยละ 83.54 ที่ pH เท่ากับ 6 ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นสารรวมตะกอนให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 90.75 ที่ pH เท่ากับ 10 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 79.33 ที่ pH 7 ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 84.28 ที่ pH เท่ากับ 6 ความเข้มข้นเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดของแต่ละสารรวมตะกอนมาเปรียบเทียบกัน พบว่า เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 90.75 จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของแต่ละสารรวมตะกอนโดยเลือกที่ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่สูงที่สุดมาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดของแต่ละสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	% Turbidity Removal	pH ,Dose (mg/l)
1. สารส้ม (Alum)	83.54	6,500
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	90.75	10,500
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polyelectrolyte)	79.33	7,0.5
4. Micronized Chitosan	84.28	6,60

จากตารางที่ 5.2 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของแต่ละสารรวมตะกอนที่มากที่สุดเมื่อเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ เฟอริกคลอไรด์ Micronized Chitosan สารส้ม และโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุ ตามลำดับ

จากตารางที่ 5.3 พบว่า เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.56×10^{-4} เมตรต่อวินาที และเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอน พบว่าที่ pH 9 ความเข้มข้นเท่ากับ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.71×10^{-4} เมตรต่อวินาที เมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน ที่ pH เท่ากับ 6 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาที และเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน พบว่าที่ pH 6 ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.70×10^{-4} เมตรต่อวินาที

เมื่อนำอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของแต่ละสารรวมตะกอนมาเปรียบเทียบกัน พบว่า สารรวมตะกอน ได้แก่ Cationic Polyelectrolyte มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาทีจากผลการทดลองเพื่อหาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยของแต่ละสารรวมตะกอนเมื่อนำเอาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดมาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอนแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	อัตราเร็วการ ตกตะกอนเฉลี่ย (v) , ($\times 10^{-4}$ m/s)	pH, Dose (mg/l)
1. สารส้ม (Alum)	1.56	8,500
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	2.71	9,700
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte)	3.38	6,0.5
4. Micronized Chitosan	1.70	4,100

จากตารางที่ 5.4 อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยของแต่ละสารรวมตะกอนที่เร็วที่สุดเรียงลำดับจากเร็วที่สุดไปช้าที่สุด คือ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก เฟอริกคลอไรด์ Micronized Chitosan และสารส้ม ตามลำดับ

5.3 ผลการทดลองเพื่อหาปริมาณกากตะกอนคองเหลือ (Wet Sludge Volume)

ตารางที่ 5.5 ปริมาณกากตะกอนคองเหลือ (ml/l) ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

ปริมาณกากตะกอนคองเหลือ ,ml/l												
Alum			FeCl ₃			Cationic - Polyelectrolyte			Micronized Chitosan			
pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	
	500	800	1000	300	500	700	0.3	0.5	0.7	60	80	100
6	21.70	21.70	23.30	8	40.00	48.30	20.00	6	< 5	< 5	5 -10	5 -10
7	41.70	36.70	48.30	9	38.30	45.00	45.00	7	< 5	< 5	5 -10	5 -10
8	21.70	35.00	46.70	10	43.30	58.30	73.30	8	< 5	< 5	5 -10	5 -10

จากตารางที่ 5.5 พบว่าเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน ให้ปริมาณกากตะกอนต่ำสุด หลังการบำบัดที่เวลา 60 นาที เท่ากับ 21.70 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ pH 6 ความเข้มข้น เท่ากับ 500 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารรวมตะกอนให้ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดหลังการบำบัดที่เวลา 60 นาที เท่ากับ 20.00 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ pH 8 ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte เป็นสารรวมตะกอน อาจกล่าวได้ว่า มีปริมาณกากตะกอนคงเหลือต่ำสุด ภายหลังการบำบัดที่ 60 นาที เกือบเท่ากันทุกสภาวะ pH และความเข้มข้น คือ มีปริมาณกากตะกอนไม่เกิน 5 มิลลิลิตรต่อลิตร และ ในทำนองเดียวกัน เมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน ภายหลังการบำบัดที่ 60 นาที มีปริมาณกากตะกอนสุดท้ายเกือบเท่ากันทุกสภาวะ pH และความเข้มข้น คือ มีปริมาณกากตะกอนประมาณ 5 – 10 มิลลิลิตรต่อลิตร

เมื่อนำปริมาณกากตะกอนต่ำสุดภายหลังการบำบัดที่ 60 นาที มาเปรียบเทียบกับในแต่ละชนิดของสารรวมตะกอน พบว่า Cationic Polyelectrolyte ให้ปริมาณกากตะกอนสุดท้ายหลังการบำบัดที่ 60 นาทีต่ำสุด คือ ไม่เกิน 5 มิลลิลิตรต่อลิตร

จากผลการทดลองหาปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้สารรวมตะกอนแต่ละชนิด เมื่อนำเอาปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นต่ำสุด มาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแสดงได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	ปริมาณกากตะกอน (ml/l)	pH, Dose(mg/l)
1. สารส้ม (Alum)	21.70	6,500 6,800 8,500
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	20.00	8,700
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polyelectrolyte)	ไม่เกิน 5	ทุก ๆ pH, Dose
4. Micronized Chitosan	ประมาณ 5 – 10	ทุก ๆ pH, Dose

จากตารางที่ 5.6 ปริมาณกากตะกอนต่ำสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดเรียงลำดับจากปริมาณตะกอนคงเหลือต่ำที่สุดไปสูงที่สุดคือ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก Micronized Chitosan สารเฟอริกคลอไรด์ และสารส้ม ตามลำดับ

5.4 การพิสูจน์สมมติฐานการศึกษา

จากสมมติฐานการศึกษา(หัวข้อ 1.5 ในบทที่ 1) ดังต่อไปนี้

5.4.1 สมมติฐานที่ 1 การบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีโดยใช้สารรวมตะกอนจำพวกโพลีเมอร์ (โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกและ Micronized Chitosan) เป็นสารรวมตะกอนให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal) สูงกว่าการใช้สารรวมตะกอนประเภทเกลืออนินทรีย์ (สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์) เป็นสารรวมตะกอน

5.4.2 สมมติฐานที่ 2 การบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีโดยใช้สารรวมตะกอนจำพวกโพลีเมอร์ (โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกและ Micronized Chitosan) เป็นสารรวมตะกอน มีอัตราเร็วการตกตะกอน (Flocculant Settling) เร็วกว่า การใช้สารรวมตะกอนประเภทเกลืออนินทรีย์ (สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์) เป็นสารรวมตะกอน

5.4.3 สมมติฐานที่ 3 การบำบัดด้วยน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมีโดยใช้สารรวมตะกอนจำพวกโพลีเมอร์ (โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกและ Micronized Chitosan) เป็นสารรวมตะกอน ก่อให้เกิดกากตะกอน (Wet Sludge Volume) น้อยกว่า การใช้สารรวมตะกอนประเภทเกลืออนินทรีย์ (สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์) เป็นสารรวมตะกอน

5.4.1 การพิสูจน์สมมติฐานที่ 1

จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น จะเลือกประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่สูงที่สุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดมาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นแสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	% Turbidity Removal
1. สารส้ม (Alum)	83.54
2. เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl ₃)	90.75
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte)	79.33
4. Micronized Chitosan	84.28

จากตารางที่ 5.7 เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด มาเรียงลำดับจากประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่สูงที่สุดไปน้อยที่สุด เป็นดังนี้ $\text{FeCl}_3 > \text{Micronized Chitosan} = \text{Alum} > \text{Cationic Polyelectrolyte}$

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานที่ 1 เนื่องจาก FeCl_3 มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงสุดและสูงกว่า ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อเติม Micronized Chitosan และ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก รวมทั้ง เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงกว่าโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก อีกด้วย

5.4.2 การพิสูจน์สมมติฐานที่ 2

จากผลการทดลองหาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย เมื่อนำเอาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด มาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอน แสดงได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย (v), ($\times 10^{-4}$ m/s)
1. สารส้ม (Alum)	1.56
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	2.71
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte)	3.38
4. Micronized Chitosan	1.70

จากตารางที่ 5.8 เมื่อนำอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด มาเรียงลำดับจากอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเร็วที่สุดไปช้าที่สุด เป็นดังนี้ $\text{Cationic Polyelectrolyte} > \text{FeCl}_3 > \text{Micronized Chitosan} > \text{Alum}$

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานที่ 2 เนื่องจาก FeCl_3 มีอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงกว่าอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเมื่อใช้ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอน

5.4.3 การพิสูจน์สมมติฐานที่ 3

จากผลการทดลองหาปริมาณกากตะกอน เมื่อนำเอาปริมาณกากตะกอนต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิด มาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ แสดงได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบปริมาณกากตะกอนต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

Coagulants	ปริมาณกากตะกอน (ml/l)
1. สารส้ม (Alum)	21.70
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl ₃)	20.00
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte)	ไม่เกิน 5
4. Micronized Chitosan	ประมาณ 5 - 10

จากตารางที่ 5.9 เมื่อนำปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังจากบำบัดต่ำสุด ซึ่งเกิดขึ้นจากการเติมสารรวมตะกอนแต่ละชนิดมาเรียงลำดับจากปริมาณกากตะกอนต่ำที่สุดไปมากที่สุดเป็นดังนี้ Cationic Polyelectrolyte < Micronized Chitosan < FeCl₃ < Alum

