

การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี



นางสาวเกศรินทร์ วรเวชวิทยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**TURBIDITY AND ALGAE REMOVAL FROM WATER  
BY CHEMICAL COAGULATION**



**Miss Katesarin Vorradetwittaya**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering**

**Department of Environmental Engineering**

**Faculty of Engineering**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 2009**

**Copyright of Chulalongkorn University**

**520743**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำโดยวิธีรวมตะกอน  
ทางเคมี

โดย

นางสาวเกศรินทร์ วรรณวิชา

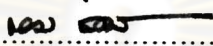
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

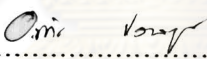
รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

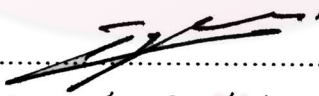
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

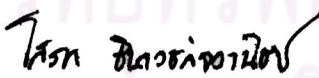
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสภา ชินเวชกิจวานิชย์)

เกศรินทร์ วรเวชวิทยา : การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี (TURBIDITY AND ALGAE REMOVAL FROM WATER BY CHEMICAL COAGULATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 163 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำดิบจากคลองประปา โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Modified Polyaluminium chloride, PACI) และอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate, ACH) และสารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนในการผลิตน้ำประปา และใช้สารช่วยสร้างตะกอน คือ โพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ประจุบวก ทำการทดลองด้วยวิธีจาร์เทสต์ เพื่อหาค่าปริมาณสารสร้างตะกอนและสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสม โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอน

ผลการศึกษาพบว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดสามารถกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปาที่มีค่าความขุ่นต่ำ (น้อยกว่า 50 เอ็นทียู) ได้ตามมาตรฐานการผลิตน้ำประปา (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) ซึ่งใช้ปริมาณสารส้มมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 25.0 1.6 และ 1.0 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.54 88.61 และ 88.9 ตามลำดับ มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.100 0.032 และ 0.014 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม. และพบว่าโพลีเมอร์สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดลงได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

สำหรับผลการทดลองเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนในการตกตะกอนสาหร่ายในน้ำดิบ พบว่าอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตสามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด รองลงมาคือสารส้ม และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 2.2 30.0 และ 1.6 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายร้อยละ 77.94 68.18 และ 66.82 ตามลำดับ มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.044 0.120 และ 0.022 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิติศ.....เกศรินทร์.....วรเวชวิทยา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....Ornir 1๖๓.....

ปีการศึกษา.....2552.....

## 5070541021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : TURBIDITY REMOVAL / POLYALUMINIUM CHLORIDE / ALUMINIUMCHLOROHYDRATE

KATESARIN VORRADETWITTAYA : TURBIDITY AND ALGAE REMOVAL FROM WATER BY CHEMICAL COAGULATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 163 pp.

The objective of this research was to investigate the removal efficiency of turbidity and algae from raw canal water by using 3 types of coagulants namely: polyaluminium chloride(PACl), aluminum chlorohydrate(ACH) and alum, and using type of polyelectrolytes : anionic polymer and cationic polymer. The jar test methods were performed by varying type and dosage of polyelectrolyte.

The result showed that all coagulant could remove turbidity from raw canal water, which has initial turbidity below 50 NTU to meet drinking water quality standard. The optimum dosage of alum, aluminum chlorohydrate(ACH) and polyaluminium chloride(PACl) were 25.0, 1.6 and 1 mg/l respectively. The turbidity removal efficiency were 88.54, 88.61 and 88.9% respectively. The Chemical costs were 0.100, 0.032 and 0.014 baht/1 m<sup>3</sup> of raw water respectively. Furthermore, polymer can be used to reduce the dosage of all coagulant and also increase the turbidity removal efficiency.

The result from algae experimental showed that ACH of 2.2 mg/l provided the best result in algae removal from raw canal water. The efficiency in algae removal by ACH was achieved at 77.94%. While the optimum dosage of alum and PACl were 30.0 and 1.6 mg/l respectively. At the algae removal efficiency were 68.18 and 66.82% respectively. The Cost of coagulant were 0.044, 0.120 and 0.022 baht/1 m<sup>3</sup> of raw canal water respectively.

Department : Environmental Engineering.....

Student's Signature Katesarin Vorradetwittaya

Field of Study : Environmental Engineering.....

Advisor's Signature Orathai Chavalparit

Academic Year : 2009.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสภาน ชินเวชกิจวานิชย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัย รวมทั้งให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณศิริไฉไล กิจพิทักษ์ ผู้อำนวยการกองผลิตและจำหน่ายโรงงานผลิตน้ำประปาสามเสน และคุณฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล หัวหน้าส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยรวมทั้งให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึงข้อคิดเห็นและแนวทางในการแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับทุกๆ ความช่วยเหลือที่มีให้จนประสบความสำเร็จ

ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 คอลลอยด์ (Colloid).....	3
2.2 กระบวนการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (coagulation and flocculation).....	6
2.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนเคมี.....	9
2.4 การใช้โพลีเมอร์เป็นสารฟล็อกกูแลนต์.....	16
2.5 กลไกทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ด้วยสาร โพลีอิเล็กโทรไลต์.....	19
2.6 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการตกตะกอนเคมี.....	22
2.7 การควบคุมกระบวนการตกตะกอนเคมี.....	26
2.8 วิธีจาร์เทสต์ (Jar test) .....	27
2.9 ลักษณะสมบัติของน้ำผิวดิน.....	28
2.10 เทคโนโลยีการบำบัด.....	32
2.11 สาหร่าย (algae).....	33
2.12 การวัดมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Growth and biomass measurement of algae).....	43
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46

	ช
บทที่	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	52
3.1 สถานที่ทำการวิจัย.....	52
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	52
3.3 แผนการทดลอง.....	53
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	56
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	61
4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของน้ำผิวดิน โดยใช้สารสร้าง ตะกอน 3 ชนิด.....	61
4.2 การศึกษาปริมาณของสารสร้างตะกอน และชนิดของสารช่วยสร้างตะกอนที่มี ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำ.....	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	107
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	109
รายการอ้างอิง.....	110
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก ผลการทดลองกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปา.....	115
ภาคผนวก ข ผลการทดลองกำจัดสาหร่ายน้ำดิบจากคลองประปา.....	125
ภาคผนวก ค มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง.....	160
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	163

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจำแนกประเภทของระบบคอลลอยด์แบบต่างๆ.....	4
2.2	คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	31
2.3	การจัดชั้นน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร และแพลงก์ตอนพืชที่เป็นชนิดเด่นในชั้นน้ำระดับต่างๆ.....	42
2.4	การจัดชั้นน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร และกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นชนิดเด่นในชั้นน้ำระดับต่างๆ	42
3.1	ตารางแสดงปริมาณสารสร้างตะกอนที่เดิม (ในการกำจัดความขุ่น).....	56
3.2	ตารางแสดงปริมาณสารสร้างตะกอนที่เดิม (ในการกำจัดความสาหร่าย) .....	56
3.3	พารามิเตอร์และวิธีการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ.....	60
4.1	คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้มในการกำจัดความขุ่น.....	62
4.2	คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้ม 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในการกำจัดความขุ่น.....	63
4.3	คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้ม 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความขุ่น.....	63
4.4	คุณภาพน้ำจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดความขุ่น.....	68
4.5	คุณภาพน้ำจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในการกำจัดความขุ่น.....	69
4.6	คุณภาพน้ำจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความขุ่น.....	69
4.7	คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตในการกำจัดความขุ่น .....	74
4.8	คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในการกำจัดความขุ่น.....	75
4.9	คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความขุ่น.....	75
4.10	ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบ.....	85
4.11	ชนิดและปริมาณสาหร่ายที่พบในน้ำดิบ.....	88

4.12	คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้มในการกำจัดสาหร่าย.....	90
4.13	คุณภาพน้ำจากการใช้โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสาหร่าย.....	93
4.14	คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดสาหร่าย.....	96
4.15	ชนิดและจำนวนสาหร่ายที่พบในน้ำดิบและน้ำหลังการทดลอง.....	102
4.16	ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสาหร่ายในน้ำ ดิบ.....	105



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ.....	3
2.2 แสดงการเข้ามาแอ็คกัันบริเวณผิวของอนุภาคคอลลอยด์ของไอออนประจุบวก	5
2.3 แสดงการกระจายของประจุไอออนลบและบวกรอบผิวของอนุภาคคอลลอยด์...	5
2.4 เภณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัระหว่างอนุภาคต่างๆ.....	8
2.5 ลักษณะของการเกิดขึ้น ไอออนที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์.....	12
2.6 พลังงานระหว่างอนุภาคคอลลอยด์.....	13
2.7 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์.....	20
2.8 ความเป็นไปได้ในการจัดเรียงตัวของสาร โพลีอิเล็กโทรไลต์บนอนุภาคที่มีความ แน่นประจุลบต่ำ.....	21
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารสัมพันธ์กับพีเอช.....	23
2.10 แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกลไกโคการตกตะกอนเคมีของสารส้ม.....	24
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้างและสารเคมี.....	25
2.12 ความขุ่นแม่น้ำเจ้าพระยาหน้าสถานีสูบน้ำสำแล.....	30
2.13 ความขุ่นแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดเก็บน้ำพงษ์เพชร.....	32
2.14 Sedgwick-Rafter (S-R) counting chamber.....	45
2.15 Hemacytometer counting chamber.....	45
2.16 พื้นที่ตารางสำหรับการนับเซลล์สาหร่าย.....	45
3.1 อุปกรณ์จาร์เทสต์.....	53
3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายของน้ำผิวดิน.....	55
3.3 แผนผังการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมของน้ำผิวดิน.....	58
3.4 แผนผังการศึกษาหาชนิดและปริมาณ โพลีเมอร์ที่เหมาะสมของน้ำผิวดิน.....	59
4.1 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม.....	64
4.2 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ.....	65
4.3 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	66

4.4	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-คลอไรด์.....	70
4.5	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-คลอไรด์ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ.....	71
4.6	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-คลอไรด์โพลีเมอร์ประจุบวก.....	72
4.7	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์.....	76
4.8	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ.....	77
4.9	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก.....	78
4.10	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว	79
4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารสร้างตะกอนร่วมกับ โพลีเมอร์.....	80
4.12	เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวในการกำจัดความขุ่น.....	82
4.13	เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนร่วมกับ โพลีเมอร์ในการกำจัดความขุ่น.....	83
4.14	สรุปผลการทดลองของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบ	86
4.15	ปริมาณของสาหร่ายที่พบในน้ำดิบ.....	89
4.16	เปอร์เซ็นต์ของสาหร่ายที่พบในน้ำดิบ.....	89
4.17	คำร้องและการกำจัดสาหร่าย พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วย สารส้ม.....	91
4.18	ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและชนิดของสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตของ สารส้ม.....	92
4.19	คำร้องและการกำจัดสาหร่าย พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วย โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	94
4.20	ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและชนิดของสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตของ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	95

4.21	คำร้อยละการกำจัดสาหร่าย ฟิเอย และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วย อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์.....	97
4.22	ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและชนิดของสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตของ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์.....	98
4.23	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว	100
4.24	ภาพถ่าย <i>Chlorella</i> spp. จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20X.....	101
4.25	ภาพถ่าย <i>Oscillatoria</i> spp. จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20X.....	101
4.26	ร้อยละการกำจัดสาหร่ายจำแนกตามชนิดของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด.....	103
4.27	เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารสร้าง ตะกอนเพียงอย่างเดียวในการกำจัดสาหร่าย.....	104
4.28	สรุปผลการทดลองของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบ	106

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน ปริมาณการใช้น้ำประปาเพื่อการอุปโภคและบริโภคของประชากรไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จากข้อมูลของการประปานครหลวง ในปี พ.ศ.2549 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาของภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมประมาณ 73,400 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีและยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 98,800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ในปี พ.ศ. 2553 โดยส่วนใหญ่จะใช้แหล่งน้ำดิบตามธรรมชาติ คือ น้ำผิวดิน ซึ่งมักจะมีสารปนเปื้อน (impurities) ซึ่งได้แก่ ความขุ่น สี สารอินทรีย์อื่นๆ โดยแหล่งน้ำหลายแห่งมีความขุ่นสูง และมีปัญหาการปนเปื้อนสารอินทรีย์สูงขึ้น เนื่องจากการทิ้งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและชุมชน ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลง โดยเฉพาะปัญหาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียและแหล่งน้ำผิวดินบางแห่งพบว่ามีปริมาณสาหร่ายเซลล์เดียวสูงมากในช่วงฤดูแล้งประมาณ 1,000 ยูนิต์ต่อ 100 มิลลิลิตร ซึ่งเหล่านี้จะมีปัญหากับระบบผลิตน้ำประปา เนื่องจากหลังจากผ่านระบบตกตะกอนเคมีแล้ว ยังมีค่า TDS, DOC สูง จึงจำเป็นต้องมีการนำน้ำดิบดังกล่าวไปผ่านกระบวนการกำจัดความขุ่น สารอินทรีย์ และสาหร่าย

สำหรับการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน โรงงานผลิตน้ำประปาจะกำจัดความขุ่นด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารส้ม ซึ่งพบว่าสารส้มนั้นมีข้อจำกัดที่มีสภาพเป็นกรด ทำให้พีเอชของน้ำในระบบการผลิตลดต่ำลง รวมทั้งจะไปเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของผู้บริโภคและปัญหาโลหะในสิ่งแวดล้อม และในระบบการผลิตน้ำประปายังมีวิธีการกำจัดสาหร่ายโดยใช้คลอรีน ซึ่งอาจทำให้เกิดสาร Trihalomethanes (THMs) ที่เป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นหากสามารถกำจัดสาหร่ายจากน้ำโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีได้อย่างเดียว ก็จะช่วยลดความเสี่ยงจากสารก่อมะเร็ง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการดำเนินการ คือ การเติมสารเคมี เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในขั้นการกวนเร็ว (rapid mixing) การรวมฟล็อกปฐม (initial floc) ในขั้นการรวมตะกอน (flocculation) การแยกตะกอนรวมออกจากน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยการตกตะกอน (sedimentation) และการกรอง (filtration) ตะกอนที่ยังเหลือจากการตกตะกอน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทั้งสามชนิดในการกำจัดสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำดิบ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายของน้ำดิบ โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ และสารส้ม
2. ศึกษาปริมาณของสารสร้างตะกอน และชนิดของสารช่วยสร้างตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายในน้ำ
3. ประเมินค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายของน้ำดิบจากคลองประปา โรงผลิตน้ำประปาสามเสน ภายในห้องปฏิบัติการโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ด้วยวิธีจาร์เทสต์
2. การวิจัยใช้สารสร้างตะกอนแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (ACH) และสารส้ม และสารช่วยสร้างตะกอน 2 ชนิด ได้แก่ โพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ประจุบวก
3. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าทีเอช ความขุ่น สภาพค่า ความนำไฟฟ้า อัตราเร็ว การกรอง ความเข้มข้นสาหร่าย และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ
4. พารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสร้างตะกอน ชนิดและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ ค่าทีเอชเริ่มต้น ความขุ่นของน้ำเริ่มต้น
5. การวิจัยจะทำการทดลองหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของสารเคมีของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

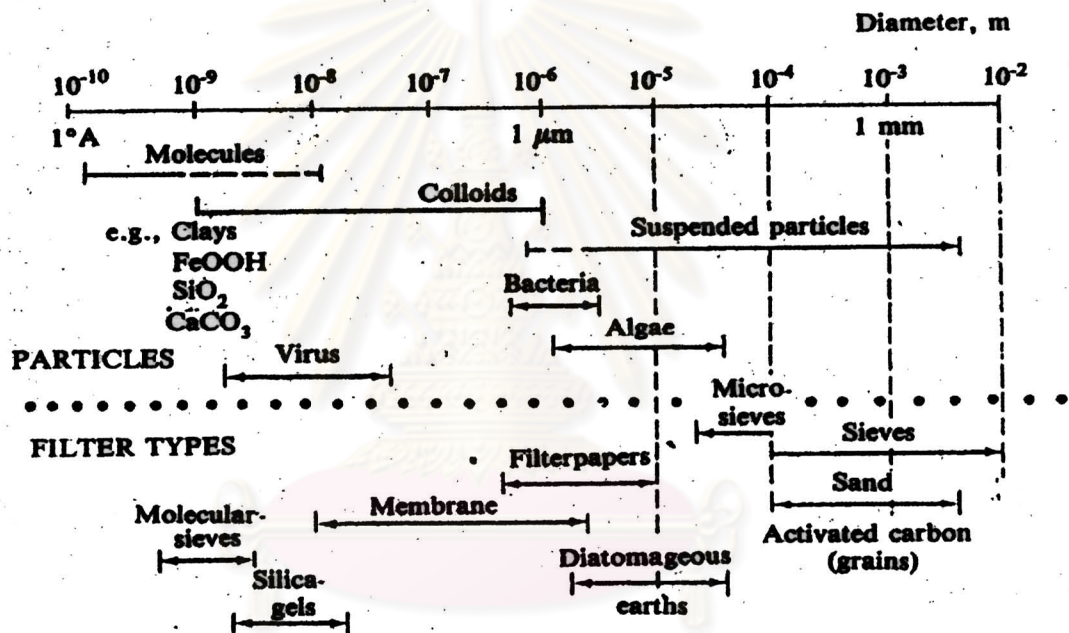
เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการประยุกต์ใช้กำจัดความขุ่นและสาหร่ายในน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาหรือสำหรับกระบวนการผลิตน้ำใช้ในอุตสาหกรรมที่มีปัญหาจากการปนเปื้อนสาหร่ายในน้ำดิบ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คอลลอยด์ (Colloid)

อนุภาคคอลลอยด์เป็นตัวสร้างปัญหาในเรื่องความขุ่นให้กับระบบการผลิตน้ำประปาเป็นอย่างมาก เพราะหากน้ำดิบที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปามีความขุ่นมาก และไม่มีกระบวนการในการผลิตน้ำที่ดีเพียงพอ จะส่งผลทำให้น้ำที่ผลิตได้ไม่มีคุณภาพตามที่ต้องการ การที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากตัวของคอลลอยด์เองมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในระยะเวลาที่จำกัด (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ (Benfield, Judkins and Weand, 1982)

ระบบคอลลอยด์ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลาง ซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียว (Continuous Medium) อนุภาคต่าง ๆ นั้นเรียกว่า Dispersed Phase ส่วนสารตัวกลางเรียกว่า Dispersing Phase หรือ Dispersed Medium

เราอาจจำแนกระบบคอลลอยด์ตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ได้เป็นพวกที่ชอบน้ำหรือไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) และพวกที่ไม่ชอบน้ำหรือไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายกว่าแบบไฮโดรฟิลิก (ตารางที่ 2.1)



ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของระบบคอลลอยด์แบบต่างๆ

Disperse medium	Disperse phase	Name	Example
Liquid	Solid	Sol	Clay turbidity in water
Liquid	Liquid	Emulsion	Oil in water
Liquid	Gas	Foam	Whipped cream
Gas	Solid	Aerosol	Dust, Smoke
Gas	Liquid	Aerosol	Mist, Fog
Solid	Liquid	-	Colored glass
Solid	Gas	Gel	Jelly
Solid	Solid	Gel	Pumice

ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538

### 2.1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์อาจจะเป็นประจุบวกหรือลบก็ได้ โดยที่อนุภาคคอลลอยด์แบบที่ไม่ชอบน้ำมักจะมีประจุลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียวชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ ผิวดิน โลหะอื่นๆ ส่วนอนุภาคคอลลอยด์แบบที่ชอบน้ำมักจะมีประจุเป็นบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ ผงซักฟอก

การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อนุภาคต่างๆกระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่เราเรียกว่า ฟล็อก (Floc)

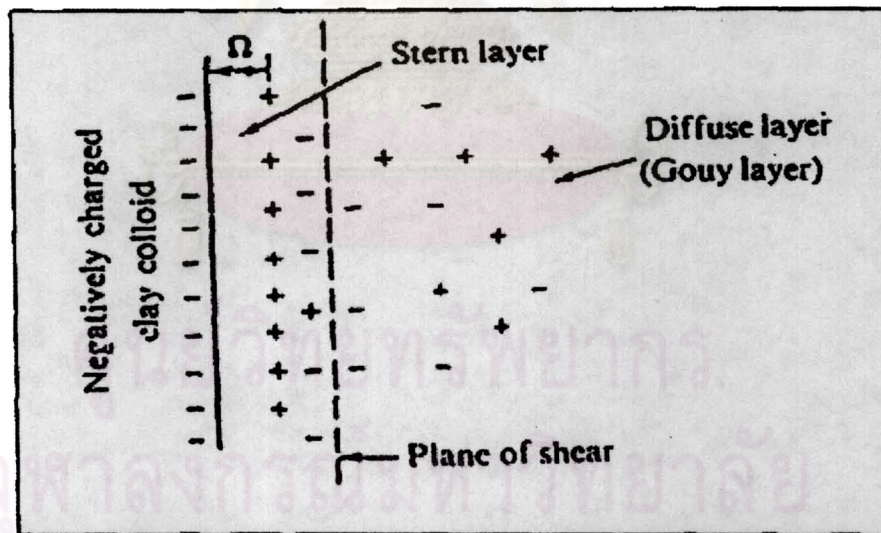
ทฤษฎีที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์ คือ Electric Double Layer Theory ตัวอย่างเช่น อนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ เนื่องจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ไอออนประจุบวกที่อยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาหาได้โดยที่ไอออนประจุบวกจะเข้ามาแออัดอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งจะมีความหนาแน่นสูงที่สุดบริเวณที่อยู่ติดกับผิวอนุภาคคอลลอยด์และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาคคอลลอยด์ (ดังภาพที่ 2.2) ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของคอลลอยด์ทำให้การกระจายของไอออนบวกและลบเป็นไปตามปกติ

ตามทฤษฎีของ Double Layer เชื่อว่า ไอออนประจุบวกชั้นในที่สุดไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้เนื่องจากไอออนประจุบวกมักจะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของไอออนประจุบวกที่อยู่ใกล้ที่สุด (ซึ่งชั้นอยู่กับขนาดของไอออน) จะมีชั้นบางๆที่เรียกว่า Stern Layer ขวางกั้นอยู่ นอกจากนั้นยังมีเปลือกชั้นนอก

ที่มีชื่อเรียกว่าชั้นกระจายหรือ Diffuse Layer ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาค  
หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์) (ดังภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.2 แสดงการเข้ามาแออัดกันบริเวณผิวของอนุภาคคอลลอยด์ของไอออนประจุบวก  
(มันสิน คัมขุทเวศม์, 2538)