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ยอมรับ สมมติฐานที่ 3 เนื่องจากเมื่อใช้ โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก และ Micronized Chitosan เป็นสารรวมตะกอนทำให้เกิดปริมาณกากตะกอนต่ำกว่าใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน

5.5 การคำนวณค่าใช้จ่าย

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายเมื่อใช้สารรวมตะกอนแต่ละชนิด ในที่นี้การเลือกปริมาณสารรวมตะกอนแต่ละชนิดจะเลือกเฉพาะชุดการทดลอง ที่ทำให้เกิดปริมาณกากตะกอนต่ำสุด อัตราเร็วการตกตะกอนค่อนข้างเร็ว โดย สารส้ม เลือกที่ pH 8 ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เฟอริกคลอไรด์เลือกที่ pH 8 ความเข้มข้น 700 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก เลือกที่ pH 6 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Micronized Chitosan เลือกที่ pH 4 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการคำนวณแสดงได้ ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อหน่วยบำบัดน้ำ 1 ลิตร

Coagulants	ราคา (บาท/กก.)	Dose ที่ เลือก (mg/l)	ปริมาณ ที่ใช้ต่อน้ำ 1 ลิตร (kg/l)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ ลิตร)
	(a)	(b)	(c) = $b/10^6$	(c*a)
1. สารส้ม (Alum)	5	500	5.0×10^{-4}	2.5×10^{-3}
2. เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	15-30	700	7.0×10^{-4}	0.02
3. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte)	100	0.5	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-5}
4. Micronized Chitosan	500 - 1000	100	1.0×10^{-4}	0.01

หมายเหตุ: 1 ราคาของสารรวมตะกอนเป็นราคาโดยประมาณตามท้องตลาด ณ มิถุนายน 2549

2 การคำนวณค่าใช้จ่ายคิดจากราคา/ปริมาณของสารรวมตะกอนเท่านั้น โดยไม่ได้คิดรวมค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการปรับ pH และเตรียมสารละลาย

5.6 การเปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อหาชนิดของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ

เมื่อนำสารรวมตะกอนทั้ง 4 ชนิดมาพิจารณาตามผลการทดลองเพื่อหาชนิดของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบโดย พิจารณาจากอัตราเร็วการตกตะกอนสูงที่สุด ปริมาณกากตะกอนคงเหลือต่ำที่สุด pH หลังบำบัด ราคาต่อหน่วยบำบัดน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดร่วมกับประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น แสดงผลได้ดังตารางที่ 5.11

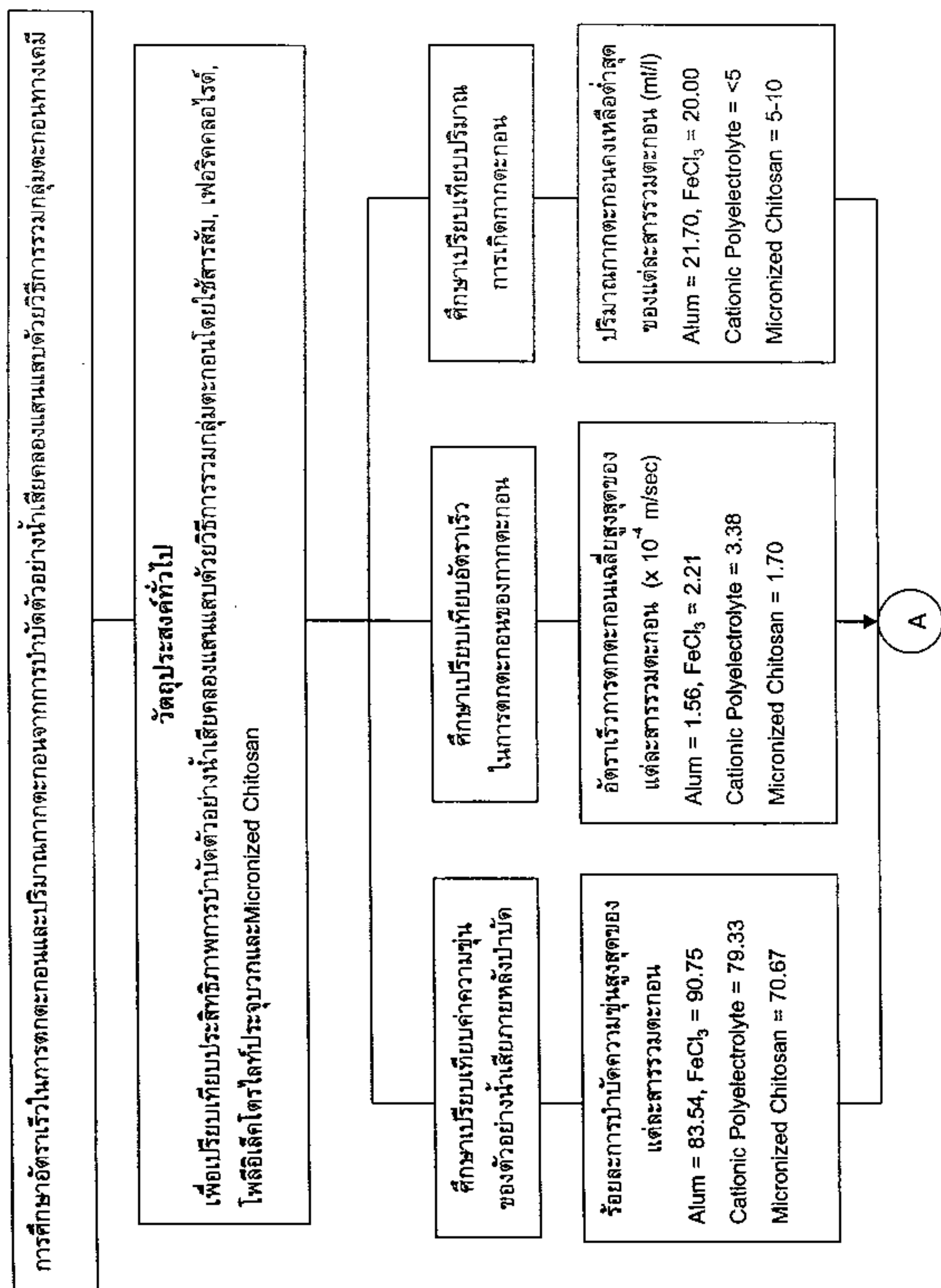
ตารางที่ 5.11 สรุปผลการทดลองเพื่อหาชนิดของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ

Coagulants	Optimum Condition		Flocculant Settling $\times 10^{-4}$ (m/s)	Wet Sludge Volume (ml/l)	Environmental Friendly Condition		pH After Treated	Cost (Baht/ 1 L)	Turbidity Removal (%)
	pH	Dose(mg/l)							
Alum	8	500	1.56	21.70	Residual Al ³⁺		6.77	0.0025	74.04
FeCl ₃	8	700	2.21	20.00	acidic pH range		2.43	0.0210	85.27
Cationic Polyelectrolyte	6	0.5	3.38	< 5	Ecotoxicological effects are expected to be lower ^(a)		6.90	0.00005	72.89
Micronized Chitosan	4	100	1.70	5-10	Acidic pH, Biopolymer		4.33	0.0100	70.67

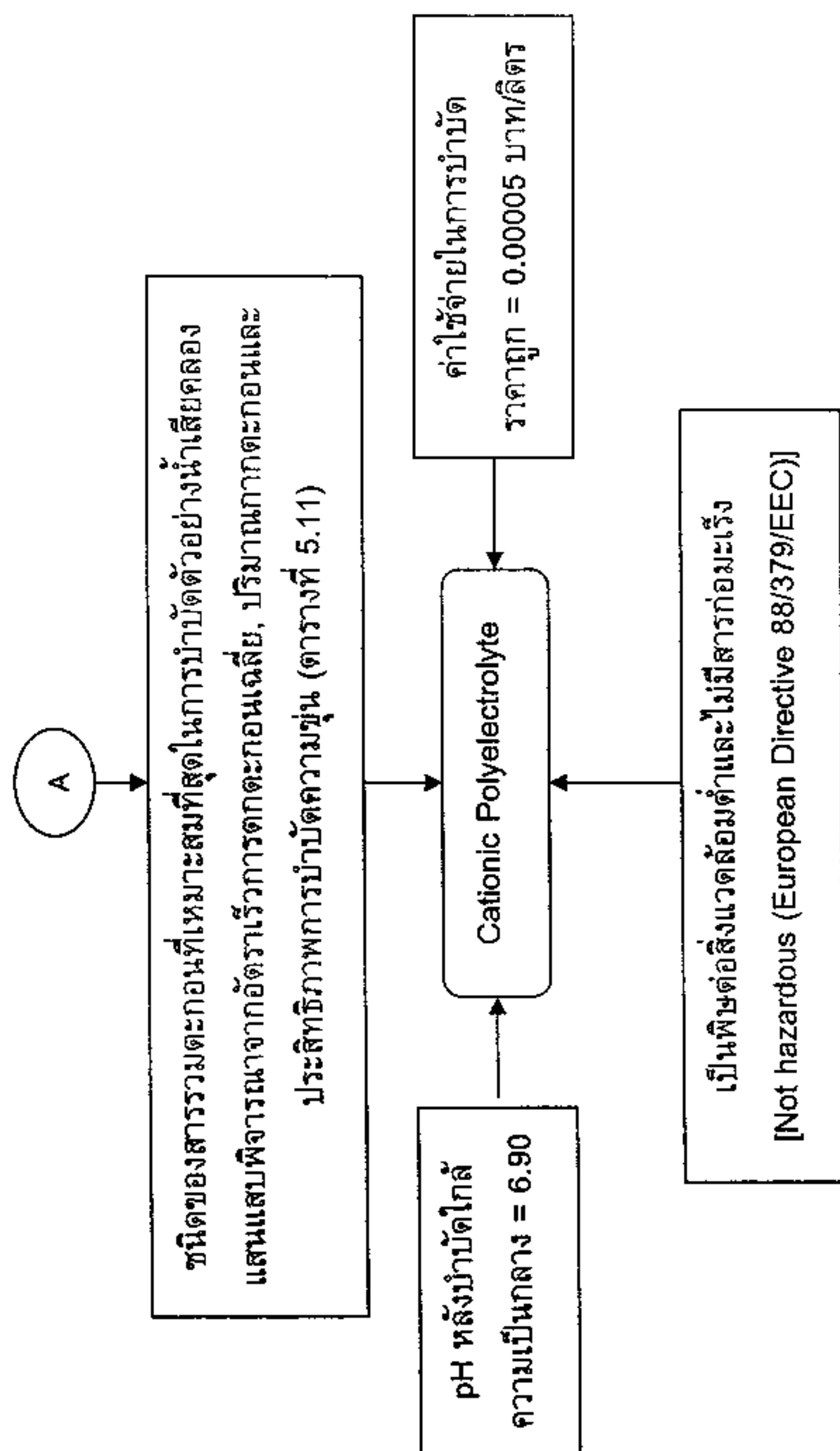
หมายเหตุ: a คือ ข้อมูลจำเพาะของโพลีอิเล็กโตรไลต์แสดงในภาคผนวก ค