ภาพที่ 2.3 แสดงการกระจายของประจุไอออนลบและบวกรอบผิวของอนุภาคคอลลอยด์  
(Benfield, Judkins and Weand, 1982)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์สามารถวัดได้ในรูปของค่าศักย์ตาโพเทนเชียล  
(Zeta Potential ;  $Z_p$ ) ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่ผิว (หรือเปลือก) นอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับ  
อนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งเรียกว่า Plane of Shear ค่าศักย์ตาโพเทนเชียลนี้สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอก

ถึงระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ โดยที่หากมีค่านี้อ่อนคอลลอยด์จะมีเสถียรภาพสูง ในทางตรงกันข้าม หากมีค่านี้อ่อนคอลลอยด์จะมีเสถียรภาพต่ำ ซึ่งคอลลอยด์จะรวมตัวกันเป็นฟล็อกได้ง่าย

## 2.2 กระบวนการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (coagulation and flocculation)

ในน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่ มักจะมีแร่ธาตุหรือเศษอนุภาคดินต่างๆปะปนอยู่ด้วยอย่างมาก การที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำมาผลิตน้ำประปา จึงมีความจำเป็นจะต้องกำจัดอนุภาคที่ทำให้เกิดน้ำเกิดความขุ่น ซึ่งการกำจัดอนุภาคความขุ่น ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่การกำจัดจะทำได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่เรียกว่า อนุภาคคอลลอยด์ (colloidal particle) ซึ่งมีขนาด  $10^{-6}$  ถึง  $10^{-3}$  มิลลิเมตร ไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองในเวลาที่ย่ำกัด จึงต้องทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคจนเป็นก้อนเรียกว่า ฟล็อก โดยการใส่สารเคมีบางอย่างทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์เพื่อทำการแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำ ซึ่งเรียกกระบวนการการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยใช้สารเคมีว่า กระบวนการ โคแอกกูเลชัน (coagulation) เมื่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพ เคลื่อนที่มาสัมผัสก็จะเกิดการชนกันรวมตัวกันเป็นฟล็อก ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (flocculation) ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการทั้งสองมีดังต่อไปนี้

### 2.2.1 การสร้างตะกอน (Coagulation)

เป็นการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่ง ซึ่งกระทำโดยการเติมสารสร้างตะกอน (Coagulant) ภายใต้อุณหภูมิที่น้ำมีความปั่นป่วนอย่างรุนแรง ซึ่ง อาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1) การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ โดยลดค่าซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential) โดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ผลคือชั้นกระจายที่มีความหนาลดลงและทำให้ค่าซีตาโพเทนเชียลลดลงด้วย

2) การดูดติดผิวและการทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) โดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับประจุอนุภาคคอลลอยด์และสามารถดูดติดผิวบนอนุภาคคอลลอยด์ได้

3) การใช้กลไกการกวาด (sweep coagulation) เกิดโดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป ทำให้เกิดผลึกของสารประกอบซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากขึ้นซึ่งระบบผลิตน้ำประปาที่ใช้อยู่ก็ใช้กลไกชนิดนี้

4) ใช้สารช่วยสร้างตะกอนเป็นสะพานเชื่อม (Polymer bridging) อธิบายโดยโมเดลที่เรียกว่า polymer bridging ในขั้นตอนแรกโมเลกุลของสารช่วยสร้างตะกอนจะเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์อาจเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันระหว่างสารช่วยสร้างตะกอนและคอลลอยด์อนุภาคที่มีสารช่วยสร้างตะกอนเกาะติดอยู่ โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (destabilization) ขั้นตอนต่อมาคือ อนุภาคดังกล่าวจะไปจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีสารช่วยสร้างตะกอนเป็นสะพานเชื่อม ซึ่งทำให้เกิดฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ และสามารถแยกตัวจากน้ำได้ง่าย ถ้าใช้สารช่วยสร้างตะกอนมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสีย เนื่องจากสารช่วยสร้างตะกอนหลายโมเลกุลจะไปเกาะบนอนุภาคคอลลอยด์จนไม่มีที่ว่างบนอนุภาค สำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของสารช่วยสร้างตะกอนที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆ ซึ่งเรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (restabilized) การกวนน้ำแรงเกินไปก็จะทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์กลับคืนมาเช่นกัน เนื่องจากฟล็อกที่เกิดแตกตัวเป็นส่วนๆ และทำให้ปลายอิสระของสารช่วยสร้างตะกอนเกาะจับอนุภาคอันเดิม

### 2.2.2 การรวมตะกอน (Flocculation)

เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสให้มากที่สุด (Transports of colloidal) จะมีการเติมสารเคมีประเภทสารสร้างตะกอนเพื่อทำลายความหนาของชั้นกระจายโดยการทำลายประจุไฟฟ้าบนอนุภาคคอลลอยด์ หรือการเพิ่มเป่าสัมผัสในกระบวนการแบบฟล็อกกวาด (sweepfloc coagulation) หรือการใช้สารช่วยสร้างตะกอนพร้อมกับการกวนน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อให้สารสร้างตะกอนกระจายไปยังส่วนต่างๆอย่างรวดเร็ว อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะเกิดกระบวนการรวมตะกอนอย่างสมบูรณ์เพียงใดขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทำให้เกิดสัมผัสที่มีหลายวิธี

#### 1) ออร์โธไคเนติกฟล็อกกูเลชัน (Orthokinetic Flocculation)

เป็นวิธีที่ทำให้อนุภาคต่างๆมีการสัมผัสกันโดยอาศัยการกวนน้ำในลักษณะที่มีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสและรวมตัวกันขึ้นเป็นกลุ่มก้อน อัตราเร็วที่ใช้ในการกวนน้ำจะต้องไม่เร็วจนเกินไป จนทำให้กลุ่มของอนุภาคคอลลอยด์ที่รวมตัวกันนั้นแตกและหลุดออกจากกัน การสร้างสัมผัสด้วยวิธีนี้เหมาะสมสำหรับอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน (ภาพที่ 2.4) และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

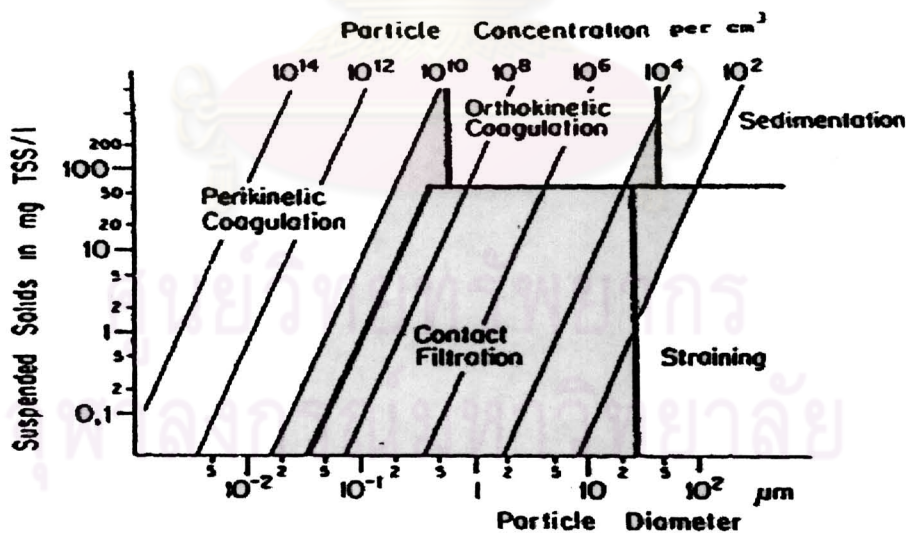
## 2) เพอริไคเนติกฟล็อกกูเลชัน (Perikinetic Flocculation)

วิธีนี้เป็นการรวมกันของอนุภาค โดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบอาศัยความร้อน (Thermal motion) ความร้อนจากการเคลื่อนที่จะมีการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและชนอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งก็คือความขุ่นที่กระจายอยู่ในน้ำนั่นเอง เป็นผลทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีการเคลื่อนที่และจะเกิดการสัมผัสกันรวมเป็นกลุ่มของอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้น การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย วิธีนี้เหมาะสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (ภาพที่ 2.4) ซึ่งเมื่ออนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน การรวมตัวแบบนี้จะมีบทบาทน้อยมาก การสร้างสัมผัสแบบนี้มีข้อดีตรงที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก

## 3) วิธีตกตะกอน (Sedimentation)

การสัมผัสระหว่างอนุภาคอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอน (Sedimentation) ที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคของอนุภาคขนาดต่างๆ การสัมผัสกันของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถกำจัดอนุภาคกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย เงื่อนไขของการสัมผัสกันด้วยวิธีนี้ คือ ขนาดของอนุภาคต้องใหญ่กว่า 5 ไมครอน (ภาพที่ 2.4) และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 2.4 เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคต่างๆ  
(มันสิน ตันจุลเวศม์, 2532)

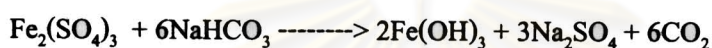
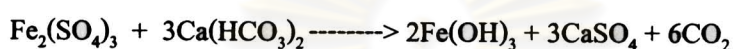
## 2.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนเคมี

ในปัจจุบัน สารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการตกตะกอนเคมีแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีสารต่างๆ ดังนี้

### 2.3.1 เฟอร์ริกซัลเฟต ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )

โดยทั่วไปแล้วสารสร้างตะกอนที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ จะใช้ในช่วงพีเอชที่กว้าง เช่น 4-11 เฟอร์ริกซัลเฟตมักจะใช้ในการกำจัดสีที่ค่าพีเอชต่ำและที่ค่าพีเอชสูงจะใช้ในการกำจัดเหล็ก แมงกานีส และการกำจัดความกระด้าง

สมการปฏิกิริยาเคมีของเฟอร์ริกซัลเฟต มีดังนี้



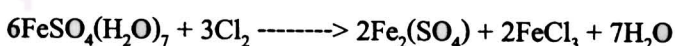
### 2.3.2 เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

อยู่ในรูปของผลึกหรือเม็ด มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ 20% Fe สามารถละลายในน้ำได้ เฟอร์รัสซัลเฟตและปูนขาวมักนิยมใช้ที่ค่าพีเอชสูง เช่น ในกระบวนการกำจัดความกระด้างด้วย ปูน-โซดา และในการกำจัดเหล็ก, แมงกานีส

### 2.3.3 คลอรีเนต เฟอร์รัสซัลเฟต (Chlorinated Ferrous Sulphate)

เนื่องจากการออกซิเดชันของเฟอร์รัสซัลเฟต โดยออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะเกิดขึ้นที่พีเอช สูงกว่า 8.5 ดังนั้นจึงเติมคลอรีนลงไปเ็นเฟอร์รัสซัลเฟตเพื่อให้ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็น  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  และ  $\text{FeCl}_3$  ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอน

ปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ดังนี้

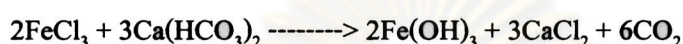


โคแอกกูเลชันด้วย Chlorinated Ferrous Sulphate มักใช้ในการเติมคลอรีนขั้นแรก (pre-chlorination) และมีข้อดีกว่าเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งสามารถใช้ในกระบวนการตกตะกอนเคมี ได้ในช่วง พีเอช 4-11

### 2.3.4 เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>)

เฟอร์ริกคลอไรด์ที่ใช้กันโดยทั่วไป มักอยู่ในรูปของเหลวและผลึก ซึ่งในรูปของเหลวและผลึกมีการกักคร่อนสูงและต้องขนส่งแบบเดียวกับกรดไฮโดรคลอริก ยกตัวอย่างเช่น ถังเหล็กเคลือบไฟเบอร์กลาสเสริมด้วยโพลีเอสเตอร์ พีวีซี เป็นต้น ในรูปของเหลวจะมี FeCl<sub>3</sub> ละลายอยู่ 43% (m/m) และต้องเก็บในที่ปราศจากความชื้นเพราะเฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารที่ดูดความชื้นได้เร็วมาก

ปฏิกิริยาของเฟอร์ริกคลอไรด์กับความเป็นด่างตามธรรมชาติ และที่เพิ่มเข้าไปจะเป็นดังนี้

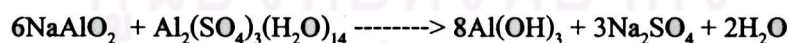


### 2.3.5 อะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O)

อะลูมิเนียมคลอไรด์ประกอบด้วย Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20% ความหนาแน่น 1300 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าพีเอช 2.5 ใช้ในการปรับสภาพของสลัดจ์ (sludge conditioning)

### 2.3.6 โซเดียมอะลูมิเนต (NaAlO<sub>2</sub>)

โซเดียมอะลูมิเนตแตกต่างจากสารส้มตรงที่ มีความเป็นด่างมากกว่าความเป็นกรดในปฏิกิริยาของมัน โดยปกติจะไม่ใช้ตามลำดับยกตัวอย่างเช่น การตกตะกอนน้ำที่มีสีสูงและมีค่าพีเอชต่ำซึ่งไม่เหมาะสมต่อการละลายของสารประกอบอะลูมิเนียมจึงมีการเติมโซเดียมอะลูมิเนตลงไปเพื่อเพิ่มค่าพีเอชได้ประมาณ 6 ทำให้สารละลายอะลูมิเนียม สามารถตกผลึกได้ในบ่อตะกอนชั้นที่สอง ปฏิกิริยาของโซเดียมอะลูมิเนตกับสารส้มและกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะให้สารประกอบอะลูมิเนียมที่ไม่ละลาย มีดังนี้



### 2.3.7 อะลูมิเนียมซัลเฟต (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·14H<sub>2</sub>O)

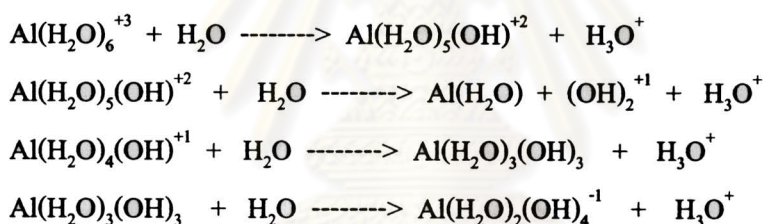
เป็นสารที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ซึ่งมีชื่อเรียกว่า สารส้ม ผลิตมาจากการย่อยแร่บอกไซต์ (Bauxite) ด้วยกรดซัลฟูริก ปริมาณแร่บอกไซต์ที่ใช้หาได้จากสมการสโตอิชิโอเมตริก (stoichiometric) รวมกับกรดที่ทำกรระเหยน้ำออก ได้สูตรอย่างง่ายเป็น Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·XH<sub>2</sub>O ซึ่งโดยปกติ X จะมีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 และมีอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เป็นส่วนประกอบในช่วง 14%-18%

### คุณสมบัติของ สารส้ม

- 1) มีรสเปรี้ยว และค่อนข้างฝาด เนื่องจากกรดกำมะถันและอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์
- 2) ทำให้ฟุ้ง และเหนียวตัวได้ เนื่องจากมีสารที่เป็นค่างอยู่ คือ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์
- 3) มีฤทธิ์กัดกร่อน โดยเฉพาะโลหะและคอนกรีตบางชนิด
- 4) ละลายน้ำได้ดี ได้มีการทดลองปรากฏว่าที่ 0 °C ละลายน้ำได้ดีถึง 87%
- 5) เกิดตะกอนของ Alum flocc (อลัม ฟล็อก)  $Al(OH)_3$  ได้ง่าย สามารถตกตะกอนได้ดี

ในช่วง pH 5.5 - 8.0

สารส้มเป็นสารเคมีที่มีบทบาทในกระบวนการตกตะกอนเคมี ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ สารส้ม เมื่ออยู่ในน้ำแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี แยกตัวได้อิออนประจุบวกและลบ ไอออนบวก จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารประกอบ  $Al(H_2O)_6^{+3}$  ซึ่งเรียกสารประกอบนี้ว่า Aquametal Ion สารประกอบดังกล่าวนี้จะมีคุณสมบัติเป็นกรดที่ไร้เสถียรภาพ พร้อมทั้งจะให้ไอออนบวกของ ไฮโดรเจน ( $H^+$ ) แก่น้ำ ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Monomeric Hydroxo complex ต่างๆ ดังสมการ



ในสมการ ปฏิกิริยาและชนิดของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ของ  $Al^{+3}$  และพีเอช ปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณหาได้จาก สมดุลเคมีของสารเคมีของสารส้มในน้ำ

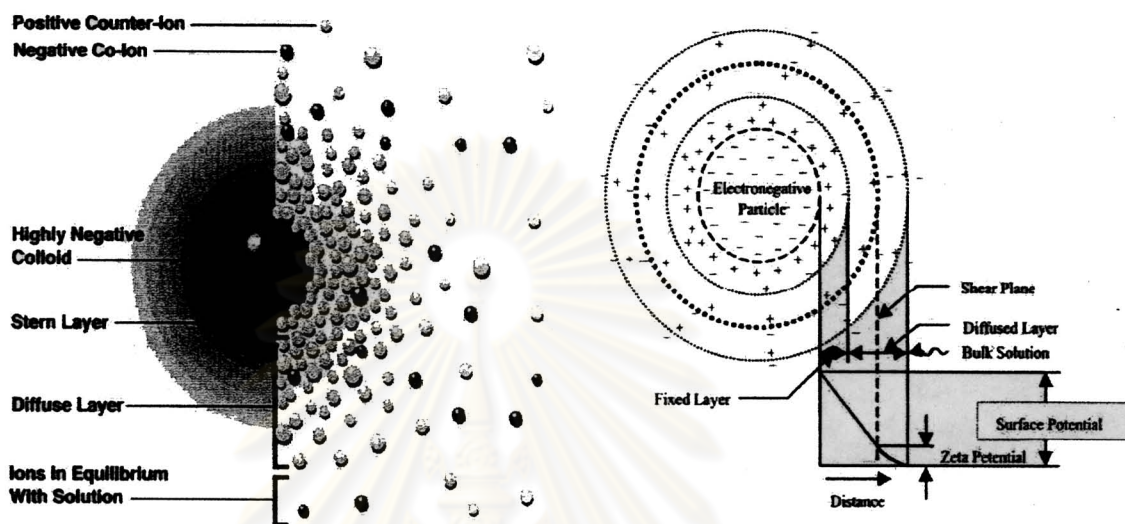
นักวิจัยหลายท่านได้แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างปฏิกิริยาเคมี และสารประกอบเชิงซ้อน ของสารส้ม พร้อมทั้งผลการทดลองที่สนับสนุน สมมุติฐานของปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้วนี้ Brosette ได้เสนอแนะว่า สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะมีรูปแบบ  $Al((OH)_3Al)_n^{3+}$  ในช่วงพีเอชเป็นกรด และ  $(Al(OH)_3)_nOH^-$  ในช่วงที่พีเอชที่เป็นค่าง

โดยทั่วไปแล้วสารประกอบเชิงซ้อนเคมีที่ประจุบวก จะดูดคิดผิวอนุภาคคอลลอยด์ที่มี ประจุลบ ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์ (Nernst Potential) ลดลง และอาจลดลงจนไม่มี ค่าประจุลบเหลืออยู่ก็ได้ แต่โดยทั่วไปแล้วเชื่อว่าไอออนบวกของสารประกอบ  $Al^{+3}$  จะไม่สามารถ สัมผัสโดยตรงกับผิวอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคของน้ำที่ยึดเกาะหนา (ภาพที่ 2.5) เป็น



แผ่นฟิล์ม ล้อมรอบอนุภาคคอลลอยด์ที่เรียกว่า ชั้นถาวร (Fixed or stern Layer) และมีศักย์ไฟฟ้าเป็น stern Potential

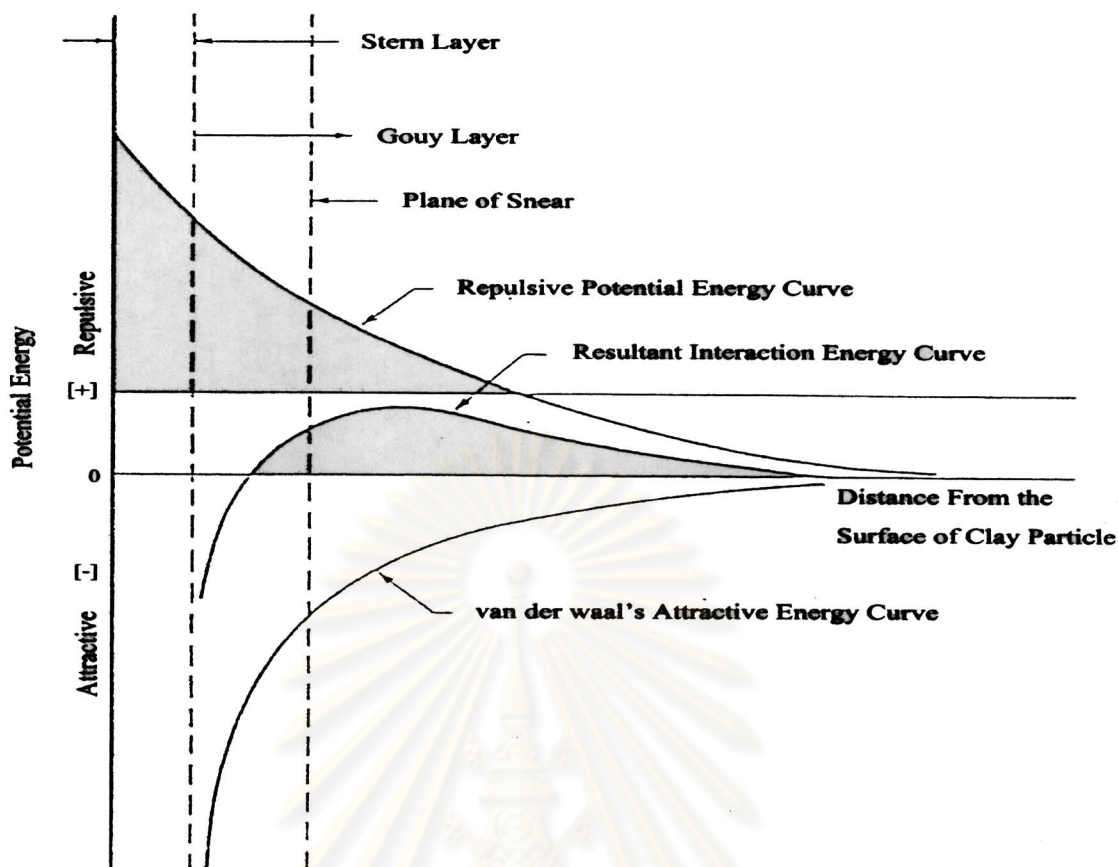
ในทางปฏิบัติศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ จะวัดในรูปของค่า Zeta Potential ( $Z_p$ ) ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่ผิวนอกสุดของน้ำ (Bond of solvent) ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ โดยที่ผิวนอกนี้เรียกว่า Plan of shear ซึ่งจะอยู่ในชั้นกระจาย (Diffuse Layer)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของการเกิดขึ้น ไอออนที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์ (การประปานครหลวง, 2552)