จากตารางที่ 5.11 พบว่า โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกเป็นชนิดของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบ ทั้งนี้เพราะให้อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.38×10^{-4} เมตรต่อวินาที ปริมาณกากตะกอนต่ำสุด คือ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร pH หลังบำบัดเท่ากับ 6.9 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงความเป็นกลางและเป็นค่า pH ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินและอาจทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการปรับ pH อีกรวมทั้งประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเท่ากับ ร้อยละ 72.89 ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดแต่ก็มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นที่ไม่ต่ำเกินไป โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัด คือ pH เท่ากับ 6 ความเข้มข้นเพียง 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกทั้งยังใช้สารโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวกในปริมาณต่ำอีกด้วย

สำหรับสารรวมตะกอนชนิดอื่นๆ นั้น เมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขต่างๆ ประกอบกันแล้วพบว่า pH หลังบำบัดต่ำได้แก่ FeCl_3 และ Micronized Chitosan ถึงแม้ว่าจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดและอัตราเร็วการตกตะกอนค่อนข้างเร็วก็ตาม ส่วนสารส้มปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นมากกว่าสารรวมตะกอนชนิดอื่น อีกทั้งใช้ปริมาณสารส้มค่อนข้างมากจึงส่งผลให้ประหยัดน้อยกว่าการใช้โพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก สำหรับผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปผลได้ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 สรุปผลการทดลองเพื่อหาสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสีย



ภาพที่ 5.1 (ต่อ)

5.7 ข้อจำกัดในการทดลอง

การทดลองเรื่อง การศึกษาอัตราเร็วในการตกตะกอนและปริมาณกากตะกอนภายหลังจากการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนทางเคมี พบว่ามีข้อจำกัดในการทดลองดังต่อไปนี้

5.7.1 การศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำเสียคลองแสนแสบในระยะเวลาที่สั้นเพียง 1 วัน เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ในการศึกษา แต่ในสภาพความเป็นจริง น้ำในคลองแสนแสบจะมีความแปรปรวนจากหลายปัจจัยเนื่องจากมีหลายกิจกรรมบริเวณริมคลอง เช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นช่วงๆ การเดินเรือและการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจกรรมของผู้คนที่อาศัยริมคลอง เป็นต้น ดังนั้น คุณสมบัติและปริมาณของน้ำเสียอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา

5.7.2 ข้อจำกัดในการอ่านค่าปริมาณกากตะกอนสุดท้ายที่เวลา 60 นาที เนื่องจากปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำกว่าสเกลต่ำสุดของกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

5.8 ข้อเสนอแนะ

5.8.1 ควรทดลองโดยใช้โพลีเมอร์ร่วมกับสารรวมตะกอนอนินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

5.8.2 เพื่อสามารถอธิบายผลการทดลองที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น ควรวัดศักยภาพซีตาของตัวอย่างน้ำเสียซึ่งจะทำให้ทราบว่าประจุสุทธิของตัวอย่างน้ำเสียมีค่าเท่าใดและควรใช้สารรวมตะกอนหรือสารโคแอกกูแลนต์ชนิดใดและปริมาณเท่าไรที่เหมาะสมและควรหาค่าศักยภาพซีตาของกากตะกอน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงประจุสุทธิของกากตะกอน

5.8.3 เพื่อให้ได้ค่าปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณตะกอนมีค่าต่ำมากควรหาค่าปริมาณกากตะกอนโดยน้ำหนักแห้งเปรียบเทียบกับปริมาณของกากตะกอนเปียก (Wet Sludge)

5.8.4 เพื่อประเมินความเป็นพิษของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดภายหลังที่ใช้ในการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียอาจทำการหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหลืตกค้างในน้ำตัวอย่างภายหลังทดลอง

5.8.5 เพื่อประเมินผลกระทบจากความเร็วและเวลาในการกวนต่อขบวนการโคแอกกูเลชัน อาจทำการทดลองโดยกำหนดให้เวลาในการกวนและความเร็วในการกวนเป็นตัวแปรอิสระในการทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการเตรียมสารละลาย

วิธีการเตรียมสารละลาย

1. วิธีเตรียมสารละลาย (Stock Solution) ของ Cationic polyelectrolyte 0.1%

โดย 0.1% solution = 1,000 mg/l ใน stock

1. ชั่งสาร โพลีอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) ปริมาณ 0.125 กรัม
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 125 ml ที่เตรียมไว้ใน บีกเกอร์
3. กวนสารให้ละลายด้วยเครื่องกวนสาร (Stirrer)

4. การตรวจ Stock Solution ของ cationic polyelectrolyte เพื่อ ทดสอบน้ำ ทำได้ดังนี้

4.1 การทดสอบ polyelectrolyte ที่ความเข้มข้น 0.3 ppm หรือ (mg/l) ปิเปิด
Stock Solution of Polyelectrolyte ปริมาตร 0.03 ml ใส่ในน้ำตัวอย่างที่จะทดสอบปริมาตร 100 ml

4.2 การทดสอบ polyelectrolyte ที่ความเข้มข้น 0.5 ppm หรือ (mg/l) ปิเปิด
Stock Solution of Polyelectrolyte ปริมาตร 0.05 ml ใส่ในน้ำตัวอย่างที่จะทดสอบปริมาตร 100 ml

4.3 การทดสอบ polyelectrolyte ที่ความเข้มข้น 0.7 ppm หรือ (mg/l) ปิเปิด
Stock Solution of Polyelectrolyte ปริมาตร 0.07 ml ใส่ในน้ำตัวอย่างที่จะทดสอบปริมาตร 100 ml

2. การเตรียม Stock Solution ของ Micronized Chitosan

- 2.1 ชั่ง Micronized Chitosan ปริมาณ 1.25 กรัม
- 2.2 ใส่ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 ml
- 2.3 กวนสารให้ละลายด้วยเครื่องกวนสาร (Stirrer) เป็นเวลา 15 -20 นาที ให้เกล็ด

Micronized Chitosan อุ่นน้ำ

- 2.4 ใส่กรด อะซิติกเข้มข้น ปริมาตร 1 ml เพื่อละลาย Micronized Chitosan ทั้งหมด
- 2.5 เติมน้ำกลั่นส่วนที่เหลือ ปริมาตร 25 ml ผสมต่อ อีก 15 -20 นาที
- 2.6 เมื่อละลายจนหมด จะได้ Micronized Chitosan เข้มข้น ร้อยละ 1 หรือ 10,000

มิลลิกรัมต่อลิตร ในการดอะซิติก ร้อยละ 1

2.8 วิธีการตรวจ Stock Solution ของ Micronized Chitosan เพื่อทำการทดสอบน้ำใน แต่ละความเข้มข้นทำได้ดังนี้

2.8.1 การทดสอบ Micronized Chitosan ที่ ความเข้มข้น 60 ppm หรือ mg/l
 ปิเปต Stock Solution ของ Micronized Chitosan ปริมาตร 0.6 ml ใส่ในน้ำตัวอย่างที่จะทดสอบ
 ปริมาตร 100 ml

2.8.2 การทดสอบ Micronized Chitosan ที่ ความเข้มข้น 80 ppm หรือ mg/l
 ปิเปต Stock Solution ของ Micronized Chitosan ปริมาตร 0.8 ml ใส่ในน้ำตัวอย่างที่จะทดสอบ
 ปริมาตร 100 ml

2.8.3 การทดสอบ Micronized Chitosan ที่ ความเข้มข้น 100 ppm หรือ mg/l
 ปิเปต Stock Solution ของ Micronized Chitosan ปริมาตร 1.0 ml ใส่ในน้ำตัวอย่างที่จะทดสอบ
 ปริมาตร 100 ml