โดยทั่วไปแล้ว  $Z_p$  จะเป็นดัชนีบ่งบอกถึงปริมาณศักย์ไฟฟ้า บนผิวอนุภาคคอลลอยด์ ถ้า  $Z_p$  สูง แสดงว่าอนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพมาก ทำให้การรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ เป็นไปได้ยากกว่าอนุภาคคอลลอยด์ ที่มีระดับ  $Z_p$  ต่ำ

อนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ มีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิดคือ แรงดูด (Vander waals force) และแรงผลัก (Electrical Repulsive force) แรงดูดเป็นแรงธรรมชาติของอนุภาคระดับโมเลกุลที่ดึงดูดซึ่งกันและกัน ส่วนแรงผลักเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน บทบาทของแรงทั้งสองชนิดที่มีผลต่อเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ ขึ้นอยู่กับระยะห่างของอนุภาคคอลลอยด์ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 จากรูปจะเห็นได้ว่า อิทธิพลของแรงดึงดูด Vander waals จะมีผลต่อกันเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมากๆ เพราะฉะนั้นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าสูง หรืออยู่ในน้ำที่มีความเข้มข้นของไอออนต่ำ จะมีชั้นกระจาย (Diffuse Layer) หนานั้น มักมีแรงผลักสูง จนทำให้ อิทธิพลของแรงดูด ไม่สามารถแสดงออกมาได้ อนุภาคคอลลอยด์ในสภาพดังกล่าว จะมีเสถียรภาพมาก เกาะยึดรวมเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนเพียงลำพังได้มาก



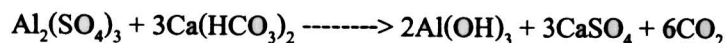
ภาพที่ 2.6 พลังงานระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Committee Report, 1974)

### 2.3.8 โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride หรือ PACl)

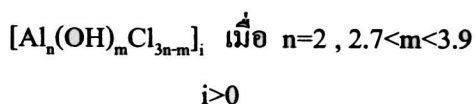
เนื่องจากการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนมักเกิดปัญหาสภาพเป็นกรดมากค่าพีเอชจะต่ำลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และกาญจนาภา ครองธรรมชาติ, 2535), (Viraraghavan and Wimmer, 1992)



จากสมการเห็นว่าเกิดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอน และเกิดกรดซัลฟูริกทำให้พีเอชลดลง จึงต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำไม่ให้มีพีเอชต่ำลงมากนัก ดังสมการ



ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเกิดความกระด้างถาวรขึ้น จากปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้จึงมีการพัฒนาโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลดังนี้



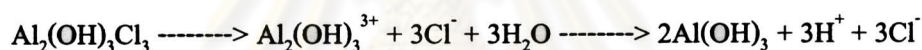
คุณสมบัติของ PACI เมื่อเป็นสารสร้างตะกอน

- 1) มีอำนาจในการสร้างตะกอน, การรวมตัวของตะกอนสูงและการตกตะกอน จะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม 1.5-3 เท่า
- 2) สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และง่ายต่อการเก็บรักษา
- 3) ในการทำงาน PACI จะมีช่วงพีเอชในการทำปฏิกิริยาที่กว้างกว่าสารสร้างตะกอนตัวอื่นๆ ปกติจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6-9 แต่บางกรณีสามารถตกตะกอนในช่วง พีเอช 5-10 (Demsey, 1985 ; Kaeding, 1992 ; Packham and Ratnayaka, 1992 ; Povillot and Suty, 1992)
- 4) PACI สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้มและมีความแข็งแรงกว่าและตกตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้ม (Nilsson, 1992 ; Packham and Ratnayaka, 1992) โดยที่ใช้ระยะเวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า
- 5) PACI ไม่จำเป็นต้องใช้สารอื่นช่วยในการสร้างตะกอน (Packham and Ratnayaka, 1992 ; Povillot and Suty, 1992) เนื่องจาก PACI ประกอบด้วยนิวเคลียสหลายขนาด จึงสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์หรืออนุภาคความขุ่นได้ทุกขนาด
- 6) ประสิทธิภาพของ PACI จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้น ถึงแม้ในฤดูหนาวยังสามารถใช้การได้ดีเหมือนเดิม (Simson et al, 1988 ; Povillot and Suty, 1992)
- 7) ภายหลังจากบำบัดแล้วน้ำที่ได้จะมีพีเอชไม่ต่ำมากเหมือนกับการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน (Simson et al, 1988)
- 8) ทำให้อะลูมิเนียมตกค้างในน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มแล้วพบว่า PACI จะทำให้อะลูมิเนียมตกค้างในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมิเนียมละลายกลับออกมาจาก PACI ในปริมาณน้อยกว่า (Simson et al, 1988 ; Kaeding, 1992 ; Povillot and Suty, 1992)
- 9) สามารถใช้กับน้ำที่มีค่าความเป็นด่างค่าและความขุ่นสูงได้ อีกทั้งยังใช้ PACI ในปริมาณที่น้อยกว่าสารส้ม (Kawamura and Trussell, 1991)
- 10) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำความสะดวกขณะเก็บและภาชนะที่กวนน้ำ เพราะ PACI เป็นสารละลายใส ไม่มีสีถึงสีน้ำตาลอ่อน ไม่ตกผลึกนอนกัน เวลาใช้ในการตกตะกอนจะไม่ทำให้สีของน้ำดำขึ้นและไม่สกปรกเปรอะเปื้อน ดังนั้น จึงไม่ต้องทำความสะอาดภาชนะที่ใช้และเนื่องจากปริมาณที่ใช้น้อยมากทำให้ใช้พื้นที่ในการเก็บน้อยมากเช่นกัน

กลไกตกตะกอนด้วย PACI นั้นเมื่อแตกตัวจะได้อะลูมิเนียมที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมได้สารต่างๆเช่น  $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ ,  $Al_7(OH)_{17}^{+3}$  และ  $Al_6(OH)_{15}^{+3}$  เป็นต้น ซึ่งมีอะลูมิเนียมหลายอะตอม เรียกว่า polymeric hydroxo

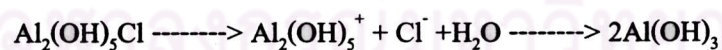
complex มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้ไม่เสถียร แล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นแล้วจึงตกตะกอน สำหรับการสร้างตะกอนที่เอชของน้ำจะมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิสเนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกเกิดขึ้นมาก ให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอนนอกจากอะลูมิเนียมจะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้วยังทำปฏิกิริยาไฮดรอกซิลไอออนในน้ำกลายเป็น  $Al(OH)_3$  เป็นตะกอนเล็กๆและเนื่องจาก อะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพสูงในการทำลาย ประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อเติม PACI ลงไปในน้ำจะต้องผสมอย่างรวดเร็วทันที แล้วลดอัตราเร็วในการกวนช้าลง เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกมาโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

เมื่อ PACI ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนหลายชนิด ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ  $[Al_13O_4(OH)_{24}]^{7-}$  หรือ  $Al^{3+}$  ซึ่งการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนตัวนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของค่าต่างกับสารละลายอะลูมิเนียม, ชนิดความเข้มข้นของค่า, ความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์และอุณหภูมิ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ปริมาณของค่าที่เติมลงไปและระดับของความเข้มข้น (Kaeding, 1992)



### 2.3.9 อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate หรือ ACH)

เป็นเกลือชนิดหนึ่งมีสูตรทางเคมีว่า  $Al_2(OH)_5Cl$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 174.45 เมื่อละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันที การสังเคราะห์ทำได้โดยการทำปฏิกิริยาของอะลูมิเนียมกับกรดไฮโดรคลอริก อะลูมิเนียมที่ใช้ได้แก่ aluminium metal, alumina trihydrate, aluminium chloride, aluminium sulfate ในโครงสร้างของ ACH มีอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) 23% พีเอชของสารละลายประมาณ 3 - 4 และมีความเป็นค่า 83% จึงทำให้ในโครงสร้างมีประจุบวกมากกว่าสารส้มหรือสารตกตะกอนชนิดอื่นๆ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต แสดงดังนี้



ACH มีคุณสมบัติเป็นสารตกตะกอน สามารถบำบัดของเสียในน้ำได้ทั้งของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) โลหะ (Metal) ฟอสเฟต (Phosphate) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) และทีโอซี (total organic carbon; TOC) ความขุ่น (Turbidity) และดี

คุณสมบัติเฉพาะของ ACH

- 1) มีค่า basicity อยู่ในช่วง 80 - 85%

- 2) ปริมาณ residual aluminium ที่ตกค้างอยู่ในช่วง 0.01 – 0.05 ppm
- 3) ปริมาณ sludge ที่เกิดขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับสารส้มที่ปริมาณการใช้เท่ากัน
- 4) ปริมาณการใช้น้อยทำให้ปริมาณคลอรีนที่ตกค้างน้อย สามารถใช้งานได้ในช่วง พีเอชที่กว้าง คือ ระหว่าง 5 - 9

## 2.4 การใช้โพลีเมอร์เป็นสารฟล็อกกูแลนต์

โพลีอิเล็กโทรไลต์หรือโพลีเมอร์เป็นสารเคมีที่สามารถนำมาใช้ได้หลายวัตถุประสงค์แต่วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ใช้เป็นสารสร้างตะกอน (coagulant) หรือสารช่วยเร่งให้ตกตะกอน (coagulant aid) ซึ่งโพลีเมอร์จะมีโครงสร้างเป็นสายยาว (long chain) เมื่อเติมลงไปลงในน้ำในกระบวนการสร้างตะกอน โพลีเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวมตัวกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น (Costello, 1984) แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดสภาพที่อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาอยู่ในสถานะเสถียรอีกครั้งหนึ่ง (charge stabilization) (Rebhun and Luric, 1993)

Kawamura (1976) รายงานว่าการนำโพลีเมอร์มาใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอนให้ตกตะกอนกันอย่างมาก เนื่องจาก

- การใช้โพลีเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดได้
- ทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น
- ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยเมื่อเทียบกับสารตกตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็ก
- ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนรวดเร็วกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน
- สะดวกในการใช้งาน
- ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้
- โพลีเมอร์จะทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน
- ทำให้สารเคมีบางชนิด เช่น ซัลเฟตตกค้างในน้ำในปริมาณที่น้อย

### 2.4.1 ชนิดของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มของโพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะมีโมโนเมอร์ ซึ่งสามารถนำพาประจุหรือแตกตัวเป็นไอออนทำให้เกิดสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ อาจมีประจุบวก (cationic polyelectrolytes) หรือมีประจุลบ (anionic polyelectrolytes) โดยทั่วไปสารโพลีอิ-

เล็ก โทไรไลต์ เป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10,000 ถึง 10,000,000 ปัจจุบันมีบทบาทในการใช้งานมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งเพื่อการปรับสภาพน้ำคืดและการบำบัดน้ำเสีย

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์มักมีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น แป้ง ยางไม้ สาหร่ายทะเลสกัด และสารที่ได้จากการสังเคราะห์ แต่จากกระบวนการสังเคราะห์ทำให้สามารถควบคุมคุณสมบัติต่างๆ ได้ทั้งปริมาณ ชนิดประจุ และน้ำหนักโมเลกุล ฯลฯ สารดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้งาน สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการปรับแต่ง สภาพน้ำคืดเพื่อการอุปโภคบริโภค จำเป็นต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยด้วย เนื่องจากมักมีสารเจือปนตกค้างอยู่เสมอ เป็นตัวอย่างของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

การจัดหมวดหมู่สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ สามารถกระทำได้หลายรูปแบบตามคุณสมบัติและประโยชน์การใช้งาน กล่าวคืออาจแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิด โครงสร้างหรือขนาดของโมเลกุล หรือแบ่งตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล ฯลฯ ในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นตามประจุที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมานี้

#### 2.4.2 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุบวก (Cationic Polyelectrolytes)

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่มีประจุบวกมีหลายรูปแบบได้แก่

1) โพลีอามีน เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน  $10^5$  แต่มีความเป็นประจุบวกสูง เช่น โพลีเอทีลีน อามีน และ โพลีเอทีลีน ไอมีน (PEI) สารกลุ่มนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษ และใช้บ้างในการศึกษาปฏิกิริยารวมตะกอน

2) โพลีเอทีลีน ควอเทอริ เป็นสารที่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช มีความต้านทานต่อการสลายตัวโดยคลอรีนมากกว่าโพลีเมอร์ทั่วไป จึงมักมีความสำคัญในการคลอรีเนตน้ำคืด

3) แคทไอออนิก ไซยานามีน เป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ประมาณ  $1 \times 10^3$  ถึง  $5 \times 10^3$  เริ่มแรกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษ แต่ก็พบว่าสามารถแสดงปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยเช่นกัน

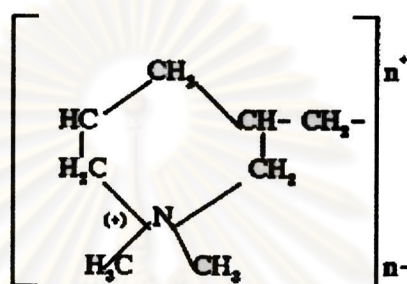
4) คาโบโมอิล โพลีเมอร์แคตไอออน เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญในทางการค้า และใช้งานได้เอนกประสงค์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า  $10^6$  มีความหนืดสูง และมีสารที่ไวต่อปฏิกิริยาอยู่น้อยเมื่ออยู่ในสารละลาย

5) โพลี แอลฟา-ไวนิล ไมคาไซลีน เป็นโพลีเมอร์พวกโพลีเมอร์พวกโพลีไซคลิกอะไมด์ มีโครงสร้างพิเศษสำหรับการเป็นสารรวมตะกอนทั้งนี้เพราะมีความเป็นประจุบวกสูงมาก และมีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจนถึงสูง

6) โพลีไคอติลเมททิล แอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นโพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้น มีน้ำหนักโมเลกุลช่วงต่ำถึงปานกลาง (น้อยกว่า  $10^6$ ) มีความต้านทานต่อคลอรีนและไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช

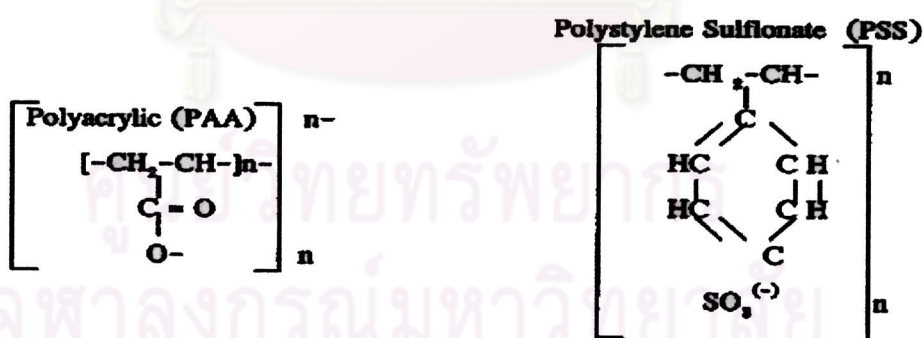
7) ไคเมททิล อะมิโนอัลคิล อะครีลิก และ เมทาไซคลิกเอสเทอร์โพลิเมอร์ เป็นโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีความไวในสภาพตัวกลางที่เป็นกรดหรือเบส ใช้เป็นสารรวมตะกอน สารกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างสูง

8) เอ็น-ไคอติลอะมิโนอัลคิล อะครีลาไมน์ โพลิเมอร์ โพลิเมอร์กลุ่มนี้ได้รับความสนใจในการใช้เป็นสารรวมตะกอน เพราะมีเสถียรภาพต่อการไฮโดรไลซิส มีน้ำหนักโมเลกุลสูง



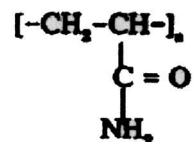
#### 2.4.3 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุลบ (Anionic Polyelectrolytes)

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุลบ โดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมากมักใช้เป็นสารรวมตะกอน โพลิเมอร์ที่มีประจุลบมากและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจายตะกอนในสารละลาย (dispersants) รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลท ไอออน ได้แก่ พวกโพลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิเลท เช่น โซโมโพอะครีลิก แอซิด และพวกที่มีหมู่ซัลโฟนิค แอซิด เช่นเกลือโซเดียมของโพลีสไตรีน ซัลโฟนิค แอซิด

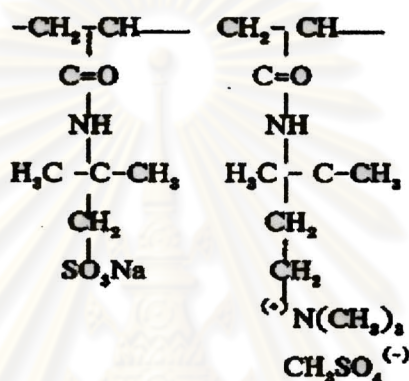


#### 2.4.4 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ (Nonionic Polyelectrolytes)

โมโนเมอร์ที่มีประจุต่ำกว่า 1% ในสารละลายโพลิเมอร์เหล่านี้จะทำให้เกิดการรวมตะกอนโดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือสูงมาก ตัวอย่างสารรวมตะกอนที่สำคัญ ได้แก่ โพลีเอททิลีน ออกไซด์ และ โพลีอะครีลาไมด์ ส่วนโพลีไวนิล ไพโลไลโคนอน มักถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

**Polyethylene oxide****Polyacrylamide (PAM)****2.4.5 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ทั้งประจุบวกและลบ (Polyampholytes)**

สารกลุ่มนี้เป็นสาร โมเลกุลใหญ่ มีทั้งกลุ่มที่มีสภาพเป็นกรดและเบส มักจะให้ประจุบวกที่มีพีเอชต่ำ ให้ประจุลบที่มีพีเอชสูง และเป็นกลางทางประจุที่ Isoelectric pH ตัวอย่างเช่น สารรวมตะกอนที่เรียกว่า Switterion flocculant ซึ่งประกอบด้วย โมโนเมอร์ที่ประกอบด้วยประจุด้วยประจุบวกหรือลบบ่อยุ่มากมายในโมเลกุล



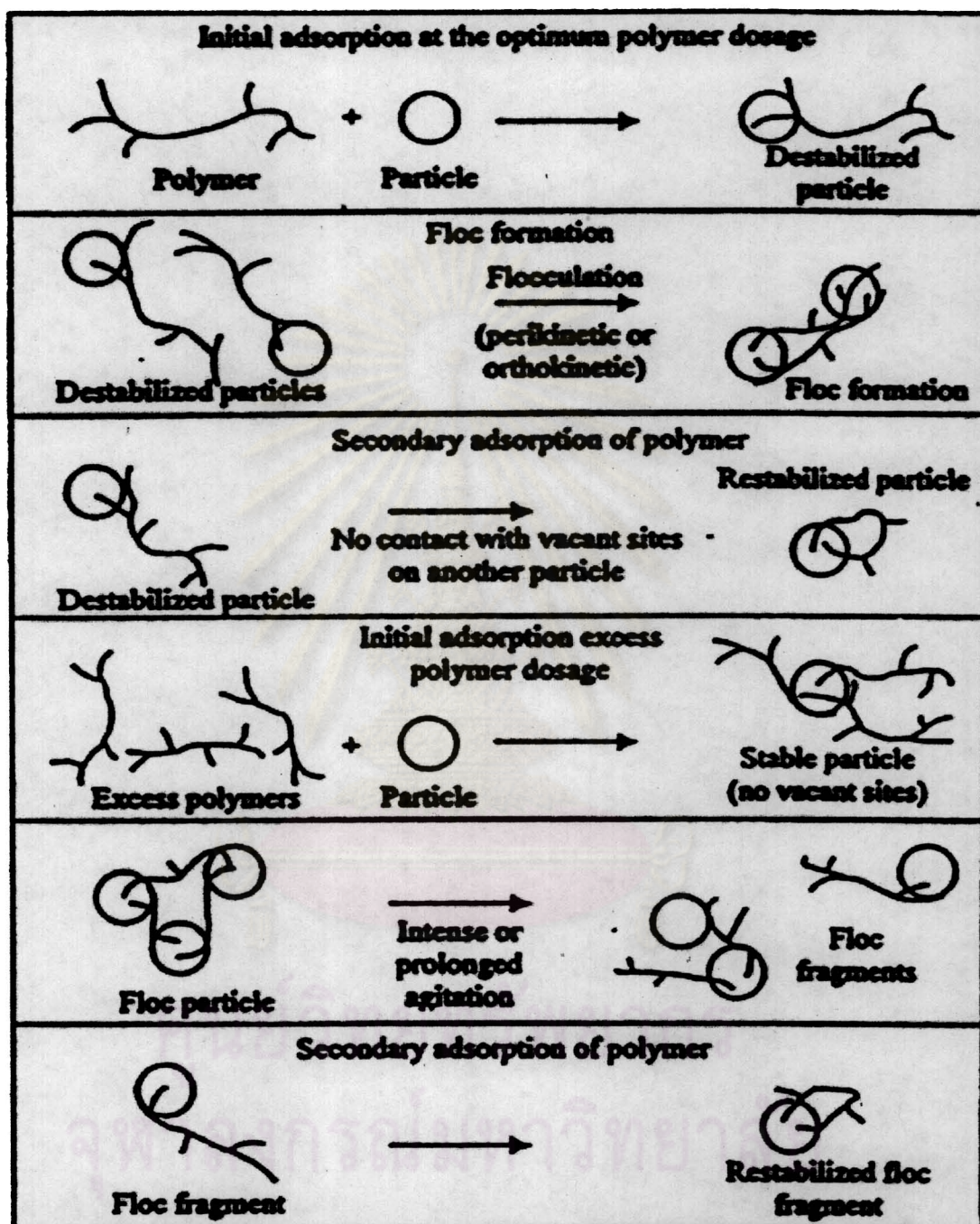
2.5 กลไกทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ด้วยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ มีกลไกหลัก 2 กลไกคือ