ภาคผนวก ข
มาตรฐานคุณภาพน้ำ

มาตรฐานน้ำประปา
ตามมาตรฐานการประปานครหลวง

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด	เกณฑ์ที่กำหนด อนุโลมให้สูงสุด
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Co lour)	5.0	15.0
รส (Taste)	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
กลิ่น (Odour)	"	"
ความขุ่น (Turbidity) หน่วยซีลิกา	5.0	20.0
ความเป็นกรด ด่าง (pH)	6.5-8.5	ไม่เกิน 9.2
คุณลักษณะทางเคมี (หน่วย มก./ล.)		
ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total Solids)	500	1,500
เหล็ก (Fe)	0.5	1.0
แมงกานีส (Mn)	0.3	0.5
เหล็กและแมงกานีส (Fe & Mn)	0.5	1.0
ทองแดง (Cu)	1.0	1.5
สังกะสี (Zn)	5.0	15.0
แคลเซียม (Ca)	75	200
แมกนีเซียม (Mg)	50	150
ซัลเฟต (SO ₄)	200	250
คลอไรด์ (Cl)	250	600
ฟลูออไรด์ (F)	0.7	1.0
ไนเตรด (NO ₃)	45	45
อัลคินเบนซิลโฟเนต (ABS)	0.5	1.0
ฟีนอลิกซัสแตนซ์ (Phenol)	0.001	0.002

มาตรฐานน้ำประปา
ตามมาตรฐานการประปานครหลวง (ต่อ)

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
คุณลักษณะทางด้านสารเป็นพิษ	
ปรอท (Hg)	0.001
ตะกั่ว (Pb)	0.05
อาร์เซนิก (As)	0.05
เซลีนียม (Se)	0.01
โครเมียม (Cr Hexavalent)	0.05
ไซยาไนด์ (Cn)	0.2
แคดเมียม (Cd)	0.01
บาเรียม (Ba)	1.0
คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา	
แบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนี/มิลลิกรัม)	500
เอ็มพีเอ็น (โคลิฟอร์มอร์แกนิก) ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร	น้อยกว่า 2.2
อี โคไล (<i>E. coli</i>)	ไม่มี

มาตรฐานแหล่งน้ำเพื่อการประปา

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเพื่อการประปา
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5-9
สี (Colour)	(แพลตตินัมโคบอลท์)	300
ความกระด้าง (Hardness)	(มก./ล.)	500
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (DS)	(มก./ล.)	1,500
เหล็ก (Fe)	(มก./ล.)	50
แมงกานีส (Mn)	(มก./ล.)	5
ทองแดง (Cu)	(มก./ล.)	1.5
สังกะสี (Zn)	(มก./ล.)	1.5
ตะกั่ว (Pb)	(มก./ล.)	0.05
โครเมียม (Cr)	(มก./ล.)	0.05 ^{***}
แคดเมียม (Cd)	(มก./ล.)	0.005, 0.05 ^{***}
ฟลูออไรด์ (F ⁻)	(มก./ล.)	1.5
ไนเตรท (NO ₃ as N)	(มก./ล.)	10
บีโอดี (BOD)	(มก./ล.)	6
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total Coliform Bacteria)	(เอ็มพีเอ็น/100 มล.)	-
ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Faecal Coliform Bacteria)	(เอ็มพีเอ็น/100 มล.)	-

หมายเหตุ :

- = น้ำที่มีความกระด้างไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูป CaCO₃
- ** = น้ำที่มีความกระด้างเกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูป CaCO₃
- *** = โครเมียม (Cr hexavalent) ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภท
แหล่งน้ำ
การใช้ประโยชน์

ประเภทที่ 1

ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรม
ทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
- (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
- (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2

ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
- (3) การประมง
- (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3

ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- (2) การเกษตร

ประเภทที่ 4

ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน
- (2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5

ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์

ดัชนีคุณภาพน้ำ ¹	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ² ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5	
1. สี กลิ่น และรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	๒	๒	๒	๒	-	-
2. อุณหภูมิ (Temperature)	๒	-	๒	๒	๒	๒	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	๒	5-9	5-9	5-9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter) ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4. ออกซิเจนละลาย (DO) ^{2/}	มก./ล.	P20	๒	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	๒	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน
6. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	P80	๒	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7. แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	P80	๒	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8. ไนเตรต (NO ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๒		5.0		-	Cadmium Reduction
9. แอมโมเนีย (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๒		0.5		-	Distillation Nesslerization
10. ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	๒		0.005		-	Distillation, 4-Amino antipyrine
11. ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	๒		0.1		-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
12. นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	-	๒		0.1		-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
13. แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	๒		1.0		-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
14. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	๒		1.0		-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
15. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	๒		0.005*		-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
					0.05**			

แหล่งที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

ภาคผนวก ค
ข้อมูลจำเพาะของ
โพลีอิเล็กโตรไลต์และ Micronized Chitosan

ข้อมูลจำเพาะของ Micronized Chitosan



TEL. 5532219, 5516295, 6 FAX. 5516277
TELEX. 51118 KHLAND TH
ATIN JARONG
CORPORATION LTD.
42/58/57 TIVANONH RD. JASA AREA,
AMPHURJANG NONTABURI 11000 THAILAND
โทร 5532219, 5516295, 6 โทรสาร 5516277

Micronized Chitosan

Specification Sheet

Product : Fine grade chitosan made from fresh shirmp / crab shells.

Specification :

Appearance	off white powder
Micronized powder	100 mesh sieve
Odor	odorless
Deacetylation degree	90 % $\pm$ 5
Solubility	Soluble in organic acid
Moisture	10 % max
Viscosity (1% solution / 1% acid)	50 cps
Ash content	2 % max (with calcium supplement)
Heavy metals	10 ppm max
Total plate count	less than 10.00 / g
E. Coli	Absent
Coliform bacteria	Absent
Samonella	Absent

ข้อมูลจำเพาะของโพลีอิเล็กโตรไลต์ประจุบวก

OPTIMER® 9916

Dry Cationic Flocculant



Product Bulletin

PRODUCT DESCRIPTION AND APPLICATION

OPTIMER 9916 is a high charge, cationic, dry flocculant designed as industrial, municipal, recycle and CPI and refining sludge dewatering applications. OPTIMER 9916 can be used as a settling aid in primary clarification. This product functions well with all types of equipment including twin-belt presses, screw presses, dissolved air flotation/induced air flotation, plate-and-frame presses, vacuum filter presses, as well as high shear applications.

PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

Form	Powder
Color	White
Odor	None
Solubility in Water	Complete

ACTIVE CONSTITUENTS

Acrylamide co-polymer, high cationic charge.

REGULATORY APPROVALS

Please refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for the most recent approval information.

MATERIALS OF COMPATIBILITY

Compatible	Not Compatible
304 SS	Mild Steel
316 SS	Aluminum
Plasite 6000	Brass
Plasite 4006	Nickel
Plasite 7122	Neoprene
Polyethylene	Vinyl
PVC	Polyurethane
Viton	
Teflon	
Buna-N	
Hypalon	
Polypropylene	

DOSAGE AND FEEDING

The proper make-up of dry polymer products requires a four-step process: feeding, wetting, mixing and aging. All steps are required to provide a homogeneous solution of maximum activity. Dry polymer is fed into a high energy wetting device that provides maximum dispersion. Following this process, the solution is fed into a tank and receives a gentle mix cycle to achieve maximum activity. The mixed solution is then fed to a holding tank for a period of aging, generally 30 minutes or greater. This product should not be made up at concentrations greater than 0.3%. Polymer solutions that have been properly made up and aged can be fed using either gear or diaphragm pumps. As with all pumps, and especially with high viscosity products, flooded suction is strongly recommended. The quality of water used to make up the polymer is important. Avoid using plant recycle water or other sources high in suspended solids, mineral salts and iron with a pH below 6.5 or above 7.8. A dilution aging tank is recommended.

ENVIRONMENTAL AND TOXICITY DATA

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS), SECTIONS 11 and 12, for the most current data.

SAFETY AND HANDLING

As with any chemical, OPTIMER 9916 should be handled with responsible care. When considering the use of OPTIMER 9916 in a particular application, the Material Safety Data Sheet must be reviewed to assure that the intended use can be accomplished safely. All precautions described in the MSDS should be strictly followed when handling OPTIMER 9916.



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

PRODUCT

OPTIMER 9916

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

PRODUCT NAME OPTIMER 9916

APPLICATION : FLOCCULANT

Date issued : 22/12/2003

COMPANY IDENTIFICATION

CHINA:	ONDEO NALCO (SUZHOU) CO. LTD	TEL: 86-512-68255001	FAX: 86-512-68250130
INDIA:	ONDEO NALCO INDIA LIMITED	TEL: 91-33-22172066	FAX: 91-33-22296858
INDONESIA:	PT ONDEO NALCO INDONESIA	TEL: 62-21-8753175	FAX: 62-21-8753167
KOREA:	ONDEO NALCO KOREA LIMITED	TEL: 82-2-789-6961	FAX: 82-2-786-3140
MALAYSIA:	ONDEO NALCO (MALAYSIA) SDN BHD	TEL: 603-5569 4118	FAX: 603-5569 5955
THE PHILIPPINES:	ONDEO NALCO PHILIPPINES INC	TEL: 63-49-5451550	FAX: 63-49-5453442
SINGAPORE:	ONDEO NALCO PACIFIC PTE LTD	TEL: 65-6861-4011	FAX: 65-6862 0850
THAILAND:	ONDEO NALCO THAILAND LIMITED	TEL: 66-38-955-160	FAX: 66-38-955-166

See Section 16 for address information.