**2.5.1 กลไกสร้างสะพาน (bridging mechanism)**

จากภาพที่ 2.7 ในปฏิกิริยาที่ 1 แสดงให้เห็นถึงโมเลกุลของสารโพลีเมอร์ สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะอยู่ โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะติดอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ซึ่งอนุภาคเหล่านี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมดังปฏิกิริยาที่ 2 ซึ่งการต่อเชื่อมจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีตำแหน่งว่างและมีโพลีเมอร์และเมื่อปลายอิสระไม่มีการเกาะจับบนอนุภาคอื่นปลายอิสระก็จะจับบนอนุภาคเดิม ดังปฏิกิริยาที่ 3 ทำให้ไม่มีปลายอิสระจับอนุภาคอื่นๆและทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาค สำหรับยึดเกาะน้อยลงอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่างเรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized particle) การใช้โพลีเมอร์มากเกินไปเพราะโพลีเมอร์มีหลายโมเลกุล ไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ ดังปฏิกิริยาที่ 4 อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ การกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไป จะทำให้ฟล็อกแตกเป็น



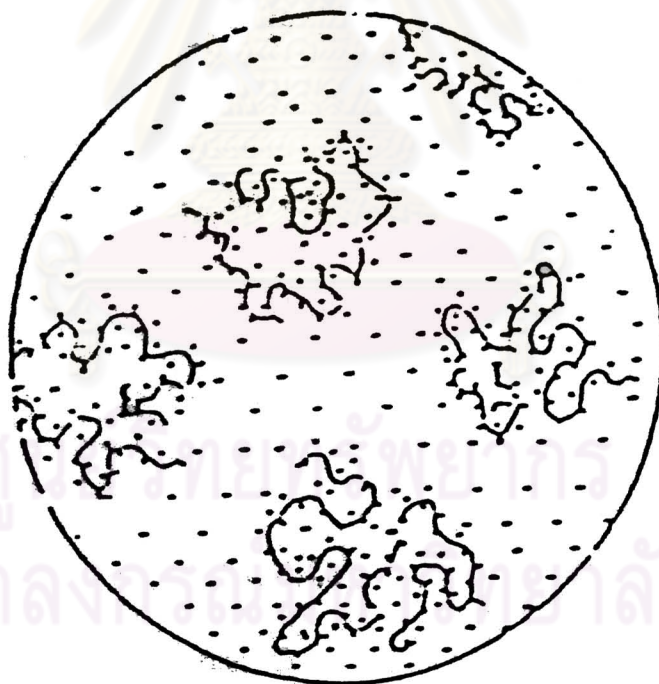
ส่วนๆ ดังปฏิกิริยาที่ 5 ทำให้ปลายอิสระของ โพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคเดิม ดังปฏิกิริยาที่ 6 ทำให้เสถียรภาพกลับคืนมาใหม่อีก



ภาพที่ 2.7 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แบบค่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ (Benefield et al, 1982)

### 2.5.2 กลไกการเกิดหย่อมประจุไฟฟ้าสถิต (electrostatic patch mechanism)

กลไกนี้ใช้อธิบายพฤติกรรมของการเกาะติดหรือทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ในกรณีที่ใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ หรือสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบในการใช้เป็นสารช่วยรวมตะกอน หลังจากผ่านการทำลายเสถียรภาพด้วยสารรวมตะกอนจำพวกโลหะมาก่อนแล้ว และเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ค่อนข้างรุนแรง โดยที่ตามปกติอนุภาคต่างๆ ในสับสเตรต (substrate) มักมีตำแหน่งที่มีประจุลบบนพื้นที่ผิวค่อนข้างจะคงตัว เมื่อโมเลกุลของโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกถูกเติมลงไป ในสับสเตรตนั้นจะเกิดการเกาะติดบนพื้นผิวอนุภาคผ่านพันธะทางไฟฟ้าสถิต โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูงมากและมากกว่าประจุลบบนพื้นผิวอนุภาคและจะทำลายประจุลบ ไม่เพียงแต่บริเวณที่เกาะติดเท่านั้น แต่จะรวมถึงส่วนอื่น หรือทั้งหมดบนผิวอนุภาคได้ แล้วก่อตัวเป็นประจุบวกห้อมล้อมขอบเขตของตำแหน่งประจุลบดังกล่าวที่ 2.8 ทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคโดยตรงและลดแรงผลักระหว่างอนุภาคเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นได้ โดยอนุภาคที่อยู่ใกล้ชิดกันและอยู่ในแนวเดียวกันสามารถ ให้แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่รุนแรง



ภาพที่ 2.8 ความเป็นไปได้ในการจัดเรียงตัวของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์บนอนุภาคที่มีความหนาแน่นประจุลบต่ำ (Bratby , 1980)

## 2.6 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการตกตะกอนเคมี

### 2.6.1 ความเร็วเกรเดียนท์ (Velocity Gradient)

ความเร็วเกรเดียนท์ “G” หมายถึง ความปั่นป่วนของน้ำในถังกวนเร็ว จะต้องมีความปั่นป่วนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การกวนผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมๆกันทุกจุด ในทางตรงกันข้ามน้ำในถังกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำกว่ามาก เพื่อไม่ให้ตะกอนฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกจากกัน การเคลื่อนไหวในถังกวนช้ามีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างอนุภาคและจับติดกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ถังกวนเร็วมักมีค่า G ไม่ต่ำกว่า 300 วินาที<sup>-1</sup> แต่ถังกวนช้ามักมีค่า G อยู่ในช่วง 60-100 วินาที<sup>-1</sup> พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนในระดับ G อาจคำนวณได้จากสมการของ แคมป์ และ สไตน์

$$G = (P/\mu V)^{0.5}$$

G = ความเร็วเกรเดียนท์หรือระดับความปั่นป่วน (วินาที<sup>-1</sup>)

P = พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วน (นิวตัน-เมตร/วินาที)

$\mu$  = ความหนืดของน้ำ (viscosity) (นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร)

V = ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว (ลูกบาศก์เมตร)

สำหรับการกวนน้ำที่ใช้ใบพายในการกวนน้ำพลังงานที่ต้องการสามารถคำนวณได้จาก

$$P = 0.5C_D A \rho v^3$$

$C_D$  = ค่าคงที่สำหรับใบกวนแต่ละชนิด มีค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับพัดแบบใบพาย

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

A = พื้นที่ผิวของใบพัดเท่ากับ  $0.75 \times$  ความเร็วของใบพัด

V = relative velocity

P = พลังงานที่ต้องการ (watt)

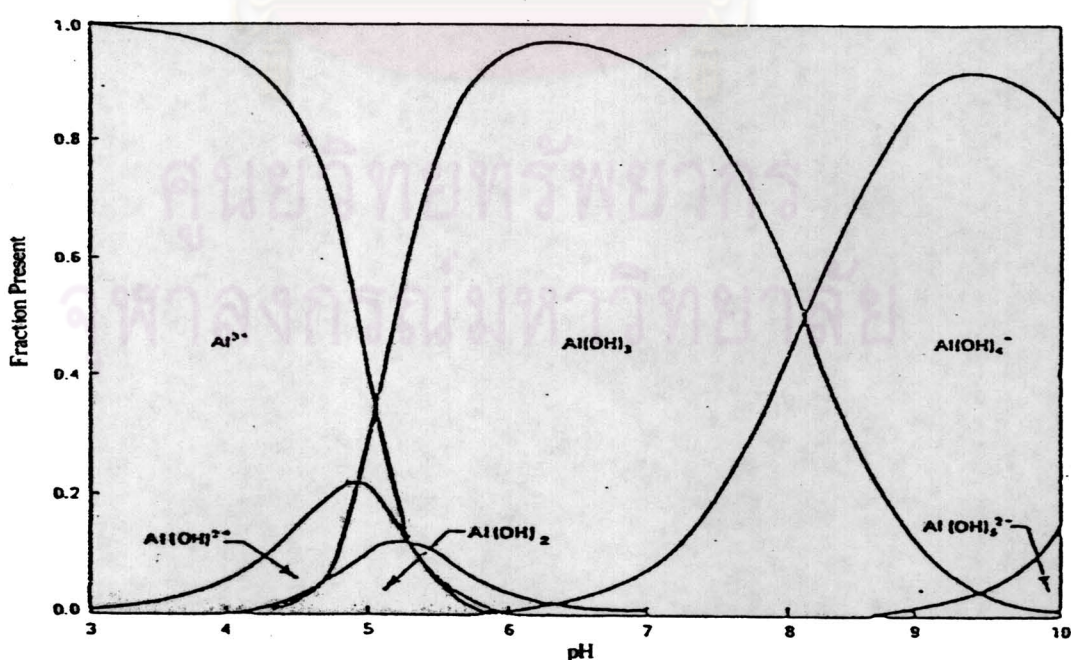
### 2.6.2 เวลาพักน้ำ (Detention time or Mixing time)

เวลาพักน้ำ หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการกระจายสารเคมี และครอบคลุมถึงระยะเวลาที่สารเคมีสัมผัสผิวอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ ให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยทั่วไปแล้วเวลาในการกระจายสารเคมี มักจะหมายถึงระยะเวลาในการกักน้ำในขณะที่ทำการกวนเร็ว

ในการออกแบบระบบการกวนเร็ว ASCE และ AWWA ได้เสนอแนะให้ใช้เวลากักน้ำ 10-30 วินาที โดยอาศัยอุปกรณ์ที่มีการกวนน้ำที่มีพลังงานสูง (0.25-1.0 hp/mgd) แต่ในปัจจุบันที่เชื่อกันว่า เวลากักน้ำที่เหมาะสมของการกวนควรมีค่าไม่เกิน 1 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สอดคล้องกับปฏิกิริยาเคมีไฮโดรไลซิสของสารส้ม การทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบคอลลอยด์ และทำลายประจุจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา  $10^{-4}$ -1.0 นาที และ 1-7 นาที สำหรับกลไกแบบกวาด เนื่องจากระยะเวลาที่น้ำที่มีค่าต่ำมาก

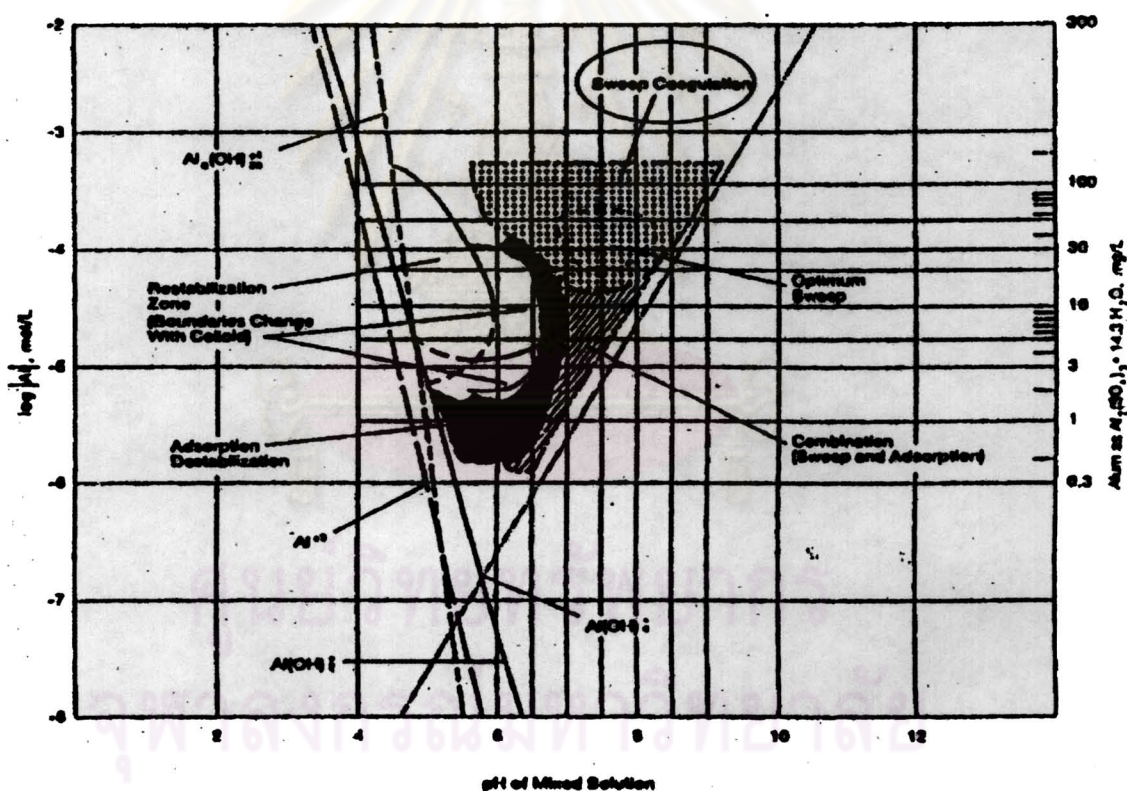
### 2.6.3 พีเอช (pH)

พีเอช หมายถึง พีเอชสุดท้ายภายหลังจากการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากในกระบวนการตกตะกอนเคมี ทั้งนี้ เพราะมีผลกระทบต่อการศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น  $\text{Al(OH)}^{+2}$ ,  $\text{Al(OH)}_2 + \text{Al}^{+3}$  และ  $\text{Al(OH)}_4^-$  (ภาพที่ 2.9) เมื่อนำสารส้มมาละลายน้ำ ปฏิกิริยาเคมีไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสารส้ม ที่มีประจุบวกและลบในสภาพน้ำดิบที่เป็นกรดและด่างตามลำดับ สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่อยู่ระดับพีเอช 4-6 จะอยู่ในรูป  $\text{Al(OH)}^{+2}$  และ  $\text{Al(OH)}_2^+$  ประจุบวกเหล่านี้จะมีประโยชน์มาก ต่อการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบคอลลอยด์และทำลายประจุเช่นเดียวกับผลึกของ  $\text{Al(OH)}_3$  ที่มีบทบาทสูงมากในกลไกแบบกวาด ผลึก  $\text{Al(OH)}_3$  จะปรากฏในช่วงพีเอช 6-8 ในกรณีที่มีพีเอชสูงมากกว่า 9 นั้น อิทธิพลของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้ม จะอยู่ในรูปสารละลายประจุของ  $\text{Al(OH)}_4^-$  ประจุลบนี้ไม่มีผลดีต่อกระบวนการตกตะกอนเคมี เนื่องจากเป็นประจุชนิดเดียวกับของคอลลอยด์



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มกับพีเอช (Committee, 1974)

Amirtharajah และ Mills (1981) ได้กำหนดให้พีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมกลไกการตกตะกอนเคมี (ภาพที่ 2.10) น้ำดิบที่มีพีเอชสุดท้ายต่ำกว่า 5 สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะมีประจุบวก เมื่อปริมาณสารส้มต่ำ ความหนาแน่นของประจุจะลดลง การควบคุมกระบวนการตกตะกอนเคมีที่น้ำดิบความขุ่นต่ำ จะทำได้ยาก ทั้งนี้ เนื่องจากเป้าหมายในการส้มผัดต่ำ เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 5-7 สารส้มจะอยู่ในลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกมากขึ้น และเหมาะสมกับการทำลายเสถียรภาพแบบจุดติดผิว และทำลายประจุ ในสภาวะดังกล่าวหากมีการเพิ่มปริมาณสารส้ม ก็อาจทำให้เกิดการผกผันของประจุบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization) อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวยากตกตะกอนช้า สำหรับพีเอช 7-8 นั้น สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะมีประจุบวกลดลง แต่ปริมาณของผลิตภัณฑ์  $Al(OH)_3$  จะเพิ่มขึ้น เกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบผสม และแบบกวาด เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้ม มากยิ่งขึ้น ถ้าเพิ่มพีเอชสูงกว่า 8 จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุลบ เช่น  $Al(OH)_4^-$  ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการตกตะกอนเคมี



ภาพที่ 2.10 แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกลไกการตกตะกอนเคมีของสารส้ม

(Amirtharajah และ Mills, 1981)

#### 2.6.4 อิทธิพลของระดับความขุ่น

ระดับความขุ่นในน้ำ หมายถึง ความหนาแน่นของอนุภาคความขุ่นในน้ำ ความหนาแน่นของอนุภาคความขุ่นมากย่อมหมายถึง เป้าสัมผัสและประจุบนผิวอนุภาคความขุ่นสูง ลักษณะเช่นนี้

จะมีผลต่อการควบคุมกลไกการตกตะกอนเคมี O'melia (1972) ได้กำหนดบทบาทของความขุ่นไว้ดังนี้

1) เมื่อระดับน้ำคิบความขุ่นต่ำ

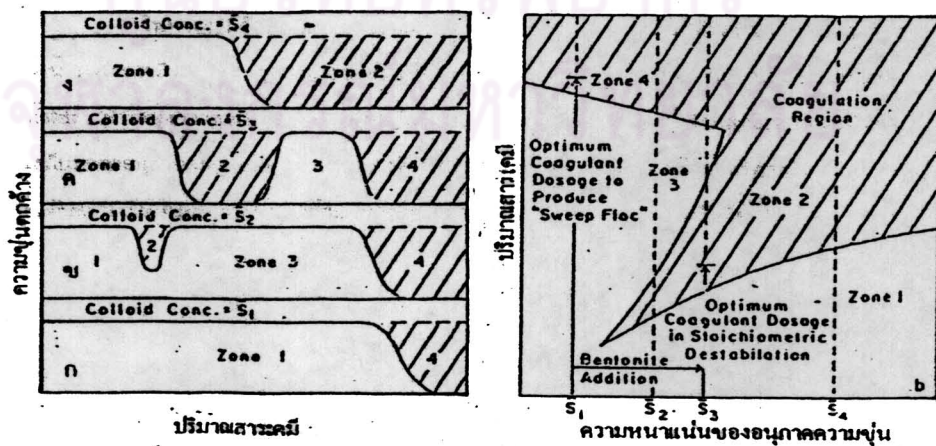
น้ำคิบความขุ่นต่ำ (S 1) (ภาพที่ 2.11 ก) จะมีเป่าสัมผัสต่ำ เมื่อปริมาณสารส้มไม่สูงพอ การควบคุมกลไกแบบจุดคิดผิวและทำลายประจุทำได้ยาก บทบาทของกลไกแบบกวาดจะมากขึ้น แต่จะใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มมากขึ้นด้วย ปริมาณสารส้มจะอยู่ในรูปของผลึก  $Al(OH)_3$  ผลึกเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นเป่าสัมผัส และทำหน้าที่ในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์จะถูกยึดเกาะด้วยผลึก  $Al(OH)_3$  และในที่สุดก็จะตกตะกอน (พื้นที่แฉงา 4)

2) ระดับความขุ่นสูง

น้ำคิบความขุ่นสูง (S 2 & S 3) (ภาพที่ 2.11 ข, ค) การควบคุมกระบวนการตกตะกอนเคมี ทำได้ง่ายเมื่อปริมาณสารส้มต่ำจะเกิดกลไกแบบจุดคิดผิว และทำลายประจุ (พื้นที่แฉงา 2) จะมีช่วงการทำงานแคบ เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้น จะทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้นด้วย โดยมีควมสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นสัดส่วนตรงต่อกัน หลังจากนั้นถ้ามีการเพิ่มสารส้มต่อไปอีก ก็จะเกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ (พื้นที่แฉงา 3) และกลไกแบบกวาด (พื้นที่แฉงา 4)

3) ระดับความขุ่นสูงมาก

น้ำคิบความขุ่นต่ำ (S 4) (ภาพที่ 2.11 ง) การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์จะใช้ปริมาณสารส้มมาก ทั้งนี้เนื่องจากประจุบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์มาก ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ บทบาทของกลไกแบบจุดคิดผิวและทำลายประจุจะมากกว่ากลไกแบบกวาด ทั้งนี้เพราะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่า



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้างและสารเคมี (O'melia, 1972)

### 2.6.5 ชนิดของอนุมูล

น้ำธรรมชาติโดยทั่วไปเป็นน้ำที่ไม่บริสุทธิ์ มักมีอนุมูลของสารต่างๆละลายปนอยู่ ซึ่งอนุมูลต่างๆเหล่านี้เข้าแทนที่  $\text{OH}^-$  ในสารประกอบอลูมิเนียม และมีผลต่อกระบวนการสร้างตะกอน โดยทำให้ช่วงพีเอชที่เหมาะสม เวลาในการจับตัวเป็นตะกอนปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม และปริมาณสารเคมีที่เหลืออยู่ในน้ำเปลี่ยนแปลงไป กระบวนการสร้างตะกอนด้วยอลูมิเนียม (Aluminium) หรือเกลือของเหล็ก (Iron salt) จะมีผลต่ออนุมูลประจุลบมากกว่าอนุมูลประจุบวก ดังนั้นอนุมูลประจุบวกต่างๆ เช่น  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  และ  $\text{Mg}^+$  จะมีผลน้อยมากต่อกระบวนการสร้างตะกอน อนุมูลประจุลบจะมีผลต่อช่วงพีเอชที่เหมาะสม ในการสร้างตะกอน ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประจุ (Valency) ของอนุมูลชนิดนั้นๆ อนุมูลที่มีประจุลบน้อยๆ เช่น  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{NO}_3^-$  จะมีผลน้อยมากในขณะที่  $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$  จะมีผลมากกว่า

### 2.6.6 อุณหภูมิ

การสร้างตะกอนในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ลักษณะการรวมตัวของตะกอนมีความหนาแน่นของตะกอนลดลง การลดอุณหภูมิทำให้เพิ่มความหนืดของน้ำ อัตราการตกตะกอนก็จะช้าลง ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนต่ำลง ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีและอาจจำเป็นต้องใช้สารช่วยตกตะกอน เช่น ดินเหนียวเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของตะกอนหรือแอกติเวตทังคัล และ โพลี-อิเล็กโทรไลต์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ตะกอน ช่วยให้ตกตะกอนเร็วขึ้น

## 2.7 การควบคุมกระบวนการตกตะกอนเคมี

การควบคุมกระบวนการตกตะกอนเคมี เป็นการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกลไกการทำลายเสถียรภาพ และการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นการสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ ในกระบวนการตกตะกอนเคมี

ในทางปฏิบัติการควบคุมความเร็วเกรเดียนต์ สามารถควบคุมได้สะดวกกว่าตัวแปรอื่นๆ ทั้งนี้ เพราะว่าตัวแปรอื่นๆสามารถแปรเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม ฤดูกาล ฯลฯ อาทิเช่น ลักษณะน้ำดิบ ทำให้ยุ่งต่อการควบคุม สำหรับสารสร้างตะกอน ก็แปรผันตามสภาพน้ำดิบ และกลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ ปริมาณสารเคมีจะมากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการควบคุมระดับความเร็วเกรเดียนต์ที่เหมาะสมกับกลไกการตกตะกอนเคมี ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ

### 2.6.1

### 2.7.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อการรวมตัวกันตกตะกอน

1) พีเอช (pH) น้ำแต่ละชนิดจะมีช่วงของ พีเอช ที่จะเกิดการรวมตัวและตกตะกอนในน้ำที่ไม่อยู่ในค่า พีเอช ที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้แล้วยังจะทำให้ น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควรด้วย จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารส้มที่ต้องการน้อยที่สุดในการลดค่าความขุ่น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ของตะกอนดิน พีเอช 6.8-7.8 (AWWA, 1970)

2) เกลือของสารอนินทรีย์ น้ำตามธรรมชาติมักจะมีเกลืออนินทรีย์ละลายอยู่ซึ่งส่งผลให้

- ช่วงของ pH ที่เหมาะสม กว้างขึ้น
- ระยะเวลาที่จับตัวเป็นตะกอนมากขึ้น
- ปริมาณที่พอเหมาะของสารสร้างตะกอน (coagulation dose) เพิ่มขึ้น
- ปริมาณของสารเคมีสร้างตะกอนในน้ำที่จ่ายออกเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลเนื่องมาจาก

ต้องใช้สารสร้างตะกอนเพิ่มขึ้น

3) ความขุ่น ความขุ่นของน้ำส่วนมากเนื่องมาจากดินเหนียวและแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งมีขนาดที่อาจตกตะกอนได้ง่ายจนถึงขนาดเล็กมาก 0.2-5.0 m มีการค้นพบว่าน้ำที่มีความขุ่นมาก อาจใช้ปริมาณของสารสร้างตะกอนเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความขุ่นน้อย (AWWA, 1970)

4) สารสร้างตะกอน (coagulant) สำหรับ สารส้ม (alum) ช่วงที่ทำให้เกิดการสร้างตะกอนได้คืออยู่ในช่วง pH 5.0-8.0 สำหรับ PACI นั้น มีช่วง pH ที่กว้างกว่า สารส้ม โดยเฉพาะที่ pH น้อยกว่า 5.5 หรือ pH มากกว่า 7 การเลือกชนิดสารสร้างตะกอนและปริมาณ การใช้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบ ซึ่งควรต้องมีการทดลองเปรียบเทียบกัน

5) สภาพแวดล้อม ภายภาพ เช่น อุณหภูมิที่ลดต่ำลงมีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดช้าลง

6) การกวน (mixing) การกวนเร็ว (rapid mixing) ช่วยทำให้สารเคมีกระจายไปทั่วถึง ส่วนการกวนอย่างช้าๆ (slow mixing) ทำให้มวลรวมจับตัวกันเป็นตะกอน การกวนต้องไม่เร็วหรือช้าเกินไปโดยทั่วไปการกวนอย่างช้าๆ ใช้เวลาประมาณ 30-60 นาที ส่วนการกวนเร็วใช้เวลาประมาณ 30-60 วินาที

### 2.8 วิธีจาร์เทสต์ (Jar test)

การควบคุมกระบวนการสร้างและการรวมตะกอน โดยวิธีจาร์เทสต์ เป็นวิธีที่นิยมกันมาก และใช้กันมานาน เป็นวิธีทดสอบในบีกเกอร์ (Beaker) เครื่องมือทดสอบเป็นเครื่องกวนที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ซึ่งส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ในการทดลองแต่ละครั้งจะมีการเลือกชนิดของสารเคมี (สารที่ใช้ในการสร้างตะกอน) และกำหนดสภาวะต่างๆของน้ำ ซึ่งได้แก่ ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ ความเร็วรอบ ระยะเวลากวนน้ำ (ทั้งกวนเร็วและกวนช้า) และระยะเวลาตกตะกอน จากนั้นจึงทำการทดลองโดยเติมสารเคมีในปริมาณต่างๆกันลงในบีกเกอร์แต่ละใบ ระดับ pH อาจ



รักษาให้คงที่และแปรเปลี่ยนได้ ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์การทดลอง ผลที่ได้จากการทำจาร์เทสต์ คือ ปริมาณของสารสร้างตะกอนและระดับ pH ที่เหมาะสมต่อกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

วิธีจาร์เทสต์มีข้อบกพร่อง คือ บีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองที่มีลักษณะแตกต่างจากสภาพเป็นจริง ถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงแล้วแต่อิทธิพลดังกล่าวทำให้ตัวแปรที่มีค่าแตกต่างไปจากความเป็นจริง

## 2.9 ลักษณะสมบัติของน้ำผิวดิน

ทรัพยากรน้ำ หมายถึง แหล่งต้นตอของน้ำที่เป็นประโยชน์หรือมีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์ ทรัพยากรน้ำมีความสำคัญเนื่องจากน้ำเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ได้มีการนำน้ำมาใช้ในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม บ้านเรือน นันทนาการ และกิจกรรมต่างๆ รวมทั้งด้านสิ่งแวดล้อม น้ำที่มนุษย์นำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ ดังกล่าวนั้นจะเป็นน้ำจืด แหล่งน้ำบนโลกจะเป็นน้ำเค็มในทะเลและมหาสมุทรถึงร้อยละ 97.2 เป็นน้ำจืดร้อยละ 2.8 ซึ่งจะอยู่ในรูปของธารน้ำแข็งร้อยละ 2.14 อยู่ในรูปของน้ำบาดาลร้อยละ 0.61 อยู่ในรูปของน้ำในแม่น้ำ ลำธาร ร้อยละ 0.009 และอยู่ในรูปของความชื้นในดินและในบรรยากาศร้อยละ 0.006

### 2.9.1 ลักษณะสมบัติของน้ำผิวดิน

ได้แก่ น้ำในแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ และในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เป็นน้ำจืด ปกติน้ำผิวดินจะได้รับการเติมจากฝนหรือหิมะ และจะหายไปตามธรรมชาติด้วยการระเหย การไหลออกสู่ทะเลและการซึมลงไปได้ดิน

การเติมน้ำจืด โดยธรรมชาติของระบบน้ำผิวดินจะได้รับการตกของฝนหรือหิมะลงเฉพาะบนบริเวณลุ่มน้ำนั้นๆ ณ เวลาหนึ่ง ปริมาณรวมของน้ำยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายปัจจัย ปัจจัยเหล่านี้รวมถึงปริมาณความจุของทะเลสาบ พื้นที่ชุ่มน้ำและอ่างเก็บน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น อัตราการซึมของดินในพื้นที่กักเก็บต่างๆ ดังกล่าว ลักษณะของการไหลตามผิวพื้นของลุ่มน้ำ ช่วงเวลาการตกของฝนหรือหิมะและอัตราการระเหยของพื้นที่นั้นๆ ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อสัดส่วนของน้ำที่ไหลออกสู่ทะเล ระเหยและซึมลงใต้ดิน

ปริมาณโดยรวมของน้ำที่มีให้ใช้ ณ เวลาหนึ่งเป็นข้อพิจารณาที่มีความสำคัญมาก การใช้น้ำบางประเภทของมนุษย์เป็นการใช้แบบหยุดๆ เดินๆ ตัวอย่างเช่น การทำเกษตรกรรมหลายแห่งต้องการน้ำเป็นปริมาณมากในช่วงฤดูเพาะปลูก และไม่ใช้น้ำอีกเลยหลังฤดูเก็บเกี่ยว การจ่ายน้ำให้พื้นที่เกษตรกรรมประเภทดังกล่าว ระบบน้ำผิวดินเพื่อการนี้อาจต้องมีขนาดการเก็บกักที่ใหญ่เพื่อให้สามารถเก็บกักน้ำฝนที่ตกลงมาทั้งปีไว้ สำหรับปล่อยมาใช้ภายหลังเวลาที่สั้นเป็นต้น การใช้น้ำประเภทที่ค่อยๆ ใช้นี้อาจครั้งละไม่มากแต่สม่ำเสมอทั้งปี เช่น น้ำสำหรับหล่อเย็นในโรงผลิตไฟฟ้า การจ่ายน้ำในกรณีนี้ ระบบน้ำผิวดินต้องการเพียงอ่างหรือแหล่งกักเก็บที่มีความจุให้พอ

สำหรับไว้ชดเชยน้ำในลำธารที่มีอัตราการไหลเข้าอ่างในฤดูแล้งต่ำกว่าอัตราการใช้น้ำในการหล่อเย็น

น้ำผิวดินตามธรรมชาติสามารถเพิ่มพูนได้โดยการนำน้ำเข้ามาจากแหล่งในลุ่มน้ำอื่นด้วยการขุดคลองส่งน้ำหรือวางท่อส่งน้ำ หรืออาจทำด้วยวิธีอื่นๆ

## 2.9.2 ความแตกต่างระหว่างน้ำผิวดิน และน้ำประปา (สุกัญญา, 2549)

### 1) น้ำผิวดิน

น้ำผิวดิน หมายถึง ส่วนของน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินแล้วไหลลงสู่ที่ต่ำตามแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หนองและบึง น้ำผิวดินจะรวมทั้งน้ำที่ไหลล้นจากใต้ดินเข้ามาสมทบ ปริมาณน้ำที่ไหลในลำห้วยหรือลำน้ำในระหว่างฤดูแล้ง เป็นน้ำที่สะสมไว้ใต้ดินและซึมซับมาตลอดเวลาที่ฝนไม่ตก การไหลนองบนพื้นดิน ทำให้น้ำผิวดินได้รับความสกปรกจากสิ่งแวดล้อมในรูปต่างๆ กัน น้ำผิวดินอาจมีความขุ่นและสารอินทรีย์สูง ปริมาณเกลือแร่ในน้ำอาจมีมากหรือน้อย นอกจากนี้น้ำฝนยังชะล้างสารพิษต่างๆ จากบริเวณเกษตรกรรมให้ไหลมาปนเปื้อนในน้ำผิวดิน สารพิษเหล่านี้ได้แก่ โลหะหนัก ไนเตรด ฟอสเฟต ยาฆ่าแมลง เป็นต้น หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งปล่อยน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารพิษหลายชนิดก็จะไหลมาปนเปื้อนอยู่ในน้ำผิวดินได้เช่นกัน โดยทั่วไปน้ำผิวดินจะมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสเพียงเล็กน้อย และมีค่าการนำไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของน้ำประปา เพราะน้ำประปาส่วนใหญ่ก็ทำมาจากน้ำดิบซึ่งก็คือน้ำผิวดิน

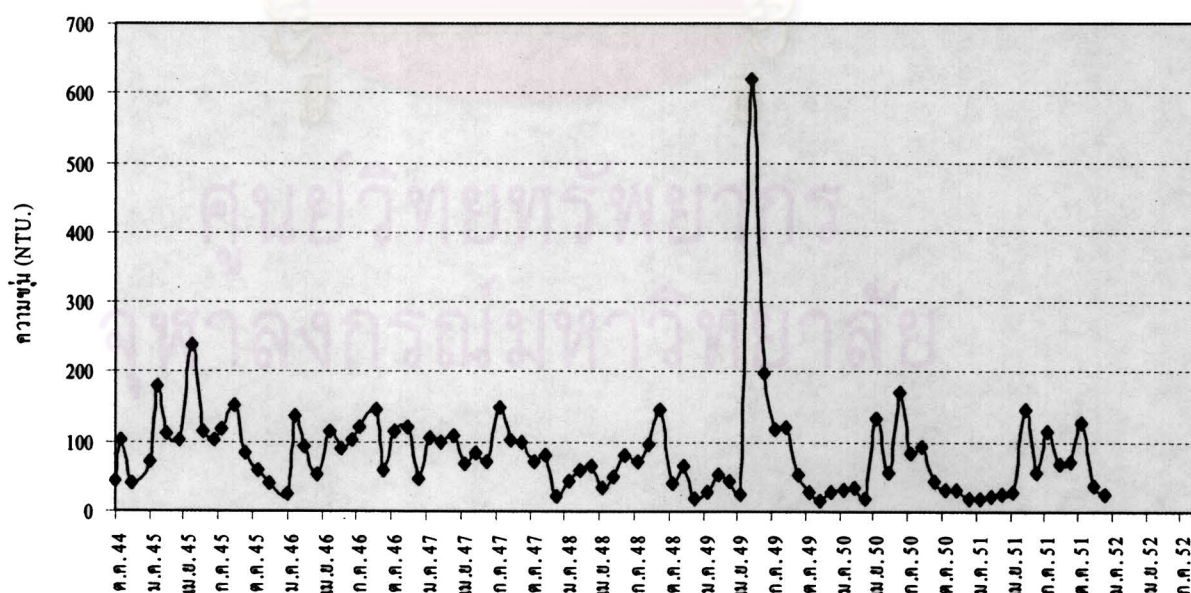
### 2) น้ำประปา

น้ำประปา หมายถึง น้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมที่จะใช้ดื่มได้อย่างปลอดภัย โดยมีการบำบัดน้ำไปตามเส้นทางเพื่อให้ผู้ใช้น้ำได้รับน้ำเพียงพอแก่ความต้องการ คุณลักษณะทั่วไปของน้ำประปาควรมีคลอรีน ( $Cl_2$ ) อยู่ในน้ำด้วยเสมอ แม้ว่าน้ำประปาจะมีคุณภาพดี มีความใสและสะอาดผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพแล้ว หรือเป็นน้ำประปาที่ผ่านกระบวนการผลิตมาโดยวิธีใดก็ตาม ก็ต้องมีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ซึ่งถือเป็นความต้องการขั้นต่ำสุดของการผลิตน้ำประปา ดังนั้น ในน้ำประปามีก๊าซคลอรีนละลายปนอยู่ด้วยเสมอ จึงจะถือได้ว่าฆ่าเชื้อโรคได้พอเพียง การเติมคลอรีนในน้ำเพื่อคลอรีนหรือสารประกอบของคลอรีนเป็นตัวทำลายเชื้อโรคที่ปะปนมากับน้ำ มีสิ่งสำคัญ 2 ประการที่จะต้องคำนึงถึงคือ ความเข้มข้นของคลอรีนและระยะเวลาที่ปล่อยให้เกิดความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาถ้าคลอรีนมีความเข้มข้นต่ำจะใช้เวลานาน แต่ถ้าคลอรีนมีความเข้มข้นสูงจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยจากข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลกเกี่ยวกับการเติมคลอรีนในกิจการประปา ระบุไว้ว่าน้ำประปาควรมีปริมาณของคลอรีนอิสระตกค้าง (Free chlorine residual) ประมาณ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ถ้ามีการระบาดของโรคทางน้ำเกิดขึ้น ควรเพิ่ม

คลอรีนอิสระตกค้างให้มีประมาณ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำประปาจะมีค่าการนำไฟฟ้า ไม่มากกว่า 300 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร

### 2.9.3 คุณสมบัติน้ำผิวดินที่ใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำประปา

แหล่งน้ำผิวดินที่ใช้นำมาผลิตน้ำประปา เป็นน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา จากแผนงานของกรมสุขภาพาล เมื่อปี 2452 ได้วางแผนทำที่ขังน้ำที่คลองเชียงราก แขวงเมืองปทุมธานี เป็นบริเวณที่น้ำทะเลหรือน้ำเค็มขึ้นไม่ถึงตามฤดูกาล และขุดคลองจากที่ขังน้ำเป็นทางลงมาถึงคลองสามเสน ด้านทิศเหนือตามแนวทางรถไฟเรียกว่า คลองส่งน้ำ หลังจากนั้นตั้งโรงสูบน้ำดิบตรงที่ขังน้ำ ซึ่งในปัจจุบันเรียกว่า โรงสูบน้ำดิบสำแล มีความยาวจากสำแลจนถึงสามเสน ประมาณ 30 กิโลเมตร (ปัจจุบันเรียกว่าคลองประปา) สถานีสูบน้ำดิบสำแลสูบน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเฉลี่ยวันละ 30 ลูกบาศก์เมตรเพื่อส่งผ่านตามคลองประปาไปยังโรงกรองน้ำบางเขน ที่สร้างขึ้นเมื่อปี 2518 แรกเริ่มมีกำลังการผลิตวันละ 800,000 ลูกบาศก์เมตร และเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งปี 2532 ผลิตน้ำได้วันละ 2 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าความขุ่นที่วัดได้จากสถานีสูบน้ำสำแลจะมีค่าความขุ่นสูงในช่วงเดือนพฤษภาคม - กรกฎาคม (ดังภาพที่ 2.12) ซึ่งเป็นช่วงฤดูน้ำมากมีค่าสูงถึง 600 NTU ส่วนในฤดูน้ำน้อยจะมีค่าเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ประมาณ 100 NTU ค่าคุณภาพน้ำดิบที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยวัดตั้งแต่เดือนตุลาคม 2551 - มกราคม 2552 และค่าความขุ่นแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดเก็บน้ำพงษ์เพชรในช่วงเดือนมกราคม 2550 - มิถุนายน 2552 (ดังภาพที่ 2.13)

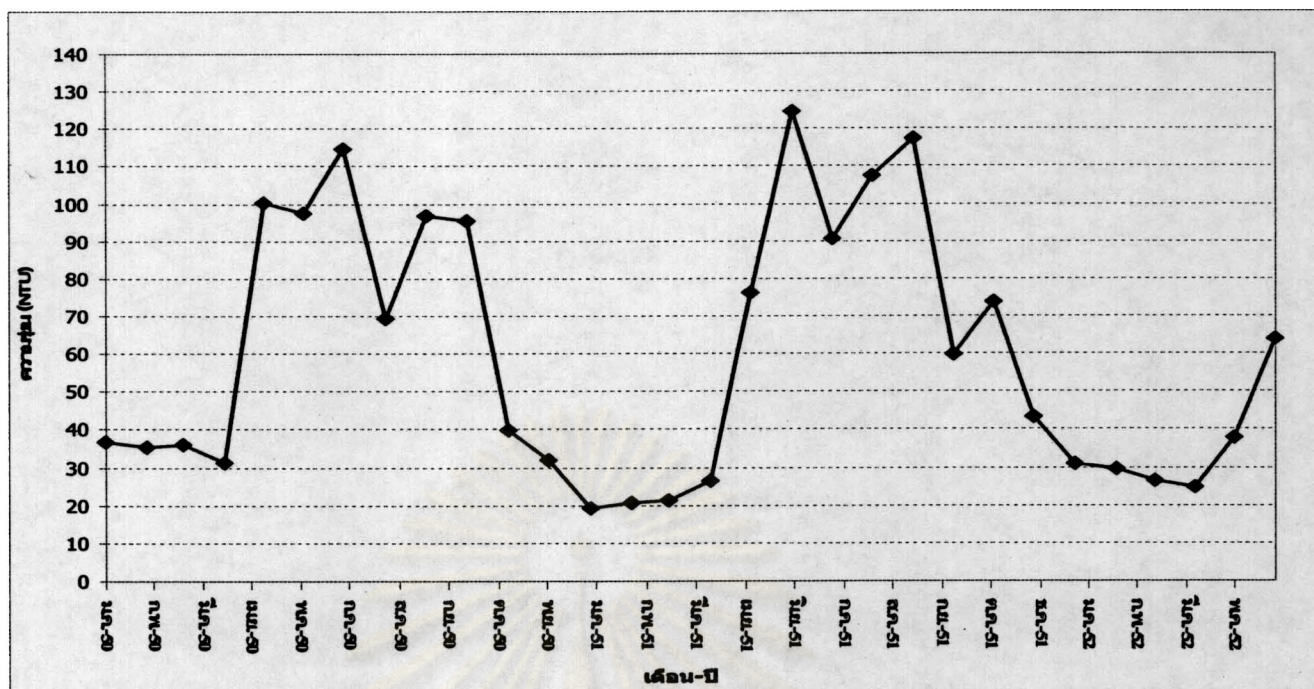


ภาพที่ 2.12 ความขุ่นแม่น้ำเจ้าพระยาหน้าสถานีสูบน้ำสำแล (การประปานครหลวง, 2552)

ตารางที่ 2.2 คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล (การประปานครหลวง, 2552)

พารามิเตอร์	หน่วย	พ.ช. 51	ธ.ค.51	ม.ค.52	ก.พ.52	มี.ค.52	เม.ย.52	มาตรฐาน น้ำผิวดิน
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	29.5	25.8	24.3	25.8	30.5	31.2	-
สีจริง	แพลตินัม-โคบอลต์	19.0	18.0	16.0	10.0	8.0	2.0	-
กลิ่น		ดิน เล็กน้อย	ดินแรง	ดินแรง	ดิน เล็กน้อย	ดินแรง	ดิน เล็กน้อย	-
ความขุ่น	เอ็นทียู	128	38	24	24	26	13	-
ความเป็นกรด-ด่าง		7.46	7.40	7.42	7.21	7.81	7.42	5.0-9.0
ความนำไฟฟ้า	ไมโครโมห์/ซม.	181	238	288	296	314	317	-
ความเป็นด่างทั้งหมด	มก./ล.	74	92	112	109	101	98	-
ความเป็นด่างฟีนอล์ฟ-ทาลีน	มก./ล.	0	0	0	0	0	0	-
ปริมาณมวลสารทั้งหมด	มก./ล.	214	180	200	207	217	210	-
สารละลาย	มก./ล.	109	143	173	178	188	190	-
สารแขวนลอย	มก./ล.	105	37	27	29	29	20	-
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ล.	60	80	102	104	100	96	-
ความกระด้างชั่วคราว	มก./ล.	60	80	102	104	100	96	-
ความกระด้างถาวร	มก./ล.	0	0	0	0	0	0	-
คลอไรด์	มก./ล.	3	9	14	15	14	11	-
ซัลเฟต	มก./ล.	2	2	3	9	20	25	-
ออกซิเจนคอนซุม	มก./ล.	4.72	4.64	5.36	3.60	3.04	3.12	-
แอมโมเนียอิสระ-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.000	0.000	0.000	0.050	0.000	0.020	0.5
แอมโมเนียอัลบูมินอย-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.190	0.260	0.260	0.190	0.100	0.11	-
ไนเตรท-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.240	0.320	0.360	0.370	0.470	0.456	5.0
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.000	ND	ND	ND	ND	ND	-
ไนโตรเจนทั้งหมด-ไนโตรเจน	มก./ล.	0.761	0.735	0.883	0.408	0.832	0.7909	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	0.090	0.075	0.042	0.014	0.054	0.0504	-
แคลเซียม	มก./ล.	19.2	23.2	29.6	28.8	29.6	28.8	-
เหล็ก	มก./ล.	1.50	0.86	0.50	0.39	0.47	0.18	-
ฟลูออไรด์	มก./ล.	0.18	0.30	0.27	0.26	0.20	0.23	-
แมงกานีส	มก./ล.	0.19	0.13	0.07	0.08	0.06	0.03	1.0
แมกนีเซียม	มก./ล.	2.88	5.28	6.72	7.68	6.24	5.76	-
ที. โอ.ซี.	มก./ล.	3.90	6.00	5.90	4.80	3.20	3.80	-
ดี. โอ.	มก./ล.	4.24	3.80	4.30	4.01	4.50	3.40	4.0
บี. โอ.ดี.	มก./ล.	0.90	0.90	0.60	0.90	1.20	0.90	2.0
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN/100 มล.	230	17,000	1,700	1,100	3,000	11,000	20,000
ฟิคอล โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN/100 มล.	20	3,300	200	800	3,000	2,600	4,000
สาหร่ายทั้งหมด	ยูนิต์/100 มล.	800	1,100	560	160	2,900	3,200	-