EMERGENCY TELEPHONE NUMBER(S) : See section 16, for Emergency Telephone Numbers.

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

CHEMICAL DESCRIPTION : Cationic high molecular weight acrylamide copolymer

Based on our hazard evaluation, none of the substances in this product are hazardous.

CHEMICAL NAME	CAS NO	% (w/w)
Ingredients determined not to be hazardous		100

3. HAZARDS IDENTIFICATION

HUMAN HEALTH HAZARDS - ACUTE

EYE CONTACT

Can cause mild irritation.

SKIN CONTACT

May cause irritation with prolonged contact.

INGESTION

Not a likely route of exposure. If swallowed a jelly mass may form which in digestion may cause blockage.

INHALATION

Not a likely route of exposure. Repeated or prolonged exposure may irritate the respiratory tract.

HUMAN HEALTH HAZARDS - CHRONIC

No adverse effects expected other than those mentioned above.

4. FIRST AID MEASURES

EYE CONTACT


MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT
OPTIMER 9916

Brush off excess powder. Immediately flush eye with water for at least 15 minutes while holding eyelids open. If symptoms develop, seek medical advice.

SKIN CONTACT

Brush off excess powder. Remove contaminated clothing. Wash off affected area immediately with plenty of water. If symptoms develop, seek medical advice.

INGESTION

Do not induce vomiting without medical advice. If conscious, washout mouth and give water to drink. If reflexive vomiting occurs, rinse mouth and repeat administration of water. Get medical attention.

INHALATION

Remove to fresh air, treat symptomatically. If symptoms develop, seek medical advice.

NOTE TO PHYSICIAN

Based on the individual reactions of the patient, the physician's judgement should be used to control symptoms and clinical condition.

5. FIRE FIGHTING MEASURES
FLASH POINT :

Not flammable

EXTINGUISHING MEDIA

Foam, carbon dioxide, dry powder, other extinguishing agent suitable for Class B fires. For large fires, use water spray or fog, thoroughly drenching the burning material. Water mist may be used to cool closed containers.

UNSUITABLE EXTINGUISHING MEDIA

Do not use water unless flooding amounts are available.

FIRE AND EXPLOSION HAZARD

May evolve oxides of carbon (COx) under fire conditions. May evolve oxides of nitrogen (NOx) under fire conditions. May evolve ammonia (NH4) under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIRE FIGHTING

In case of fire, wear a full face positive-pressure self contained breathing apparatus and protective suit.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES
PERSONAL PRECAUTIONS

Restrict access to area as appropriate until clean-up operations are complete. Use personal protective equipment recommended in Section 8 (Exposure Controls/Personal Protection). Stop or reduce any leaks if it is safe to do so. Ventilate spill area if possible. Have emergency equipment (for fires, spills, leaks, etc.) readily available. Spill may be slippery.

METHODS FOR CLEANING UP

Sweep up and shovel. Reclaim into recovery or salvage drums. Wash site of spillage thoroughly with water. Contact an approved waste hauler for disposal of contaminated recovered material. Dispose of material in compliance with regulations indicated in Section 13 (Disposal Considerations).

ENVIRONMENTAL PRECAUTIONS

This product may pose a risk to the aquatic ecosystem if released. Prevent material from entering sewers or waterways.

7. HANDLING AND STORAGE


MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT
OPTIMER 9916
HANDLING

Do not get in eyes, on skin, on clothing. Do not take internally. Use with adequate ventilation. Avoid generating dusts. Keep the containers closed when not in use. Ensure all containers are labelled.

STORAGE CONDITIONS

Store in suitable labelled containers. Store the containers tightly closed. Store separately from oxidizers. Keep in dry place.

SENSITIVITY TO STATIC DISCHARGE

Dusts in sufficient concentration may be ignitable by static discharge.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION
OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS

Exposure guidelines have not been established for this product. Available exposure limits for the substance(s) are shown below.

OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMITS

	TWA mg/m ³	STEL mg/m ³
ACGIH/TLV		
RESPIRABLE NUISANCE PARTICULATES	3	
INHALABLE (TOTAL) NUISANCE PARTICULATES	10	
China		
PARTICLES NOT OTHERWISE REGULATED	8	10
Hong Kong		
PARTICLES NOT OTHERWISE CLASSIFIED	10	
Malaysia		
RESPIRABLE PARTICULATES	3	
OSHA/PEL		
RESPIRABLE NUISANCE PARTICULATES	5	
INHALABLE (TOTAL) NUISANCE PARTICULATES	15 (total dust)	
Philippines		
INERT OR NUISANCE PARTICULATES, RESPIRABLE FRACTION	5	
INERT OR NUISANCE PARTICULATES, TOTAL DUST	15	
Thailand		
INERT OR NUISANCE DUST, RESPIRABLE	5	
INERT OR NUISANCE DUST, TOTAL	15	

ENGINEERING MEASURES

General ventilation is recommended. Local exhaust ventilation may be necessary when dusts or mists are generated.

PERSONAL PROTECTION
GENERAL ADVICE

The use and choice of personal protection equipment is related to the hazard of the product, the workplace and the way the product is handled. In general, we recommend as a minimum precaution that safety glasses with side-shields and workclothes protecting arms, legs and body be used. In addition any person visiting an area where this product is handled should at least wear safety glasses with side-shields.

RESPIRATORY PROTECTION

Respiratory protection is not normally needed. If dusts are generated, use an approved air-purifying respirator. A dust respirator may be used. If respiratory protection is required, institute a complete respiratory protection program including selection, fit testing, training, maintenance and inspection.

HAND PROTECTION

Rubber gloves, nitrile gloves, butyl gloves, cloth gloves, neoprene gloves, PVC gloves.

SKIN PROTECTION

Wear standard protective clothing.


MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT
OPTIMER 9916
EYE PROTECTION

Wear chemical splash goggles.

HYGIENE RECOMMENDATIONS

Use good work and personal hygiene practices to avoid exposure. Keep an eye wash fountain available. Keep a safety shower available. If clothing is contaminated, remove clothing and thoroughly wash the affected area. Launder contaminated clothing before reuse. Always wash thoroughly after handling chemicals. When handling this product never eat, drink or smoke.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

PHYSICAL STATE	Powder
APPEARANCE	White
ODOR	Ammoniacal
FLASH POINT	Not flammable
SOLUBILITY IN WATER	Complete
VISCOSITY	3.2 - 3.8 cPs @ 25 °C

Note: These physical properties are typical values for this product and are subject to change.

10. STABILITY AND REACTIVITY
STABILITY

Stable under normal conditions.

HAZARDOUS POLYMERIZATION

Hazardous polymerization will not occur.

CONDITIONS TO AVOID

Moisture.

MATERIALS TO AVOID

Contact with strong oxidizers (e.g. chlorine, peroxides, chromates, nitric acid, perchlorate, concentrated oxygen, permanganate) may generate heat, fires, explosions and/or toxic vapors. Contact with strong alkalis (e.g. ammonia and its solutions, carbonates, sodium hydroxide (caustic), potassium hydroxide, calcium hydroxide (lime), cyanide, sulfide, hypochlorites, chlorites) may generate heat, splattering or boiling and toxic vapors.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

Under fire conditions:

- Oxides of carbon
- Oxides of nitrogen
- Ammonia

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION
ACUTE TOXICITY DATA :

The following results are for the product.

ACUTE ORAL TOXICITY :

Species	LD50	Tested Substance
Rat	> 5000 mg/kg	Product

SENSITIZATION :

This product is not expected to be a sensitizer.

CARCINOGENICITY :


MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT
OPTIMER 9916

None of the substances in this product are listed as carcinogens by the International Agency for Research on Cancer (IARC), the National Toxicology Program (NTP) or the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

12. ECOLOGICAL INFORMATION
ECOTOXICOLOGICAL EFFECTS :

The tests for representative polymers were performed in environmentally relevant water with dissolved organic carbon (DOC: 4.5 mg/L). The effects on the aquatic organisms are due to external (non-systemic) mode of action, e.g., suffocation or immobilization. In the presence of suspended material, e.g., DOC, the polymers are bound to suspended material and the bioavailability is substantially reduced. As a result, the effects are expected to be lower.

ACUTE FISH RESULTS :

Species	Exposure	LC50	Test Descriptor
Zebra danio	96 hrs	1 - 10 mg/L	Representative polymers tested in water with DOC

ACUTE INVERTEBRATE RESULTS :

Species	Exposure	LC50	Test Descriptor
Daphnia magna	48 hrs	10 - 100 mg/L	Representative polymers tested in water with DOC

ADDITIONAL ECOLOGICAL DATA :

NOEC on earthworm: > 1000 mg/L (representative polymers)

MOBILITY :

The product is eliminated from aqueous phase via abiotic process (adsorption on suspended material) to a large extent (> 95 %).

BIOACCUMULATION POTENTIAL :

No bioaccumulation will occur. The large size of the polymer is incompatible with transport across the cellular membranes.

Note: The European hazard classification for ecotoxicity for this product (section 15) is based on the "dirty water" test results, consistent with European guidelines.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Dispose of wastes in an approved incinerator or waste treatment/disposal site, in accordance with all applicable regulations. Do not dispose of wastes in local sewer or with normal garbage.

Empty drums should be taken for recycling, recovery, or disposal through a suitably qualified or licensed contractor.

NATIONAL REGULATIONS, CHINA

Comply with local regulations.

NATIONAL REGULATIONS, INDIA

Dispose of unused product in accordance with the "Hazardous Wastes (Management and Handling) Rules 1989" and local and State legislation, as applicable.

NATIONAL REGULATIONS, INDONESIA

Dispose of unused product in accordance with "Government Regulation No.19/1994 On the Treatment of Dangerous And Toxic Waste" (and amendments) as applicable.


MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT
OPTIMER 9916
NATIONAL REGULATIONS, KOREA

Waste disposal should comply with the Waste Control Act.

NATIONAL REGULATIONS, MALAYSIA

Dispose of in accordance with the Environmental Quality (Scheduled Wastes) Regulation 1989 and other guidelines issued by DOE and/or local authorities.

NATIONAL REGULATIONS, PHILIPPINES

Dispose of in accordance with Presidential Decree No. 984-1976 ("The Pollution Control Law"); DENR Department Administrative Order No.29-92 ("The Implementing Rules or Regulations of RA6969") and Presidential Decree No.825.

NATIONAL REGULATIONS, SINGAPORE

Dispose of waste in accordance with the Environmental Health Act (Chapter 95, Rg 11), Environmental Public Health (Toxic Industrial Waste) Regulations 1990 Ed.

NATIONAL REGULATIONS, THAILAND

Dispose of hazardous waste in accordance with the "The Notification of the Ministry of Industry No. 6B.E. 2450, subject : Disposal of Wastes or Unusable Materials ", "The Notification of the Ministry of Industry No. 1B.E. 2451, subject : Disposal of Wastes or Unusable Materials ".

14. TRANSPORT INFORMATION

The information in this section is for reference only and should not take the place of a shipping paper (bill of lading) specific to an order. Please note that the proper Shipping Name / Hazard Class may vary by packaging, properties, and mode of transportation. Typical Proper Shipping Names for this product are as follows:

LAND TRANSPORT
Proper Shipping Name
PRODUCT IS NOT REGULATED DURING TRANSPORTATION
NATIONAL REGULATIONS, CHINA

Comply with local regulations.

NATIONAL REGULATIONS, INDIA

Transport in accordance with the Central Motor Vehicles Rules 1989.

NATIONAL REGULATIONS, INDONESIA

Transport in accordance with all government regulations, including "Regulation of the Minister of Health No.453/Man.Kes/PER/XI/1983.

NATIONAL REGULATIONS, KOREA

Land transport should comply with the Ministerial Decree of Toxic Chemicals Control Law and the Regulations Regarding the Fire Fighting Techniques Standards, as applicable.

NATIONAL REGULATIONS, MALAYSIA

There are no regulations specifically governing the transport of chemicals. Use best practice.

NATIONAL REGULATIONS, PHILIPPINES

Transport in accordance with the following legislation (as applicable): Presidential Decree No. 1185, 1977 ("Fire Code of the Philippines") and implementing rules and regulations; Presidential Decree No. 856, 1975 ("Code of Sanitation"); Republic Act No 6969, 1990 ("Toxic Substances and Hazardous and Nuclear Wastes Control Act") and implementing rules and regulations.

NATIONAL REGULATIONS, SINGAPORE

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET****PRODUCT****OPTIMER 9916**

Land Transport complies with the Environmental Pollution Control (Hazardous Substances) Regulations 1999, which follows the "Specification for Caution Labelling for Hazardous Substances" - Singapore Standard 286 (1984).

NATIONAL REGULATIONS, THAILAND

The product should be transported in accordance with "Hazardous Substances Acts B.E.2535", "Notification of Ministry of Public Health Re: Label and Level of Toxicity of Dangerous Articles Which are Under the Responsibility of Food and Drug Administration 2534 (if applicable)" and "Notification of Land Transportation Department, Subject : Label of truck which contain hazardous material, Notification date : 14 November B.E.2543 (14 November 2000)".

AIR TRANSPORT (ICAO/IATA)

Proper Shipping Name

PRODUCT IS NOT REGULATED DURING TRANSPORTATION

MARINE TRANSPORT (IMDG/IMO)

Proper Shipping Name

PRODUCT IS NOT REGULATED DURING TRANSPORTATION

15. REGULATORY INFORMATION**NATIONAL REGULATIONS, EUROPE AND MALAYSIA****European:**

CLASSIFICATION: This product is not classified as hazardous (European Directive 88/379/EEC).

Malaysian:

CLASSIFICATION: This product is not classified as hazardous, however, we recommend the following safety instructions:

SAFETY PHRASES:

S22 Do not breathe dust.
 S24/25 Avoid contact with skin and eyes.
 S37/39 Wear suitable gloves and eye/face protection.
 S45 In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).

INTERNATIONAL REGULATIONS**NFPA RATING :**

HEALTH : 1 FLAMMABILITY : 1 REACTIVITY : 0 OTHER : -
 0 = Insignificant 1 = Slight 2 = Moderate 3 = High 4 = Extreme

INTERNATIONAL CHEMICAL CONTROL LAWS**TOXIC SUBSTANCES CONTROL ACT (TSCA)**

The substances in this preparation are included on or exempted from the TSCA 8(b) Inventory (40 CFR 710).

EUROPE

The substances in this preparation have been reviewed for compliance with the EINECS or ELINCS inventories.

AUSTRALIA

All substances in this product comply with the National Industrial Chemicals Notification & Assessment Scheme (NICNAS) and are listed on the Australian Inventory of Chemical Substances (AICS).

ภาคผนวก ง
การทดสอบทางสถิติโดยใช้ โปรแกรม
สำเร็จรูป SPSS Version 13

การทดสอบทางสถิติโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 13

1. การบำบัดความขุ่น (Turbidity Removal)

1.1 การทดสอบทางสถิติในการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of Alum

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.141	2	6	.117

ANOVA

turbidity of Alum

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.098	2	1.549	.509	.625
Within Groups	18.242	6	3.040		
Total	21.340	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of Alum

LSD

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
6	7	1.292000	1.423685	.399	-2.19163	4.77563
	8	1.191000	1.423685	.435	-2.29263	4.67463
7	6	-1.292000	1.423685	.399	-4.77563	2.19163
	8	-.101000	1.423685	.946	-3.58463	3.38263
8	6	-1.191000	1.423685	.435	-4.67463	2.29263
	7	.101000	1.423685	.946	-3.38263	3.58463

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of Alum

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7.271	2	6	.025

Robust Tests of Equality of Means

turbidity of Alum

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	3.684	2	2.390	.186

a. Asymptotically F distributed.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of Alum

Dunnett T3

(I) dose (mg/l)	(J) dose (mg/l)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
500	800	-1.174333	.373849	.093	-2.63078	.28211
	1000	-2.788667	1.227474	.288	-10.03570	4.45837
800	500	1.174333	.373849	.093	-.28211	2.63078
	1000	-1.614333	1.243476	.579	-8.60297	5.37430
1000	500	2.788667	1.227474	.288	-4.45837	10.03570
	800	1.614333	1.243476	.579	-5.37430	8.60297

1.2 การทดสอบทางสถิติการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ FeCl₃ เป็นสารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of FeCl3

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.363	2	6	.068

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of FeCl3

LSD

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
8	9	-.182333	.294275	.558	-.90240	.53773
	10	-.059000	.294275	.848	-.77906	.66106
9	8	.182333	.294275	.558	-.53773	.90240
	10	.123333	.294275	.690	-.59673	.84340
10	8	.059000	.294275	.848	-.66106	.77906
	9	-.123333	.294275	.690	-.84340	.59673

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of FeCl3

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.335	2	6	.331

ANOVA

turbidity of FeCl₃

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.041	2	.020	.154	.860
Within Groups	.791	6	.132		
Total	.831	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of FeCl₃

LSD

(I) dose (mg/l)	(J) dose (mg/l)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
300	500	.154000	.296387	.622	-.57123	.87923
	700	.127667	.296387	.682	-.59757	.85290
500	300	-.154000	.296387	.622	-.87923	.57123
	700	-.026333	.296387	.932	-.75157	.69890
700	300	-.127667	.296387	.682	-.85290	.59757
	500	.026333	.296387	.932	-.69890	.75157

1.3 การทดสอบทางสถิติการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ Cationic Polyelectrolyte
เป็น
สารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of poly

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.168	2	6	.050

Robust Tests of Equality of Means

turbidity of poly

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	3.758	2	3.851	.124

a. Asymptotically F distributed.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of poly

Dunnett T3

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
6	7	.272222	.192524	.540	-.93492	1.47937
	8	-.406667	.237274	.436	-1.90006	1.08672
7	6	-.272222	.192524	.540	-1.47937	.93492
	8	-.678889	.304945	.216	-1.84513	.48735
8	6	.406667	.237274	.436	-1.08672	1.90006
	7	.678889	.304945	.216	-.48735	1.84513

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of poly

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.586	2	6	.585

ANOVA

turbidity of poly

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.388	2	.194	1.336	.331
Within Groups	.871	6	.145		
Total	1.259	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of poly
LSD