หมายเหตุ : มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537) ออกตามความใน  
พรบ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535



ภาพที่ 2.13 ความชุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดเก็บน้ำพงษ์เพชร (การประปานครหลวง, 2552)

## 2.10 เทคโนโลยีการบำบัด

### 2.10.1 การปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน

น้ำประปา เป็นน้ำที่ผ่านขบวนการต่าง ๆ มากมาย มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขบวนการผลิตต่อไปนี้

1) การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำประปาได้และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

2) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบน้ำเข้ามาแล้วจะผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้นและสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะปนมากับน้ำในขั้นตอนนี้ก่อน

3) การตกตะกอน ชั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มีการจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่านี้ให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถัง และถูกดูดทิ้งน้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ชั้นคอนต่อไป

4) การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในชั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ แต่ก็ยังพบสาหร่ายเพียงเล็กน้อย ออกมาจากบ่อกรอง

5) การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า " น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป

6) การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ชั้นตอนนี้เป็นชั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

7) การสูบน้ำประปา น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของประชาชนผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นทางท่อ ดังนั้นการสูบน้ำจึงมีความจำเป็น ด้านการส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ห่างไกลออกไปหรือมีความสูงมาก จำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำเพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการ ได้อย่างทั่วถึง

## 2.11 สาหร่าย (algae)

### 2.11.1 ความหมายของสาหร่าย (ยูวดี พืชรพพิศาล, 2548)

เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้ด้วยตนเองจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชทั่วไป มีขนาดเล็กตั้งแต่มองเห็นด้วยตาเปล่าไม่เห็นจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่มีความยาวหลายเมตร เช่น สาหร่ายทะเลหลายชนิด สาหร่ายมีรูปร่างหลายแบบ อาจจะเป็นเซลล์เดี่ยว หลายเซลล์มารวมกลุ่มกันเรียกว่า กลุ่มเซลล์หรือ โคล โคโน เป็นเส้นสายทั้งแตกแขนง และไม่แตกแขนง เป็นทลัสส์ที่

คล้ายมีราก ลำต้น และใบคล้ายพืชชั้นสูงแต่ไม่มีระบบท่อลำเลียงคั่งเช่นพืชชั้นสูง ทุกเซลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อการดำรงชีวิตเหมือนกัน

ในประเทศไทยมีพืชชั้นสูงที่เรียกว่าสาหร่ายหลายชนิด เช่น สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle) สาหร่ายข้าวเหนียว (*Utricularia aurea* Lour.) สาหร่ายพวงพระโค (*Ceratophyllum demersum* L.) และสาหร่ายฉัตร (*Myriophyllum tetandrum* Roxb.) ซึ่งขึ้นอยู่ในแหล่งน้ำจืดทั่วไป สาหร่ายเหล่านี้ไม่ใช่สาหร่าย หรือ algae

สาหร่ายมีความก้ำกึ่งระหว่างแบคทีเรียกับพืช คือมีโครงสร้างของเซลล์และการดำรงชีวิตสูงกว่าแบคทีเรียแต่ต่ำกว่าพืช จึงจัดได้ว่าสาหร่ายมีวิวัฒนาการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตดังกล่าว โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวซึ่งมีวิวัฒนาการร่วมกับพืชสูงบางชนิด

### 2.11.2 แหล่งที่พบสาหร่าย

สาหร่ายพบได้ทุกหนทุกแห่งที่มีความชื้น โดยเฉพาะในน้ำ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม จึงพบได้ทั้งในคู คลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ ลำธาร แม่น้ำ ทะเล และมหาสมุทร แม้กระทั่งใน อ่างเลี้ยงปลา หรือขุดไถ้ดิน ส่วนบนบก ก็สามารถพบสาหร่ายได้ ทั้งในดิน น้ำหน้าดิน บนใบไม้ ต้นไม้ พื้นผิวทั่วไป ทั้งผนังตึก รั้วบ้าน และลานซักล้าง บางครั้งบนอยู่ในใบพืช หรือในสัตว์เลี้ยง แมลงในที่ร้อนจัด เช่นในน้ำพุร้อน หรือบริเวณที่หนาวเย็นเช่นในหิมะ ก็สามารถพบสาหร่ายได้เช่นกัน ซึ่งสาหร่ายที่เจริญในน้ำจืดนั้น จะแบ่งตามสภาพแหล่งน้ำที่แตกต่างกันออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ (ยุติ พีรพรพิศาล, 2549)

#### 1) น้ำไหล (running water)

มักจะ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง น้ำตก สาหร่ายที่ขึ้นอยู่ได้ในสภาพที่น้ำไหลนี้จะมีการปรับตัว โดยมีโครงสร้างภายนอกของทลล์หลุดไปตามกระแสให้ได้ มักจะมีโฮลด์ฟาสต์ (holdfast) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยึดติดกับพื้นดิน หรือหิน เพื่อป้องกันการหลุดลอยไปกับกระแส ในน้ำตกมักจะพบสาหร่ายสีเขียว เช่น *Ulothrix* spp. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Rivularia* spp. สาหร่ายสีแดงพวก *Batrachospermum* spp. และ *Lemanea* spp. เป็นต้น สาหร่ายที่อยู่ในน้ำไหลเอื่อยๆก็จะมีรูปร่างและชนิดแตกต่างไปจากพวกที่อยู่ในน้ำไหลแรง

#### 2) น้ำนิ่ง (standing water)

ได้แก่ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำ สระน้ำ หรือแอ่งน้ำ ในแหล่งน้ำเหล่านี้ น้ำมักจะนิ่งจะมีสาหร่ายหลายชนิดเจริญอยู่ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความอุดมสมบูรณ์ของอินทรีย์สารในแหล่งน้ำนั้น สาหร่ายที่เจริญในแหล่งน้ำนิ่ง แยกออกกล่าวได้ดังนี้

ก. พวกที่ลอยอยู่เป็นอิสระบนผิวน้ำไม่ยึดเกาะกับสิ่งใดในน้ำจึงเรียกว่า แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) ได้แก่ พวกสาหร่ายสีเขียว ใน Order Desmidiaceae เช่น *Cosmarium* spp., *Closterium* spp. และ *Staurastrum* spp. เป็นต้น และ ได้แก่ พวกที่เป็นโคโลนี หรือมีเซลล์เดี่ยว เช่น *Pediastrum* spp., *Scenedesmus* spp. และ *Chlorella* spp. หรืออาจจะเป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Microcystis* spp. และ *Anabaena* spp. เป็นต้น

ข. พวกที่ขึ้นอยู่บนต้นไม้ น้ำ เช่น ผักคบบขวา จอก แหน เรียกว่า สาหร่ายพวกนี้ว่า สาหร่ายอีพิไฟติก (epiphytic algae) เช่น สาหร่ายสีเขียวพวก *Cladophora* spp. และ *Pithophora* spp. เป็นต้น

ค. พวกที่ขึ้นหรือนอนกันอยู่ตามพื้นน้ำ เรียกว่า สาหร่ายพวกนี้ว่า สาหร่ายอีพิเพลลิก (epipellic algae) แบ่งออกเป็น 3 พวก

1. พวกที่ขึ้นอยู่ตามพื้นดิน หรือทรายก้นท้องน้ำ เช่น สาหร่ายไฟพวก *Chara* spp., *Nitella* spp. และ *Tolypella* spp. เป็นต้น

2. พวกที่เคลื่อนที่ไม่ได้ ลักษณะเป็นเมือกอยู่ตามตะกอนก้นท้องน้ำ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด สาหร่ายใน Division Chrysophyta

3. พวกที่เคลื่อนที่ได้ อยู่ตามตะกอนก้นท้องน้ำ เช่น ไดอะตอม

ง. พวกที่เกาะอยู่ตามเม็ดทราย เรียกว่า สาหร่ายอีพิแซมมิก (episammic algae)

จ. พวกที่ขึ้นและเจริญเติบโตอยู่ในพืชอื่น เรียกว่า สาหร่ายเอนโดไฟติก (endophytic algae)

ฉ. พวกที่เกาะอยู่ตามตัวสัตว์ เช่น ปู หอย เต่า ปลา และสัตว์น้ำอื่นๆ เรียกว่า สาหร่ายอีพิซุอิก (epizootic algae)

ช. พวกที่อาศัยอยู่ในตัวสัตว์ เรียกว่า สาหร่ายเอนโดซุอิก (endozootic algae) เช่น *Chlorella* spp. ที่อาศัยอยู่ใน *Hydra viridis*, *Paramecium bursaria* และในฟองน้ำน้ำจืดบางชนิด

### 2.11.3 กลุ่มของสาหร่ายและการจัดจำแนก

สาหร่ายแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม นักสาหร่ายวิทยาแต่ละคนมีวิธีการแบ่งกลุ่มของสาหร่ายที่แตกต่างกันไป โดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังนี้

#### 1) รังควัตถุที่อยู่ในเซลล์

สาหร่ายทุกชนิดมีรงควัตถุหลักคือคลอโรฟิลล์เอ ส่วนรงควัตถุรองจะแตกต่างกันไป เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแดง มีรงควัตถุพวกไฟโคไซยานิน และไฟโคเออร์ริรินเพิ่มขึ้นมา ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวจะมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ เป็นต้น รังควัตถุเหล่านี้ช่วยในการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างอาหารของสาหร่าย บางชนิดมีผลทำให้สีของสาหร่ายคล้อยตามสีของรงควัตถุที่มีอยู่แต่ก็ไม่เสมอไป สาหร่ายแต่ละชนิดมีรงควัตถุแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549)



## 2) องค์ประกอบของผนังเซลล์

สาหร่ายบางชนิดไม่มีผนังเซลล์ บางชนิดผนังเซลล์ก็เปลี่ยนแปลงไปโดยมีสารอื่นมาห่อหุ้ม แต่ส่วนใหญ่แล้วสาหร่ายจะมีผนังเซลล์ องค์ประกอบของผนังเซลล์ของสาหร่ายแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป บางชนิดจะเป็นพวกเซลลูโลส (cellulose) เช่นในพืช บางชนิดอาจมีสารบางอย่างสะสม เช่น ซิลิกา (silica) ในไดอะตอม อัลจินหรืออัลจินเนต (algin or alginine) ในสาหร่ายสีน้ำตาล วุ้น (agar) ในสาหร่ายสีแดง หรือแคลเซียม (calcium) ในสาหร่ายที่มีผนังเซลล์แข็ง เช่นในสาหร่ายสีเขียวและสีแดงบางชนิด เป็นต้น และยังมีสารอื่นๆอีก เช่น ไซแลน (xylan) แมนแนน (mannan) เพกติน (pectin) ไคติน (chitin) เป็นต้น (ยูดี พีรพรพิศาล, 2549)

## 3) อาหารที่สะสมในเซลล์

สาหร่ายแต่ละกลุ่มมีอาหารที่สะสมในเซลล์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตจากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ไม่เหมือนกัน เช่น พวแป้ง (starch) พวอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในสาหร่ายสีเขียว ลามินาริน (laminarin) ในสาหร่ายสีน้ำตาล หรือน้ำมัน (oil) ในสาหร่ายยูกลีนาอยด์ เป็นต้น

## 4) จำนวนและตำแหน่งของแฟลเจลลัม

สาหร่ายหลายชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้ บางชนิดเคลื่อนที่ไม่ได้ บางชนิดในระยะสืบพันธุ์จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เคลื่อนที่ได้ (ยูดี พีรพรพิศาล, 2549) การที่สาหร่ายสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยแฟลเจลลัม หรืออาจเรียกว่าหนวดหรือเส้น แต่บางชนิดก็ไม่มีแฟลเจลลัม สาหร่ายแต่ละชนิดจะมีจำนวน ลักษณะ และตำแหน่งของแฟลเจลลัมฝังตัวอยู่นั้นแตกต่างกันในเซลล์ ซึ่งใช้ในการจัดจำแนกสาหร่ายได้

นักสาหร่ายวิทยาได้แบ่งกลุ่มของสาหร่ายออกเป็นดิวิชัน (division) หรือบางครั้งอาจเรียกเป็น ไฟลัม (phylum) แต่ละคนก็มีแบบแผนในการจัดต่างกัน ซึ่งในเล่มนี้จะยึดตามหลักของ Bold and Wynne (1985) ซึ่งแบ่งสาหร่ายออกเป็น 9 กลุ่ม ดังนี้

1) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae): Division Cyanophyta หรือ Cyanobacteria สาหร่ายกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดมาก่อนสาหร่ายกลุ่มอื่นๆ และมีความคล้ายคลึงกับแบคทีเรีย โดยเป็นพวกที่นิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้มหรือพวกโพรแคริโอต พบได้ทั่วไปในที่ที่มีความชื้นในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม ทั้งในน้ำที่มีคุณภาพดีและไม่ดี พบอยู่ทั้งในดินและผิวดิน แม้แต่ในหิมะหรือน้ำพุร้อน เรามักเรียกสาหร่ายประเภทนี้ว่า “ตะไคร่น้ำ” พวกที่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืดทั่วไปอาจจะเจริญและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูงหรือสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม แล้วสร้างสารพิษออกมา ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำบริเวณนั้นได้

2) สาหร่ายสีเขียว (green algae): **Division Chlorophyta** เป็นสาหร่ายที่พบเห็นในน้ำทั่วไป ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม มีรูปร่างหลากหลายตั้งแต่เซลล์เดี่ยว เซลล์เดี่ยวเกาะกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่าโคโลนี เป็นเส้นสาย เป็นทลัสต์ ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืช แต่มีบางชนิดซึ่งจัดเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่จะยึดเกาะกับดิน หินใต้น้ำ หรือพืชน้ำ

3) สาหร่ายไฟ (stoneworts): **Division Charophyta** มีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง ทลัสต์ขนาดใหญ่ คล้ายสาหร่ายหางกระรอก เจริญโดยยึดเกาะกับพื้นดินใต้ท้องน้ำ บางชนิดมีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบในทลัสต์ ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดเป็นสาหร่ายน้ำจืด

4) สาหร่ายยูกลีโนยด์ (euglenoids): **Division Euglenophyta** ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด สามารถเจริญได้ในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูงหรือน้ำคุณภาพไม่ดีได้มากกว่าสาหร่ายประเภทอื่นๆ จึงเป็นดัชนีบ่งชี้น้ำที่ค่อนข้างสกปรกได้ชัดเจน ทุกชนิดมีแฟลเจลลัมช่วยในการเคลื่อนที่บางครั้งจึงจัดอยู่ในพวกโพรโตซัวชนิดหนึ่ง

5) สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae): **Division Phaeophyta** เป็นสาหร่ายที่มีทลัสต์ขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายทะเล บางชนิดจึงมองคล้ายพืชน้ำที่เจริญอยู่ในทะเลโดยยึดเกาะอยู่กับพื้นทรายใต้ท้องทะเล หรืออาจหลุดลอยมาที่กระแสน้ำ ในเขตอบอุ่นเป็นสาหร่ายเศรษฐกิจที่สามารถนำมาสกัดสารอัลจิน หรืออัลจินเนต ที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมที่สำคัญหลายประเภท

6) สาหร่ายคริสโซไฟต์ (chrysophytes): **Division Chrysophyta** ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม สาหร่ายในกลุ่มนี้มีอยู่ประเภทหนึ่ง ซึ่งมีสมาชิกมากที่สุด คือ ไดอะตอม นักสาหร่ายวิทยาปัจจุบันได้แยกออกเป็นดิวิชันใหม่ คือ **Division Bacillariophyta** มีลักษณะสำคัญคือ เซลล์ประกอบด้วยฝาหรือฟรอสตูล 2 ฝา ประกบกัน ส่วนใหญ่เป็นซิลิกา มีลวดลายสวยงาม ซึ่งใช้ในการวินิจฉัยชนิดของไดอะตอม มีรงควัตถุสีน้ำตาลมากกว่าคลอโรฟิลล์ จึงมองเห็นเซลล์เป็นสีน้ำตาล รูปร่างของสาหร่ายประเภทนี้มีรูปร่างแบบเรขาคณิตชัดเจน พบทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม และดำรงชีวิตทั้งแบบเป็นแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายที่เกาะอยู่กับสิ่งยึดเกาะใต้พื้นท้องน้ำ

7) สาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต (dinoflagellates): **Division Pyrrophyta** มีแฟลเจลลัม 2 เส้น ช่วยในการเคลื่อนที่ เซลล์มักมีเยื่อหุ้มเซลล์เป็นแผ่นรีกา คลุมอยู่มองคล้ายกระเบื้องโมเสก ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

8) สาหร่ายคริปโตโมแนต (cryptomonads): Division Cryptophyta เป็นกลุ่มสาหร่ายที่มีสมาชิกน้อยที่สุด มีแฟลเจลลัม 2 เส้น ที่มีขนาดไม่เท่ากัน ดำรงชีวิตแบบแฟลกเจลลอนพีททั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

9) สาหร่ายสีแดง (red algae): Division Rhodophyta มีทลัสต์คล้ายพุ่มไม้ที่แตกแขนงเป็นฝอย เจริญอยู่บนผิวดิน ทรายหรือหิน พบในน้ำเค็มและน้ำจืด แต่ส่วนใหญ่จะพบในน้ำเค็ม เป็นสาหร่ายเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยนำมาสกัดวุ้น ซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารและใช้ในด้านอุตสาหกรรมหลายประเภท

#### 2.11.4 ความสำคัญของสาหร่าย

Round (1973) กล่าวไว้ว่า สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก แต่ความสำคัญนั้นยิ่งใหญ่ โดยเฉพาะทางด้านเศรษฐกิจของประเทศต่าง สาหร่ายมีความสำคัญต่อมนุษยชาติในด้านต่างๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ดังนี้

##### 1) ด้านระบบนิเวศแหล่งน้ำ

เนื่องจากสาหร่ายดำรงชีวิตด้วยการสังเคราะห์แสงหรือสังเคราะห์อาหารด้วยตัวเอง ในกระบวนการดังกล่าวจะได้ออกซิเจน ประมาณกว่า 50% ซึ่งถือว่ามีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากที่สุด สาหร่ายจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำอย่างสูงยิ่ง นอกจากนั้นยังเป็นผู้ผลิต (producer) เบื้องต้นในแหล่งน้ำ และเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อาหารขั้นต้นๆของสิ่งมีชีวิตในน้ำ จึงจัดเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ โดยเป็นอาหารของแฟลกเจลลอนสัตว์ ลูกกุ้ง ลูกปลา และสัตว์น้ำอื่นๆ

##### 2) ด้านอาหาร

สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ ถูกใช้เป็นอาหารของสัตว์เลี้ยง เช่น วัว ควาย หรือสุกร มานานพร้อมกันนั้น มนุษย์ก็บริโภคสาหร่ายทะเลมานานเช่นกัน โดยเฉพาะอาหารญี่ปุ่น จะมีสาหร่ายทะเลประกอบอยู่ด้วยเสมอ ที่นิยมกันมาก คือสาหร่ายสีแดง *Porphyra* spp. หรือสาใบ ในภาษาไทย หรือนORI ในภาษาญี่ปุ่น หรือจีฉ่าย ในภาษาจีน อาหารไทยประเภทต้มจืด ก็นิยมใส่สาหร่ายประเภทนี้ ภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทยนิยมบริโภคสาหร่ายสีเขียวที่ชื่อ “เตา” หรือ “ทาน้ำ” หรือ *Spirogyra* spp. มานาน โดยนำมาฆ่า ใส่เครื่องปรุงต่างๆ จัดเป็นอาหารพื้นบ้านที่ได้รับความนิยมกันมาก นอกจากนี้ยังมี “ไก” หรือ *Cladophora* spp. และ *Microspora* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายจากกลุ่มน้ำจืด และกลุ่มน้ำจืด ที่นำมาทำเป็นอาหารพื้นบ้าน ได้รับความนิยมมากเช่นกัน

สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Chlorella* spp. และ *Spirulina* spp. มีโปรตีนสูง โดยมีถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งยังไม่มีอาหารชนิดใด มีโปรตีนมากเท่าสาหร่ายดังกล่าว นอกจากนี้

ยังมีวิตามิน เกลือแร่ และกรดไขมันจำเป็นบางชนิดที่มีผลในทางป้องกันการเกิดโรคหรือรักษาโรคบางอย่าง สาหร่ายดังกล่าวจึงกลายเป็นสาหร่ายเศรษฐกิจที่มีผู้นิยมรับประทานเป็นอาหารเสริมกันมากโดยเฉพาะ *Spirulina* spp. สาหร่ายดังกล่าว ถ้ามีคุณภาพรองลงไปจะนำมาเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจหลายชนิด มีผลให้สัตว์โตเร็ว นอกจากนี้ยังมีเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีส้มหรือแดง ซึ่งมีผลให้สัตว์เลี้ยงมีเนื้อแดง ไข่แดงมีสีแดง ปลาบางชนิดมีสีสันสดใสมากขึ้น

### 3) ด้านอุตสาหกรรม

สาหร่ายหลายชนิด มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ มีรายละเอียด ดังนี้

- วุ้น (agar) ได้มาจากการสกัดสาหร่ายสีแดง เช่น *Gelidium* spp. และ *Gracilaria* spp. วุ้นใช้ประกอบอาหารจำพวกขนมหวาน หรือใช้ทำอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความนุ่มและข้นในพวกแยม ลูกอม ไอศกรีม เนย มาของเนส กันสนิมในอาหารหระป่อง ผสมเบียร์และไวน์ให้มีสีใส ใช้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ เช่น ยาระบาย แคปซูลยา ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น ครีม โลชั่น น้ำมันใส่ผม ใช้ย้อมเส้นด้ายให้ทอง่ายขึ้น เคลือบกระดาษ เคลือบฟิล์ม ทำกาว หมึกพิมพ์ เป็นต้น