(I) dose (mg/l)	(J) dose (mg/l)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.3	.5	.094444	.311175	.772	-.66697	.85586
	.7	-.385556	.311175	.262	-1.14697	.37586
.5	.3	-.094444	.311175	.772	-.85586	.66697
	.7	-.480000	.311175	.174	-1.24142	.28142
.7	.3	.385556	.311175	.262	-.37586	1.14697
	.5	.480000	.311175	.174	-.28142	1.24142

1.4 การทดสอบทางสถิติประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเมื่อใช้ไคโตซานเป็นสารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of chitosan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.406	2	6	.171

ANOVA

turbidity of chitosan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.820	2	3.410	7.656	.022
Within Groups	2.672	6	.445		
Total	9.493	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of chitosan

LSD

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4	5	-1.848889*	.544915	.015	-3.18225	-.51553
	6	-.004444	.544915	.994	-1.33780	1.32891
5	4	1.848889*	.544915	.015	.51553	3.18225
	6	1.844444*	.544915	.015	.51109	3.17780
6	4	.004444	.544915	.994	-1.32891	1.33780
	5	-1.844444*	.544915	.015	-3.17780	-.51109

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

Test of Homogeneity of Variances

turbidity of chitosan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.398	2	6	.688

ANOVA

turbidity of chitosan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.689	2	.845	.650	.555
Within Groups	7.803	6	1.301		
Total	9.493	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: turbidity of chitosan
LSD

(I) dose (mg/l)	(J) dose (mg/l)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
60	80	-.690000	.931146	.487	-2.96843	1.58843
	100	-1.043333	.931146	.305	-3.32176	1.23510
80	60	.690000	.931146	.487	-1.58843	2.96843
	100	-.353333	.931146	.717	-2.63176	1.92510
100	60	1.043333	.931146	.305	-1.23510	3.32176
	80	.353333	.931146	.717	-1.92510	2.63176

2. การทดสอบทางสถิติอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย (Flocculant Settling)

2.1 การทดสอบทางสถิติของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเมื่อใช้สารส้มเป็น
สารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

settling of alum

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.799	2	6	.086

ANOVA

settling of alum

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	18.905	.003
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of alum

LSD

(I) pH of alum	(J) pH of alum	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
6	7	-.00004067*	*****	.014	-.000069779	-.000011554
	8	-.00007300*	*****	.001	-.000102113	-.000043887
7	6	*****	*****	.014	.000011554	.000069779
	8	-.00003233*	*****	.035	-.000061446	-.000003221
8	6	*****	*****	.001	.000043887	.000102113
	7	*****	*****	.035	.000003221	.000061446

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

Test of Homogeneity of Variances

settling of alum

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.414	2	6	.679

ANOVA

settling of alum

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	.025	.976
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of alum

LSD

(i) dose of alum	(j) dose of alum	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
500	800	*****	*****	.889	-.000073677	.000083010
	1000	-.00000233	*****	.944	-.000080677	.000076010
800	500	-.00000467	*****	.889	-.000083010	.000073677
	1000	-.00000700	*****	.834	-.000085344	.000071344
1000	500	*****	*****	.944	-.000076010	.000080677
	800	*****	*****	.834	-.000071344	.000085344

2.2 การทดสอบทางสถิติของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

settling of fec13

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.913	2	6	.054

ANOVA

settling of fec13

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	.660	.551
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of fecl3

LSD

(I) pH of fecl3	(J) pH of fecl3	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
8	9	-.00002100	*****	.309	-.00006729	.00002529
	10	-.00000567	*****	.775	-.00005195	.00004062
9	8	.000021000	*****	.309	-.00002529	.00006729
	10	.000015333	*****	.449	-.00003095	.00006162
10	8	.000005667	*****	.775	-.00004062	.00005195
	9	-.00001533	*****	.449	-.00006162	.00003095

Test of Homogeneity of Variances

settling of fecl3

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.248	2	6	.071

ANOVA

settling of fecl3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	2.689	.147
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of fec13

LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) dose of fec13	(J) dose of fec13				Lower Bound	Upper Bound
300	500	.000032000	*****	.079	-.00000513	.00006913
	700	.000003333	*****	.833	-.00003379	.00004046
500	300	-.00003200	*****	.079	-.00006913	.00000513
	700	-.00002867	*****	.108	-.00006579	.00000846
700	300	-.00000333	*****	.833	-.00004046	.00003379
	500	.000028667	*****	.108	-.00000846	.00006579

2.3 การทดสอบทางสถิติของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเมื่อใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

settling of poly

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.027	2	6	.078

ANOVA

settling of poly

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	2.567	.156
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.000	8			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of poly

LSD

(I) pH of poly	(J) pH of poly	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
6	7	.000058333	*****	.125	-.00002163	.00013830
	8	.000068667	*****	.080	-.00001130	.00014863
7	6	-.000058333	*****	.125	-.00013830	.00002163
	8	.000010333	*****	.763	-.00006963	.00009030
8	6	-.000068667	*****	.080	-.00014863	.00001130
	7	-.000010333	*****	.763	-.00009030	.00006963

Test of Homogeneity of Variances

settling of poly

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7.010	2	6	.027

Robust Tests of Equality of Means

settling of poly

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	.485	2	2.695	.661

a. Asymptotically F distributed.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of poly
Dunnett T3

(I) dose of poly	(J) dose of poly	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.3	0.5	-.00004067	*****	.811	-.00028364	.00020230
	0.7	-.00001933	*****	.729	-.00014023	.00010157
0.5	0.3	.000040667	*****	.811	-.00020230	.00028364
	0.7	.000021333	*****	.949	-.00027273	.00031540
0.7	0.3	.000019333	*****	.729	-.00010157	.00014023
	0.5	-.00002133	*****	.949	-.00031540	.00027273

2.4 การทดสอบทางสถิติของอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ยเมื่อใช้ไคโตซาน เป็นสารรวมตะกอน

Test of Homogeneity of Variances

settling of chitosan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.289	2	6	.034

Robust Tests of Equality of Means

settling of chitosan

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	3.359	2	2.888	.176

a. Asymptotically F distributed.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of chitosan

Dunnnett T3

(I) pH of chitosan	(J) pH of chitosan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4	5	.000047000	*****	.456	-.00009171	.00018571
	6	.000061667	*****	.303	-.00011161	.00023494
5	4	-.00004700	*****	.456	-.00018571	.00009171
	6	.000014667	*****	.671	-.00006792	.00009725
6	4	-.00006167	*****	.303	-.00023494	.00011161
	5	-.00001467	*****	.671	-.00009725	.00006792

Test of Homogeneity of Variances

settling of chitosan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.485	2	6	.044

Robust Tests of Equality of Means

settling of chitosan

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	.197	2	2.954	.831

a. Asymptotically F distributed.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: settling of chitosan

Dunnett T3

(I) dose of chitosan	(J) dose of chitosan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
60	80	.00006000	*****	.982	-.00006640	.00007840
	100	.00001533	*****	.969	-.00023318	.00020251
80	60	.00000600	*****	.982	-.00007840	.00006640
	100	.00002133	*****	.933	-.00022706	.00018440
100	60	.00015333	*****	.969	-.00020251	.00023318
	80	.000021333	*****	.933	-.00018440	.00022706

3. การทดสอบทางสถิติของปริมาณกากตะกอน (Wet Sludge Volume)

3.1 การทดสอบทางสถิติของปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
wet sludge of pH 6	3	22.23333	.923760	21.700	23.300
wet sludge of pH 7	3	42.23333	5.818362	36.700	48.300
wet sludge of pH8	3	34.46667	12.508530	21.700	46.700

Ranks

	Mean Rank
wet sludge of pH 6	1.17
wet sludge of pH 7	3.00
wet sludge of pH8	1.83

Test Statistics^a

N	3
Chi-Square	5.636
df	2
Asymp. Sig.	.060

a. Friedman Test

Ranks

	Mean Rank
wet sludge of dose 500	1.50
wet sludge of dose 800	1.50
wet sludge of dose 1000	3.00

Test Statistics^a

N	3
Chi-Square	4.909
df	2
Asymp. Sig.	.086

a. Friedman Test

3.2 การทดสอบทางสถิติของปริมาณกากตะกอนเมื่อใช้เฟอริคคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
wet sludge of ph 8	3	36.1000	14.54751	20.00	48.30
wet sludge of ph 9	3	42.7667	3.86825	38.30	45.00
wet sludge of ph 10	3	58.3000	15.00000	43.30	73.30

Ranks

	Mean Rank
wet sludge of ph 8	1.67
wet sludge of ph 9	1.33
wet sludge of ph 10	3.00

Test Statistics^a

N	3
Chi-Square	4.667
df	2
Asymp. Sig.	.097

a. Friedman Test

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
wet sludge of dose 300	3	40.5333	2.54231	38.30	43.30
wet sludge of dose 500	3	50.5333	6.92556	45.00	58.30
wet sludge of dose 700	3	46.1000	26.66702	20.00	73.30

Ranks

	Mean Rank
wet sludge of dose 300	1.33
wet sludge of dose 500	2.50
wet sludge of dose 700	2.17

Test Statistics^a

N	3
Chi-Square	2.364
df	2
Asymp. Sig.	.307

a. Friedman Test

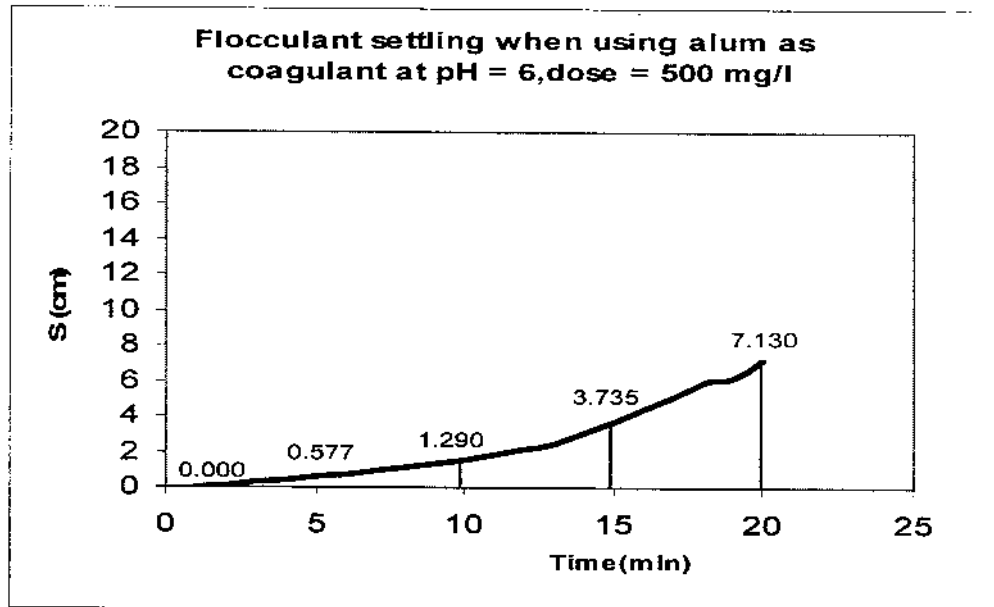
ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย

การคำนวณอัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟหรือได้จากสูตร

$$\text{อัตราเร็ว}(v) = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$



ที่ช่วงเวลา 1 – 5 นาที ; $v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{(0.577 - 0.000)}{(5 - 1)} = 0.144$

ที่ช่วงเวลา 5 – 10 นาที ; $v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{(1.290 - 0.577)}{(10 - 5)} = 0.143$

ที่ช่วงเวลา 10 – 15 นาที ; $v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{(3.735 - 1.290)}{(15 - 10)} = 0.489$

ที่ช่วงเวลา 15 -20 นาที ; $v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{(7.130 - 3.735)}{(20 - 15)} = 0.679$

ดังนั้น อัตราเร็วการตกตะกอนเฉลี่ย (v) = $\frac{0.14 + 0.14 + 0.49 + 0.68}{4} = 0.362$ เซนติเมตรต่อนาที

$$v = 0.60 \times 10^{-4} \text{ เมตรต่อวินาที}$$

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. การบำบัดน้ำเสีย. วันที่ 15 ธันวาคม 2548 จาก
http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s3
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
แห่งประเทศไทย.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2535. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริม
คุณภาพสิ่งแวดล้อม.
- ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ชลทิศ แก้วลี. 2547. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้ตะกอนสารส้มจากการผลิตน้ำประปา.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชัยวัฒน์ บุญดีศรีสกุล. 2547. การกำจัดทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียโดย
กระบวนการสร้างและการรวมตะกอนด้วยสารรวมตะกอนชนิดต่าง ๆ.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชาญวิทย์ ศรีแก้ว. 2544. การกำจัดลิแกนด์จากน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อกระดาษด้วย
โคโคแซน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชุดาภักดิ์ เกษมช่วงโชติ. 2547. การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและลักษณะ
เฉพาะของโคโคซานต่อการจับตัวของโคโคซานกับสารแขวนลอยจุลินทรีย์.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ณรงค์ วุฒเสถียร. 2543. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ณัฐพล เอี่ยมอ้น. 2549. การบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำสกัดชีวภาพจากกากส่าเหล้าหมัก:
กรณีศึกษาน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- ทิตยา นันหมื่น. 2548. การบำบัดน้ำเสียจากคลองแสนแสบโดยใช้วิธีการรวมกลุ่ม
ตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

- ธวัชชัย วิเชียรเครือ. 2544. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบของเทศบาลนครอุดรธานีด้วยสารโพลีเฟอร์ริกซัลเฟต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นภา วัฒนยง. 2544. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตแซน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประภัสสร สุวัฒนาวรรณ. 2549. ไคติน – ไคโตซาน. ค้นวันที่ 3 สิงหาคม 2549 จาก <http://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html>
- ประยูร เพียตะเนร. 2544. การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยในโตรเจนสำหรับฝรั่งที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปาริชาติ จุลพันธ์. 2544. การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยวิธีการตกตะกอนด้วยเบนโทไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรศักดิ์ สมรไกรสกิจ. 2548. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation). กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ. ค้นวันที่ 2 กรกฎาคม 2549 จาก <http://www.mwa.co.th/download/etc01/coagulation.pdf>
- มันสิน ดัชนีเวช. 2537. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วิชัย รูปขำดีและคณะ. 2542. คุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนริมคลองแสนแสบกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคลอง. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- วิโรจน์ ทรัพย์สัตย์. 2544. การศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิสาข ภูจินดา. 2548. เทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สนทยา เลหาบุตร. 2535. การออกแบบและพัฒนาเครื่องกวาดตะกอนของถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรุงเทพมหานคร. 2548. คุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2547-2548. ค้นวันที่ 2 กรกฎาคม 2549 จาก http://service.nso.go.th/nso/data/data23/stat_23/toc_22/22.7-2.xls

- สุจิตรา บุญรัตน์. 2537. การศึกษาผลกระทบจากการเดินเรือโดยสารของกรุงเทพมหานคร.
กรุงเทพฯ: สำนักวิจัย สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สุธา ขาวเขียว. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
แห่งประเทศไทย.
- อักรเดช จันทรพิพัฒน์. 2549. การแยกโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหาร
โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี: กรณีศึกษา บริษัท ดูเอโนโฟน เคมีคัลส์ อินเตอร์
(ประเทศไทย) จำกัด. ภาคนิพนธ์คณะพัฒนาสังคมและการจัดการสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- Aboulhassan, MA. et al. 2005. Treatment of Textile Wastewater Using a Natural
Flocculant. **Environ Technol.** 26(6): 705-711. Retrieved July 4, 2006
from NCBI-PubMed.
- Aguilar, MI et al. 2002. Nutrient Removal and Sludge Production in the Coagulation
Flocculation Process. **Water Research.** 36(June): 2910-2919.
Retrieved July 3, 2006 from ScienceDirect.
- Ahmad, A.L., Sumathi, S. and Hameed, . B.H. 2005. Coagulation of Residue Oil and
Suspended Solid in Palm Oil Mill Effluent by Chitosan, Alum and PAC.
Chemical Engineering Journal. 118 (May 1): 99-105. Retrieved April 27,
2006 from ScienceDirect.
- AL-Mutairi, N.Z., Hamoda, M.F. and Al-Ghusain, I. 2004. Coagulant Selection and
Sludge Conditioning in a Slaughterhouse Wastewater Treatment Plant.
Bioresource Technology. 95(November): 115-119. Retrieved July 12, 2006
from ScienceDirect.
- Bolto, Brian et al. 1999. Experimental Evaluation of Cationic Polyelectrolyte for
Removing Natural Organic Matter from Water. **Water Science and
Technology.** 40(November): 71-79. Retrieved April 4, 2006 from
ScienceDirect.
- Copolymer of Acrylamide for Retention & Strenght.** 2006. Retrieved August 13,
2006 from <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/copl.htm>
- Fisherie Department. 2006. **Wastewater Treatment in the Fishery Industry.**
Retrieved April 5, 2006 from
<http://www.fao.org/DOCREP/003/V9922E/V9922E06.htm>

- Lafleur. 2005. **Jar Testing**. Retrieved November 20, 2005 from
<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/BiotechEnviron/Environmental/WATER/jar.html>
- Lenntech. 2006. **Reagents**. Retrieved August 12, 2006 from
<http://www.lenntech.com/reagents.htm>
- Ma, Kungsong and Pierre, Alain C. 1999. Colloidal Behaviour of Montmorillonite in Presence of Fe^{3+} ions. **Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects**. 155(September): 359-372. Retrieved June 27, 2006 from ScienceDirect.
- Ming, Jiang. et al 2005. The Chitosan Flocculant Behaviors and Its Effect Combined with Inorganic Flocculant. **International Conference on Energy, Environment and Disasters-INCEED2005**. Retrieved July 6, 2006 from
www.iseg.giees.uncc.edu/INCEED2005/Abstracts/Abstract_ID_482.pdf
- North Carolina State University. 2006. **Copolymers of Acrylamide for Retention and Strength**. Mini-Encyclopedia of Papermaking Wet-End Chemistry. Retrieved August 13, 2006 from <http://www.4.ncsu.edu/-hubbe/COPL.htm>
- Roussy, Chastellan, Vooren and Guibal. 2005. **Treatment of Ink-Containing Wastewater by Cogulation/Flocculation Using Biopolymers**. Retrieved July 5, 2006 from <http://www.wrc.org.za>
- Zhao, Y.Q. 2002. Settling Behaviour of Polymer Flocculated Water-Treatment Sludge I: Analyses of Settling Surves. **Separation and Purification Technology**. 35(February): 71-80. Retrieved May 10, 2006 from ScienceDirect.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล
ประวัติการศึกษา

นางสาวภัทราวดี ภูมิภักดิ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2541