- คาร์ราจีนิน (carrageenin) ได้มาจากการสกัดสาหร่ายสีแดงเช่นเดียวกัน มีคุณสมบัติคล้ายวุ้น แต่ต้องใช้ความเข้มข้นมากกว่า การใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับวุ้น

- อัลจินหรืออัลจิเนต (algin หรือ alginate) ได้มาจากการสกัดสาหร่ายสีน้ำตาลบางชนิด เช่น *Laminarin* spp., *Macrocystis* spp., *Ascophyllum* spp. และ *Fucus* spp. เป็นต้น สารดังกล่าว เป็นสารที่ทำให้เกิดความเหนียว ใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการให้เกิดความเหนียว เช่น ใส่ในอาหาร เครื่องสำอาง เวชภัณฑ์ สีทาบ้านและอื่นๆ

- ไดอะตอมไมท์ หรือไดอะโคมาเซียสเอิร์ท (diatomite หรือ diatomaceous earth) ได้มาจากไดอะตอมที่ตายแล้วมาทับถมกัน กลายเป็นซากเหลือของผนังเซลล์ซึ่งเป็นซิลิกาที่ไม่สลาย เกิดในสมัยเทอเทียเรีย (Tertiary) และควอเทอนารี (Quaternary) นำมาใช้เป็นเครื่องกรอง ในโรงงานอุตสาหกรรม ฉนวนกันความร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้เป็นผงขัดเงาโลหะต่างๆ หรือ ส่วนประกอบของยาสีฟัน

### 4) ด้านเกษตรกรรม

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนมาเป็นแอมโมเนีย ซึ่งเป็นปุ๋ยในนาข้าว หรือแหล่งเกษตรกรรมอื่นๆได้ ทำให้ได้ปุ๋ยชีวภาพซึ่งช่วยให้

ผลผลิตดีขึ้น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena azollae* อาศัยอยู่ในใบของแห่นแดง จึงใช้แห่นแดงเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวได้เช่นเดียวกัน

### 5) ด้านการแพทย์

สาหร่ายหลายชนิดสามารถใช้เป็นยารักษาโรคได้ ดังมีรายละเอียดดังนี้

#### - ยาสมุนไพร

ในประเทศจีนคนไต้ ใช้สาหร่ายสีเขียว *Digenia simplex* เป็นยาถ่ายพยาธิและรักษาโรคตาขโมย ใช้ไซโตเดียมลามินารินซัลเฟต และฟิวคอยดิน ซึ่งสกัดมาจากสาหร่ายสีน้ำตาล เป็นยาให้เลือดแข็งตัว ใช้สาหร่ายสีน้ำตาลพวก *Sargassum* spp. รักษาโรคคอกพอก ใช้สาหร่ายสีเขียว *Chondrus crispus* (Iris moss) รักษาโรคท้องร่วง โรคทางเดินปัสสาวะ และลำไส้อักเสบ ในประเทศญี่ปุ่นมีการสกัดสารจากสาหร่าย *Spirulina* sp. นำมารักษาโรคมะเร็งบางชนิด ประชาชนแถวลุ่มน้ำน่าน ใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostochopsis* sp. หรือที่เรียกว่า “ลอน” หรือ “ไข่หิน” แก้อโรคร้อนใน

#### - ยาปฏิชีวนะ

สาหร่ายบางชนิดสามารถสร้างสารต้านการเจริญของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ เช่นสาร Chlorellin จากสาหร่าย *Chlorella* spp. นอกจากนี้ยังสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีน้ำตาล และไดอะตอมบางชนิด

ปัจจุบันมีการพบสารเพิ่มภูมิคุ้มกันในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น *Nostoc* spp. สามารถสร้างสารเพิ่มภูมิคุ้มกันในโรคเอดส์ สาหร่ายบางชนิดสร้างสารเพิ่มภูมิคุ้มกันในโรคมะเร็ง เป็นต้น

### 6) ด้านบำบัดน้ำเสีย

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียนั้นสารอินทรีย์ซึ่งมากับน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ เช่นฟอสเฟต ไนเตรท แอมโมเนีย และอื่นๆ สาหร่ายสามารถใช้สารอินทรีย์เหล่านี้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม ทำให้ในน้ำเสียมมีปริมาณสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ลดลง พร้อมกันนั้น แหล่งน้ำจะมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย มีผลทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ออกซิเจนส่วนที่เหลือก็จะถูกสิ่งมีชีวิตในน้ำใช้ในการหายใจ ปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นนี้ทำให้แหล่งน้ำมีออกซิเจนเพียงพอ ถ้ามีสาหร่ายเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จะใช้วิธีข้อนสาหร่ายทิ้งบ้างหรือใช้วิธีปล่อยปลาลงไปกินสาหร่ายก็ได้ โดยต้องระวังเรื่องปริมาณออกซิเจนสำหรับปลา อาจจะมีการเพิ่มออกซิเจนบ้างก็ได้ สาหร่ายที่พบมากในบ่อหรือสระที่กำจัดน้ำเสียได้แก่ สาหร่ายสีเขียวใน Order Volvocales, Order Chlorococcales และสาหร่ายพวกยูกลีโนยด์ สระเหล่านี้เรียกว่า สระเพิ่มออกซิเจน (oxidation pond)

ปัญหาในการกำจัดสาหร่ายที่มากเกินไป ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในสระว่ายน้ำหรือแหล่งน้ำที่  
ต้องการน้ำใสมากๆ อาจใช้วิธีการกำจัดสาหร่ายดังต่อไปนี้คือ ใช้ยากำจัดสาหร่ายเป็นระยะๆ  
โดยมากใช้คอปเปอร์ซัลเฟต 1.0 ppm บางครั้งเติมคลอรีนลงไปด้วย หรือใช้  
dichloronaphthoquinone 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร เพื่อกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ใช้  
prenanthraquinone 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร กำจัดสาหร่ายสีเขียวพวก *Chlorella* spp.  
สำหรับเรื่องกลิ่นของน้ำที่ผิดปกติไป อาจแก้ไขโดยการใช้อ่าน (charcoal) หรืออ่านกัมมันต์  
(activated carbon) ดูกลิ่นก่อนนำไปกรองในกรณีที่จะนำน้ำมาทำน้ำประปา

#### 7) ด้านการใช้เป็นสิ่งมีชีวิตติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ

เนื่องจากสาหร่ายหลายชนิดสามารถเจริญในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพต่างกัน ตัวอย่างเช่น  
*Euglena* spp. และ *Oscillatoria* spp. สามารถเจริญในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง หรือน้ำที่มีคุณภาพไม่ดี  
ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวกลุ่มเคสมีดิส เช่น *Cosmarium* spp. หรือ *Staurastrum* spp. เจริญในน้ำที่มี  
สารอาหารน้อย หรือน้ำที่มีคุณภาพดี ซึ่งจะนำไปสู่การใช้สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ติดตาม  
ตรวจสอบสภาวะแวดล้อมทางน้ำได้อีกทางหนึ่ง นอกจากการตรวจสอบคุณภาพของน้ำทางกายภาพ  
หรือทางเคมี ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอยู่แล้ว

โดยทั่วไปสามารถจะแบ่งแหล่งน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร (trophic level)  
ออกเป็น 3 ระดับคือ แหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย (oligotrophic) น้ำจะมีคุณภาพน้ำดี แหล่งน้ำที่มี  
สารอาหารปานกลาง (mesotrophic) น้ำมีคุณภาพปานกลาง และแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก  
(eutrophic) น้ำมีคุณภาพไม่ดี ในแหล่งน้ำแต่ละสภาพจะมีสาหร่ายที่อยู่ในรูปของแพลงก์ตอนพืช  
แตกต่างกัน ดังนี้ (ยูวดี พีรพรพิศาล, 2549)

ในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย จะพบสาหร่ายสีเขียวประเภทเคสมีดิส ได้แก่ *Staurastrum*  
spp., *Staurodesmus* spp., *Cosmarium* spp. และ *Closterium* spp. เป็นต้น ส่วนไดอะตอมจะเป็น  
ประเภทเซนทริก (centric diatom) เช่น *Cyclotella* spp. เป็นต้น (Palmer, 1962)

ในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลางจะพบสาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น *Peridinium* spp.,  
*Gymnodinium* spp. และ *Ceratium* spp. เป็นต้น

ส่วนแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก มักจะพบสาหร่ายน้อยประเภท แต่ละประเภทจะมีจำนวน  
มาก บางครั้งอาจพบสาหร่ายเพียงชนิดเดียว แต่มีปริมาณมากก็เป็นได้ ในแหล่งน้ำดังกล่าวจะพบ  
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* spp. และ *Phormidium* spp. สาหร่ายยูกลีนา เช่น  
*Euglena* spp., *Phacus* spp. และ *Trachelomonas* spp. ส่วนไดอะตอมจะเป็นพวก *Nitzschia* spp. เป็น  
ต้น

การศึกษาการใช้สาหร่ายเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำมีผู้ศึกษากันไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะเป็นการกล่าวถึงเพียงจिनัสเท่านั้น Wetzel (1983) รายงานชนิดของสาหร่ายที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำในลักษณะของกลุ่มใหญ่ แสดงดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 การจัดชั้นน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร และแพลงก์ตอนพืชที่เป็นชนิดเด่นในชั้นน้ำระดับต่างๆ

ระดับชั้นน้ำ	แพลงก์ตอนพืชที่เป็นชนิดเด่น
Oligotrophic	สาหร่ายสีเขียวพวกเคสมีคัส เช่น <i>Staurodesmus</i> และ <i>Staurastrum</i> ไดอะตอม เช่น <i>Cyclotella</i> และ <i>Tabellaria</i> สาหร่ายคริสโซไฟท์ เช่น <i>Oocystis</i> และ <i>Botryococcus</i> สาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น <i>Peridinium</i> และ <i>Ceratium</i>
Mesotrophic	สาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น <i>Peridinium</i> และ <i>Ceratium</i>
Eutrophic	ไดอะตอมพบมากตลอดทั้งปี โดยเฉพาะพวก <i>Asterionella</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Synedra</i> , <i>Stephanodiscus</i> และ <i>Melosira</i> , <i>Granulate</i> สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะ <i>Microcystis</i> , <i>Aphanizomenon</i> และ <i>Anabaena</i>

ตารางที่ 2.4 การจัดชั้นน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร และกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นชนิดเด่นในชั้นน้ำระดับต่างๆ

ระดับชั้นน้ำ	แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น
Oligotrophic	Chrysophyceae
	Cryptophyceae
Oligomesotrophic	Dinophyceae
	Bacillariophyceae
Mesotrophic	-
Mesoeutrophic	-
Eutrophic	Bacillariophyceae
	Cyanophyceae
Hypereutrophic	Chlorophyceae
	Euglenophyceae

## 8) ด้านการผลิตสารที่มีประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมหลายชนิด

ปัจจุบันได้มีการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายมากขึ้น เช่นเอนไซม์หลายชนิด และบางชนิดมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม สารโพลีเมอร์และรงควัตถุจากสาหร่ายหลายชนิดสามารถนำไปใช้ได้ในวงการอุตสาหกรรมด้านอาหาร เครื่องสำอาง และเวชภัณฑ์ต่างๆ

### 2.11.5 การเก็บรักษาสาหร่าย

การเก็บรักษาสาหร่ายทำได้ 2 ทาง คือ การเก็บรักษาแบบมีชีวิตและเก็บรักษาแบบไม่มีชีวิต ซึ่งจะต้องทำการแยกสาหร่ายให้เป็นชนิดที่บริสุทธิ์มาก่อน การเก็บรักษาแบบมีชีวิตนั้น มีจุดประสงค์จะนำสาหร่ายไปใช้ตลอดไป และเป็นการเก็บลักษณะทางพันธุกรรมของสาหร่ายชนิดนั้นๆไว้ด้วย วิธีการเก็บรักษาแบบมีชีวิตมีหลายแบบ เช่น เก็บแบบเป็นหัวเชื้อโดยนำมาเลี้ยงในอาหารแข็ง หรืออาหารเหลว และต้องเปลี่ยนอาหารที่ใช้เลี้ยงเสมอ อีกวิธีหนึ่งคือ เก็บแบบทำให้เซลล์แข็งแต่ยังมีชีวิตโดยแช่ในโตรเจนเหลวซึ่งใช้ในอุณหภูมิต่ำมาก หรืออาจใช้วิธีทำให้แห้งและแข็ง 2 วิธีหลังนี้จะสามารถเก็บสาหร่ายได้อย่างยาวนานเป็นสิบๆปี โดยเซลล์สาหร่ายไม่ตายและไม่ต้องเปลี่ยนอาหารบ่อยเหมือนวิธีแรก วิธีนี้มักใช้กับสาหร่ายที่มีขนาดเล็ก

อีกวิธีหนึ่งคือเก็บรักษาแบบไม่มีชีวิต ส่วนใหญ่จะใช้กับสาหร่ายขนาดใหญ่ มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาเป็นสำคัญ โดยอาจใช้วิธีการคอง เพื่อให้เห็นรูปร่าง โครงสร้างชัดเจน แต่เก็บรักษาสีไม่ได้คั่น อีกวิธีคือการทำแห้งบนแผ่นกระดาษ วิธีนี้รูปร่างของสาหร่ายจะเปลี่ยนไป แต่สีของสาหร่ายชนิดนั้นๆ จะยังคงอยู่ วิธีที่สามคือการทำสไลด์สำเร็จรูป มักจะใช้กับสาหร่ายขนาดเล็ก หรือเพื่อศึกษาโครงสร้างสำคัญของสาหร่ายขนาดใหญ่ โดยมีวิธีการคิงน้ำออกจากเซลล์ก่อน เมื่อทำเสร็จแล้วสามารถนำไปศึกษาได้นาน สีของสาหร่ายจะไม่เปลี่ยนไปมากนัก

### 2.12 การวัดมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Growth and biomass measurement of algae) (จอร์เกียร์ดี แซ่ตัน, 2552)

การวัดมวลชีวภาพหรือปริมาณของสาหร่าย เพื่อศึกษาการเพิ่มจำนวนและการเจริญเติบโตของสาหร่ายนั้น สามารถประเมินหรือทำการวัดได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การนับจำนวน (Number) หรือหามวลชีวภาพ (Biomass) ของสาหร่ายต่อหน่วยปริมาตรน้ำ โดยการที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้นต้องคำนึงถึงความเหมาะสมและข้อจำกัดของแต่ละวิธี ตลอดจนชนิดของสาหร่าย อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าด้วย

การวัดมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของสาหร่าย แบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่



**- การวัดโดยตรง (Direct measurement or Total Count)**

- 1) การนับโดยใช้สไลด์นับเซลล์ (counting chamber) และกล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ (compound microscope)
- 2) การนับโดยใช้การตกตะกอนและกล้องจุลทรรศน์แบบ inverted microscope
- 3) การนับโดยใช้สไลด์ธรรมดาและจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ (compound microscope)
- 4) การนับโดยใช้เครื่องนับจำนวน (counter count หรือ electronic counting)

**- การวัดประชากรสาหร่ายโดยอ้อม (Indirect measurement)**

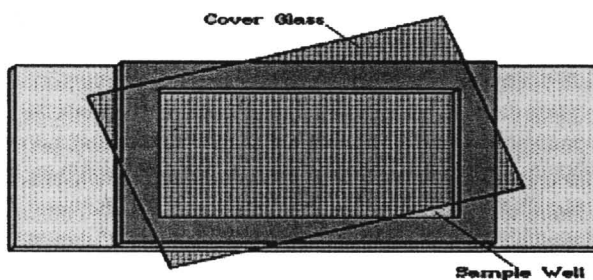
- 1) การหาน้ำหนักแห้ง (dry weight)
- 2) การหาน้ำหนักของขี้เถ้า (ash content)
- 3) การหาปริมาตรเซลล์ที่อัดกันอยู่ (pack cell volume)
- 4) การหาความหนาแน่นโดยอาศัยแสง (optical density)
- 5) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน (analysis of carbon)
- 6) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และรงควัตถุอื่น (chlorophyll and other pigment analysis)

ในงานวิจัยนี้จะวัดโดยตรง (Direct measurement or Total Count) ด้วยการใช้นับเซลล์ (counting slide or counting chamber) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

**2.12.1 วิธี Sedgwick-Rafter (S-R) counting chamber**

เป็นสไลด์ที่ทำด้วยกระจก หรือ Polystyrene ใส ขนาด 76 x 40 มิลลิเมตร มีกรอบสี่เหลี่ยม พื้นที่ 50 x 20 มิลลิเมตร ลึก 1 มิลลิเมตร จุน้ำปริมาตร 1 มิลลิลิตร พอดีเมื่อปิดกระจกปิดสไลด์ ภายในกรอบสี่เหลี่ยมบนสไลด์จะแบ่งเป็นช่องๆ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยแต่ละช่องสี่เหลี่ยมจุน้ำได้ 1 ไมโครลิตร ดังภาพที่ 2.14

สไลด์ S-R เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมากที่สุดในการนับปริมาณสาหร่าย เพราะใช้ง่าย ให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้กำลังขยายสูงได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้วิธีนี้ในการนับจำนวนสาหร่าย



ภาพที่ 2.14 Sedgwick-Rafter (S-R) counting chamber (จจรเกียรติ์ แซ่ตัน, 2552)

### 2.12.2 วิธี Hemacytometer counting chamber

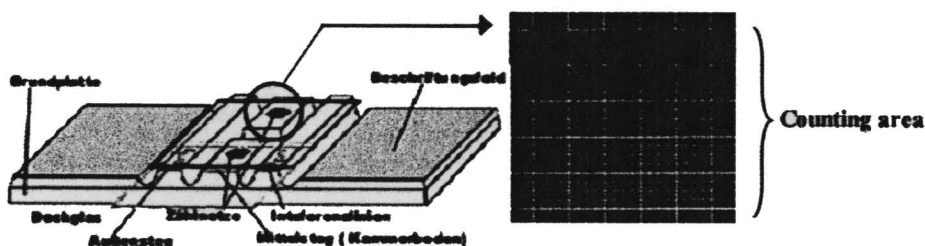
สไลด์ Hemacytometer 1 อันจะมีตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ 2 ตาราง อยู่พื้นที่ตรงกลางสไลด์ โดยแต่ละตารางมีพื้นที่เท่ากับ 1 มิลลิเมตร<sup>2</sup> (ภาพที่ 2.16) จะมีความลึก 1/10 มิลลิเมตร บริเวณรอบตารางสี่เหลี่ยมจะล้อมรอบด้วยร่องลึกขนาดใหญ่ให้น้ำขังได้ นิยมใช้สำหรับนับสาหร่ายขนาดเล็ก (0.5 – 10 ไมครอน) สไลด์นับเซลล์แบบนี้จะได้อัตราที่แน่นอน สามารถใช้นับสาหร่ายที่ยังมีชีวิตและตายแล้ว ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 Hemacytometer counting chamber (จจรเกียรติ์ แซ่ตัน, 2552)

ในการนับสาหร่ายจะหยดน้ำตัวอย่างลงไป 1 หยด และนับจำนวนเซลล์สาหร่ายที่อยู่บนตารางสี่เหลี่ยมและสามารถ คำนวณค่าเป็นจำนวนสาหร่ายต่อปริมาตรน้ำได้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของ Hemacytometer counting chamber} &= \text{ความกว้าง} \times \text{ความยาว} \times \text{ความลึก} \\
 (\text{ภายในตารางสี่เหลี่ยม 1 ตาราง}) &= 1 \text{ มม.} \times 1 \text{ มม.} \times 0.1 \text{ มม.} \\
 &= 0.1 \text{ มม}^3 \text{ หรือ } 1/10 \text{ มม}^3 \\
 &= 0.0001 \text{ ซม}^3 \text{ หรือ } 1/10^4 \text{ ซม}^3 \\
 &= 1/10^4 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

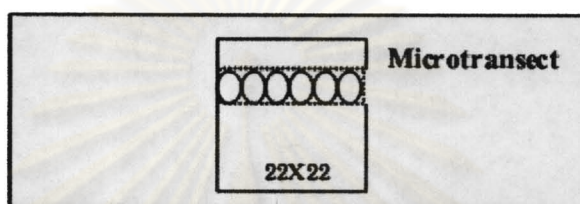


ภาพที่ 2.15 พื้นที่ตารางสำหรับการนับเซลล์สาหร่าย(จจรเกียรติ์ แซ่ตัน, ม.ป.ป.)

### 2.12.3 วิธี Drop Microtransect

วิธีนี้ใช้สไลด์ธรรมดาจำนวนสาหร่ายที่มีปริมาณค่อนข้างมาก ไม่เหมาะสำหรับตัวอย่างสาหร่ายที่มีปริมาณน้อยๆ นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีข้อดี ที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ ถ้าทำอย่างระมัดระวังจะได้ข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้อง สำหรับข้อเสียวิธีนี้จะพบปัญหาเรื่องความแปรปรวนในการสูบน้ำตัวอย่างสาหร่าย จึงทำให้มีความแตกต่างของชนิดและปริมาณสาหร่ายที่นับ แต่สามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งในการนับให้มากขึ้น

Microtransect/Strip คือ พื้นที่ซึ่งดูผ่านกล้องจุลทรรศน์โดยการเลื่อนจากขอบกระจกปิดสไลด์ (coverglass) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง



พื้นที่ Microtransect/Strip(mm<sup>2</sup>) = ความยาวของกระจกปิดสไลด์(mm) x ความกว้างของ microtransect(mm)

### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณิต ม่วงศิริ (2538) ศึกษาเปรียบเทียบผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โดยการสร้างเม็ดตะกอนให้เกิดขึ้นโดยใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็น สารสร้างตะกอน และใช้โพลีเมอร์แอนไอออน, โพลีเมอร์นอนไอออนและโพลีเมอร์แคตไอออนเป็น สารช่วยสร้างตะกอน โดยได้แปรผันค่าพีเอชของปฏิกิริยา พบว่า พีเอชไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการจมตัวของเม็ดตะกอนและความสูงของชั้นเม็ดตะกอน แต่มีอิทธิพลต่อขนาดเม็ดตะกอนอยู่บ้างแต่มีรูปแบบที่ไม่ชัดเจน พีเอชมีอิทธิพลต่อปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ ซึ่งปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำมีค่าต่ำเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.0 และมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนด 200 ไมโครกรัม/ลิตร

รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน (2540) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำของสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท จังหวัดชลบุรี มาผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยวิธีจาร์เจสต์ โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์กับสารช่วยสร้างตะกอน 4 ชนิด คือ ปูนขาว โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ไม่มีประจุ พบว่า สารเคมีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ปริมาณเหมาะสม 70 มก./ล. ที่พีเอชเหมาะสมเท่ากับ 7 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ปริมาณเหมาะสม 0.4 มก./ล. โดยเติมก่อนโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

สูงสุด 99.68% ให้อัตราเร็วในการตกตะกอนสูงสุด คือ 1.2604 ซม./นาทิจ ำให้ปริมาณตะกอนน้อยที่สุด คือ 285 มล./ล. ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 3.27 บาท/ลบ.ม. น้ำดิบ คุณภาพน้ำหลังกระบวนการตกตะกอนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค

อัญชติ กัลลภิบาล (2543) ศึกษาการกำจัดความขุ่นในระบบกรองลงแบบใช้ชั้นกรองพลาสติกกลอย โดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นจากผงดินคาโอติน ในระดับความขุ่น 20 และ 40 NTU แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการหาชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบสารสร้างตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต (Alum), โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) และเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ด้วยวิธีจาร์เทสต์ ส่วนที่สองเป็นการศึกษารูปแบบการเดินระบบกรองที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเดินระบบในระยะสั้น (6 ชม.) และระยะยาว (24 ชม.) โดยกำหนดปริมาณสารสร้างตะกอนในการทดลองเท่ากับ 20%, 40% และ 60% ของปริมาณที่ได้จากการทำจาร์เทสต์และอัตราการกรองเท่ากับ 10, 15 และ 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. รวมทั้งศึกษารูปแบบการล้างย้อนที่เหมาะสม พบว่า น้ำสังเคราะห์ความขุ่น 20 และ 40 NTU มี PACI เป็นสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมและมีปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมเท่ากับ 20% ของปริมาณที่ได้จากการทำจาร์เทสต์ อัตราการกรองน้ำที่เหมาะสมสำหรับน้ำสังเคราะห์ความขุ่น 20 และ 40 NTU คือ 15 และ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 6 ชม. และ 24 ชม. ของน้ำสังเคราะห์ความขุ่น 20 NTU เท่ากับ 96.72% และ 81.81% ส่วนการทดลองโดยใช้น้ำสังเคราะห์ความขุ่น 40 NTU มีประสิทธิภาพเท่ากับ 97.72% และ 94.61% ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ความขุ่น 20 หรือ 40 NTU สามารถผลิตน้ำที่มีความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU เมื่อทำการเดินระบบในระยะยาว (24 ชม.) ได้ โดยมีพลังงานน้ำสูญเสียในระบบน้อยกว่า 1.00 ม. ส่วนการศึกษารูปแบบการล้างย้อนที่เหมาะสม พบว่าการล้างย้อนโดยใช้อากาศเป็นเวลา 1 นาที แล้วตามด้วยน้ำ 1 นาที เป็นรูปแบบการล้างย้อนที่เหมาะสมที่สุด

Marhaba T.F. และคณะ (2000) ศึกษาถึงวิธีการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบออกให้ได้มากที่สุด เป็นการศึกษาโดยใช้สารส้มเป็น สารสร้างตะกอน ผ่านกระบวนการ jar Coagulation test ที่ช่วงพีเอชและปริมาณสารส้มต่างๆ กระบวนการดูดซับโดยใช้เรซินเพื่อแยกสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ Hydrophobic acid (FA), base (FB), neutral (FN), Hydrophilic acid (PA), base (PB) neutral (PN) พบว่า ในกลุ่มของ PA, PB, PN และ FN จะกำจัด TOC ได้มากที่สุดที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 6 และใช้สารส้มปริมาณ 60 มก./ล. ขณะที่กลุ่มของ FA และ FB จะกำจัดได้มากที่สุดที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 6 และใช้สารส้มเป็นปริมาณ 40 มก./ล.

วิโรจน์ ทรัพย์ศักดิ์ (2544) ทำการศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์โยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ด้วยวิธีจาร์เทสต์ใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาในการกวนเดียวกับโรงงานผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ โดยใช้สารส้ม เฟอร์ริกคลอไรด์ และ

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ พบว่า สภาวะที่สามารถลดความขุ่นให้เหลือไม่เกิน 3 เอ็นทียู และค่าใช้จ่ายต่ำสุด เมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 42.2 - 44.2 เอ็นทียู สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดคือ ไม่ปรับพีเอช และใช้เฟอร์ริก-คลอไรด์ 10 มก./ล. ความขุ่นคงเหลือ 2.89 เอ็นทียู ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 93.37% ค่าใช้จ่ายสารเคมี 0.13 บาท/ลบ.ม. เมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 21.7 - 24.3 เอ็นทียู สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดคือ ไม่ปรับพีเอชและใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ 6 มก./ล. ความขุ่นคงเหลือ 2.61 เอ็นทียู ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 88.59% ค่าใช้จ่ายสารเคมี 0.08 บาท/ลบ.ม. เมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 11.09 - 17.91 เอ็นทียู สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดคือ ไม่ปรับพีเอชและใช้เฟอร์ริก-คลอไรด์ 4 มก./ล. ความขุ่นคงเหลือ 2.62 เอ็นทียู ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 82.38% ค่าใช้จ่ายสารเคมี 0.05 บาท/ลบ.ม.

Lindqvist และคณะ (2002) ศึกษาการกำจัด natural organic matter จากทะเลสาบ Roine ประเทศฟินแลนด์โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม อะลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกคลอไรด์ และเฟอร์ริกซัลเฟต และสารช่วยสร้างตะกอน (Polymeric Flocculant Aids) พบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัด DOM ของ ACH อยู่ในช่วง 6.6 - 6.8 ปริมาณที่เหมาะสมของ mg ACH/mg DOC เท่ากับ 1.3 mg Al/mg DOC และเมื่อใช้ Polyacrylamide ร่วมกับ ACH สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด

โอภาส แสงทองประกาย (2546) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยกระบวนการทางเคมีด้วยวิธีตกตะกอนเคมี โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม ปูนขาว และอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) เพื่อศึกษาหาปริมาณพีเอชที่เหมาะสม พบว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีปริมาณที่เหมาะสม คือ 280, 1,100 และ 100 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาพีเอชที่เหมาะสมแล้ว พบว่า สารส้ม น้ำและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชก่อนการบำบัด เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียก่อนการบำบัด ยกเว้นการใช้ปูนขาวจำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด เมื่อเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนทั้ง 3 แล้วสามารถสรุปได้ว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารสร้างตะกอนมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นได้ร้อยละ 99.54 บำบัดบีโอดี (BOD) ได้ร้อยละ 88.21 บำบัดซีโอดี (COD) ได้ร้อยละ 87.63 บำบัดสารแขวนลอย (SS) ได้ร้อยละ 91.60 บำบัดทีเคเอ็น (TKN) ได้ร้อยละ 24.92 บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P) ได้ร้อยละ 94.14 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการบำบัดคือ 10.24 บาท/ลบ.ม.

สมหมาย แคล้วคล่อง และ ธนาวุธ ไวจำปา (2546) ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณความขุ่น ความกระด้าง เหล็ก ทองแดง และตะกั่วในน้ำแข็งหลอดและน้ำที่ใช้ผลิต จาก 4 โรงงานในเขตอำเภอเมืองที่ขึ้นทะเบียนกับสำนักงานสาธารณสุข จังหวัดมหาสารคาม พบว่า ในตัวอย่างน้ำแข็งหลอดมีปริมาณความขุ่นอยู่ในช่วง 1.702-3.968 NTU ปริมาณความกระด้างอยู่ในช่วง 3.333-12.000

มก./ล.  $\text{CaCO}_3$  และปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.040-0.050 มก./ล. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ส่วนปริมาณเหล็กและทองแดงอยู่ในช่วง 0.312-0.423 มก./ล. และ 1.448-1.789 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดเล็กน้อย ส่วนในตัวอย่างน้ำที่ใช้ผลิตมีปริมาณความขุ่นอยู่ในช่วง 1.289-3.823 NTU ปริมาณความกระด้างอยู่ในช่วง 40.889-91.333 มก./ล.  $\text{CaCO}_3$  และปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.026-0.033 มก./ล. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ส่วนปริมาณเหล็กและทองแดงอยู่ในช่วง 0.300-0.320 มก./ล. และ 1.418-1.751 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดเล็กน้อย

นิสาร์ตน์ ทิพยคารา (2546) ศึกษาผลกระทบของความขุ่นของน้ำต่อปริมาณผลผลิตเบื้องต้นในแหล่งน้ำ และหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการปรับสภาพน้ำขุ่นเป็นน้ำใส โดยศึกษาบ่อน้ำธรรมชาติที่กักเก็บน้ำมานานกว่า 4 ปีขึ้นไป จำนวน 5 บ่อ จาก จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยหาผลผลิตเบื้องต้นของบ่อโดยวิธี light and dark bottle ค่าการตกตะกอน (flocculation value) ของสารส้มโดยวิธี Jar test ในตัวอย่างน้ำ และศึกษาปริมาณการฟุ้งกระจายของดินเหนียวประเภท SDC (spontaneous dispersed clay) และประเภท MDC (mechanical dispersed clay) ในตัวอย่างดินจากบริเวณที่ขุดบ่อที่ความลึก 30 ถึง 50 ซม. และ 100 ถึง 120 ซม. ภายใต้อุณหภูมิการใส่สารส้มเข้มข้น 0 ถึง 5000 มก./ล. พบว่า ความขุ่นลดผลผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ แหล่งน้ำทั้งหมดไม่อุดมสมบูรณ์ด้วยอาหารธรรมชาติ และสิ่งมีชีวิตในน้ำอยู่ได้อย่างจำกัดอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลชีพ (respiratory rate) เท่ากับอัตราการออกซิเจนที่ผลิตขึ้นสุทธิ (net photosynthesis rate) ค่าการตกตะกอนของสารส้ม แปรตามความเข้มข้นของอนุภาคดินเหนียวในน้ำจากการวัดด้วยสายตา น้ำที่มีตะกอนมาก (2,829 และ 3,569 มก./ล.) และตะกอนน้อย (390 ถึง 673 มก./ล.) มีค่าการตกตะกอนของสารส้ม เท่ากับ 50 ถึง 25 มก./ล. แต่จากการวัดด้วยค่าการส่องผ่านของแสง (transmittance) ค่าการตกตะกอนของสารส้ม มีค่า 50 มก./ล. การใช้สารส้มในปริมาณนี้เป็นผลทำให้น้ำมีค่าสภาพกรดหรือด่างอยู่ในช่วง 5.3 ถึง 7.0 ปริมาณการฟุ้งกระจายของดินเหนียวทั้ง 2 ประเภท ในตัวอย่างดินไม่สอดคล้องกับปริมาณของสารแขวนลอยในบ่อน้ำขุ่นและการใช้สารส้มเข้มข้น 125 มก./ล. ทำให้ดินเหนียวประเภท SDC และ MDC ฟุ้งกระจายลดลงในดินทั้ง 2 ความลึก พฤติกรรมการตกตะกอนนี้ไม่แตกต่างกัน ทั้งในดินที่กำจัดและไม่ได้กำจัดสารอินทรีย์ การใส่สารส้มในระดับความเข้มข้นดังกล่าว มีผลทำให้ดินมีสภาพกรดหรือด่างน้อยกว่า 3.8

Agrilar M.I. และคณะ (2004) ศึกษาการลดความขุ่นของน้ำโดยการใช้โพลีเมอร์ที่มีประจุลบ คือ Anionic polyacrylamide เป็นสารช่วยสร้างตะกอน โดยทำการศึกษาในน้ำตัวอย่างจากโรงฆ่าสัตว์ ในการศึกษาที่มีการควบคุม เวลาในการกวน และเวลาในการสร้างตะกอน โดยสารที่ใช้สร้างตะกอนดังนี้ เฟอริกซัลเฟต, อะลูมิเนียมซัลเฟต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ซึ่งในการทดลองต้องควบคุม ความเร็วในการกวนที่เหมาะสม และสภาวะของความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณสารสร้างตะกอนและสารช่วยสร้างตะกอน ความเร็วในการสร้างตะกอน และทำการศึกษาพารามิเตอร์ ดังนี้

COD, BOD และ TSS รวมถึงขนาดอนุภาค ปริมาณตะกอน แอมโมเนียม ไนโตรเจน อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ไนโตรเจน ออร์โทฟอสเฟต ฟอสฟอรัส และ เหล็ก ในน้ำหลังการตกตะกอน

อัศวินท์ พุ่มไพศาลชัย (2548) ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของสารอินทรีย์ละลายน้ำโดยในรูปสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved organic carbon, DOC) และการลด Trihalomethane formation potential (THMFP) ของสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยกระบวนการตกตะกอนเคมีที่ใช้สารส้ม ทำการศึกษาตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะ ใน จ.เชียงใหม่ และเขื่อนภูมิพลใน จ.ตาก สารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำถูกแยกแפרกชันโดยใช้ เรซินชนิด DAX-8 พบว่า สามารถกำจัด DOC จากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะได้เท่ากับ 44% โดยใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 40 มก./ล. และควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6.0 เมื่อใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 60 มก./ล. และควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 5.5 สามารถกำจัด DOC ของน้ำจากเขื่อนภูมิพลได้เท่ากับ 44% และพบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำและ THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำได้มากกว่าสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและ THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ และกำจัด DOC ชนิดชอบน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะและเขื่อนภูมิพลได้เท่ากับ 27% และ 44% ตามลำดับ และสามารถกำจัดสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะได้เท่ากับ 60% และกำจัดสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำจากเขื่อนภูมิพลได้เท่ากับ 51% กระบวนการตกตะกอนเคมีที่สภาวะที่เหมาะสมสามารถลด THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะได้เท่ากับ 35% และสามารถลด THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำจากเขื่อนภูมิพลได้เท่ากับ 35% และลด THMFP ที่เกิดจากสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำจากอ่างเก็บน้ำแม่เหิยะและเขื่อนภูมิพลได้เท่ากับ 55% และ 40% ตามลำดับ จากการประยุกต์ใช้ Fluorescent excitation emission matrix (FEEM) เพื่อหาค่า DOC และ THMFP ของทั้งสองแหล่งน้ำ พบว่า ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีค่าสูงอย่างชัดเจนที่ตำแหน่ง 330 nm/400nm (excitation wavelength/emission wavelength) และพื้นที่ใต้กราฟของ fluorescent excitation spectrum ที่ 330 nm สามารถประยุกต์ใช้ในการหาค่า DOC และ THMFP ได้เป็นอย่างดี โดยมีค่า R2 มากกว่า 0.9 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในระดับดี

Bachand และคณะ (2006) ศึกษาการบำบัดความขุ่นและฟอสฟอรัสในน้ำจากทะเลสาบ Tahoe ช่วงฤดูฝนความขุ่นประมาณ 65-90 NTU โดยใช้ ACH เป็นสารสร้างตะกอน ทำการกวนเร็วที่ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที กวนช้าที่ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้น  $3.8 \text{ mg Al}^{3+}/\text{L}$  สามารถลดความขุ่นเหลือ 2.36 NTU และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสเหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

Tran และคณะ(2006) ศึกษาการกำจัด natural organic matter จากแม่น้ำ Ouyen และ แม่น้ำ Meredith ประเทศออสเตรเลียโดยวิธีจาร์เทสต์ ใช้ ACH เป็นสารตกตะกอน กวนเร็วที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาทีและทิ้งให้ตกตะกอน 60 นาที พบว่า ACH ที่ความเข้มข้น  $322 \text{ } \mu\text{mol/L}$  สามารถกำจัดความขุ่นของแม่น้ำ

Ouyen ได้ 87-93 % และที่ความเข้มข้น 351  $\mu\text{mol/L}$  สามารถกำจัดความขุ่นของแม่น้ำ Meredith ได้ 85-89 %

อารยา รานอก (2549) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียซีโอติโดยการตกตะกอนทางเคมีในรูปโลหะซัลไฟด์และโลหะไฮดรอกไซด์ และศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการตกตะกอนเคมีเพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพของการตกตะกอน ตลอดจนการทดสอบความเสถียรของตะกอนที่เกิดเพื่อเป็นการลดขั้นตอนนำตะกอนไปบำบัด พบว่า สภาพที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุด คือ การตกตะกอนด้วยโซเดียมไรโอซัลเฟต 7.5 กรัม และปรับพีเอชเป็น 9 ค่อน้ำเสียซีโอติ 500 มล. สามารถกำจัดปรอท เงิน โครเมียม และเหล็ก คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 99.97, 99.85, 99.99 และ 99.21 ตามลำดับ เมื่อศึกษาการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆเพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการตกตะกอน พบว่า สภาพที่เหมาะสมในการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน คือ ใช้สารส้มความเข้มข้น 600 มก./ล. โดยใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนเพียง 40 นาที และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนและการตกตะกอนร่วมกับกระบวนการตกตะกอนเคมีพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมกับกระบวนการตกตะกอนเคมีดีกว่าการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว ส่วนโลหะปรอท เงิน และโครเมียม มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อศึกษาความเสถียรของตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียซีโอติ พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นปรอท นั้นแสดงว่าตะกอนของโลหะปรอทไม่เสถียรจึงต้องมีการบำบัดก่อนการนำไปฝังกลบ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายสารเคมีในการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีนี้เท่ากับ 22.0 บาทค่อน้ำเสีย 1 ลิตร

รพีพรรณ ขงยอด (2550) ศึกษาเชิงทดลอง (Experimental research) โดยใช้ผงกระดองปูดำเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม เพื่อลดความขุ่นในน้ำและทำการทดสอบด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกหาความเข้มข้นที่เหมาะสม ขั้นตอนที่ 2 หาประสิทธิภาพผงกระดองปูดำร่วมกับความเข้มข้นสารส้มที่เหมาะสมในการลดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ 50, 100 และ 150 NTU น้ำฝวดินความขุ่นสูง และความขุ่นต่ำ โดยใช้ความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมในการทดลองขั้นตอนแรก พบว่า ผงกระดองปูดำ 4 ก./ล. ร่วมกับสารส้ม 200 มก./ล. เป็นสภาพที่เหมาะสมในการลดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ 50 NTU ลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.14 ในน้ำสังเคราะห์ความขุ่น 100 NTU และ 150 NTU พบว่า ผงกระดองปูดำ 2 ก./ล. ร่วมกับสารส้ม 200 มก./ล. ลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.00 และ 98.00 ตามลำดับ การใช้ผงกระดองปูดำเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำฝวดินสำหรับผลิตประปาปริมาณผงกระดองปูดำ 2 ก./ล. ร่วมกับสารส้ม 100 มก./ล. ลดความขุ่นในน้ำฝวดินที่มีความขุ่นต่ำ 60 NTU ได้ร้อยละ 93.33 และลดความขุ่นในน้ำฝวดินที่ความขุ่น 388 NTU ได้ร้อยละ 97.97 ผงกระดองปูดำ 6 ก./ล.ร่วมกับสารส้ม 100 มก./ล.



## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 สถานที่ทำการวิจัย

การทดลองทั้งหมดกระทำภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและโรงงานผลิตน้ำสามเสน โดยดำเนินการทดลองแบบ เท (batch test) น้ำผิวดินที่อุทกภูมิห้อง และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

#### 3.1.1 พารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่

3.1.1.1 ระบบการกวนเร็ว และเวลากักเก็บน้ำ

3.1.1.2 ระบบการกวนช้า ความเร็วรอบและเวลากักเก็บน้ำ

3.1.1.3 ระบบการตกตะกอน เวลาในการตกตะกอน และระยะ (ความลึก) จากผิวน้ำในการเก็บตัวอย่าง

#### 3.1.2 พารามิเตอร์ที่มีค่าแปร

3.1.2.1 ความขุ่นเริ่มต้น

3.1.2.2 พีเอชเริ่มต้น

3.1.2.3 ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารสร้างตะกอน (Coagulant)

3.2.1.1 สารส้ม (Alum) เข้มข้น 50% มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสูตรทางเคมี คือ  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  พีเอชของสารละลาย 3.5 – 5 องค์ประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) 8 – 8.5 %

3.2.1.2 โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride; PACl) เข้มข้น 15% ชื่อทางการค้า GL-15DS บริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรทางเคมี คือ  $Al_3(OH)_4Cl_3$  พีเอชของสารละลาย 3.5 - 5 องค์ประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) 15%

3.2.1.3 อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (Aluminium chlorohydrate; ACH) เข้มข้น 50% ชื่อทางการค้า AL-52D5 บริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเหลือง มีสูตรทางเคมี คือ  $Al_2(OH)_5Cl$  ทีเอชของสารละลาย 1 – 4 องค์กรประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) 10%

#### สารช่วยตกตะกอน (Coagulant Aids หรือ Polymer)

3.2.1.4 Cationic Polyelectrolyte โพลีเมอร์ประจุบวก

3.2.1.5 Anionic Polyelectrolyte โพลีเมอร์ประจุลบ

### 3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.2.1 อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar test)

3.2.2.2 เครื่องวัดความขุ่น (Turbid meter)

3.2.2.3 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

3.2.2.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด (Analytical balance)

3.2.2.5 เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

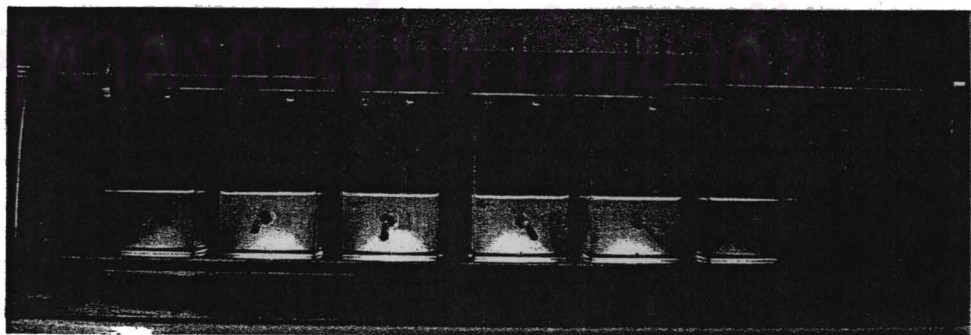
3.2.2.6 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

3.2.2.7 สเตลด์ S-R (Sedgwick-Rafter (S-R) counting chamber)

### 3.3 แผนการทดลอง

#### 3.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบ

น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำจากคลองประปา บริเวณโรงผลิตน้ำประปาสามเสน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2552 – กุมภาพันธ์ 2553 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความขุ่นต่ำ (น้อยกว่า 50 เอ็นทียู) หลังจากเก็บน้ำดิบมาแล้วก็นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้แก่ พีเอช ความขุ่น ความเป็นด่าง และค่าความนำไฟฟ้า



ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar test)

### 3.3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดิน

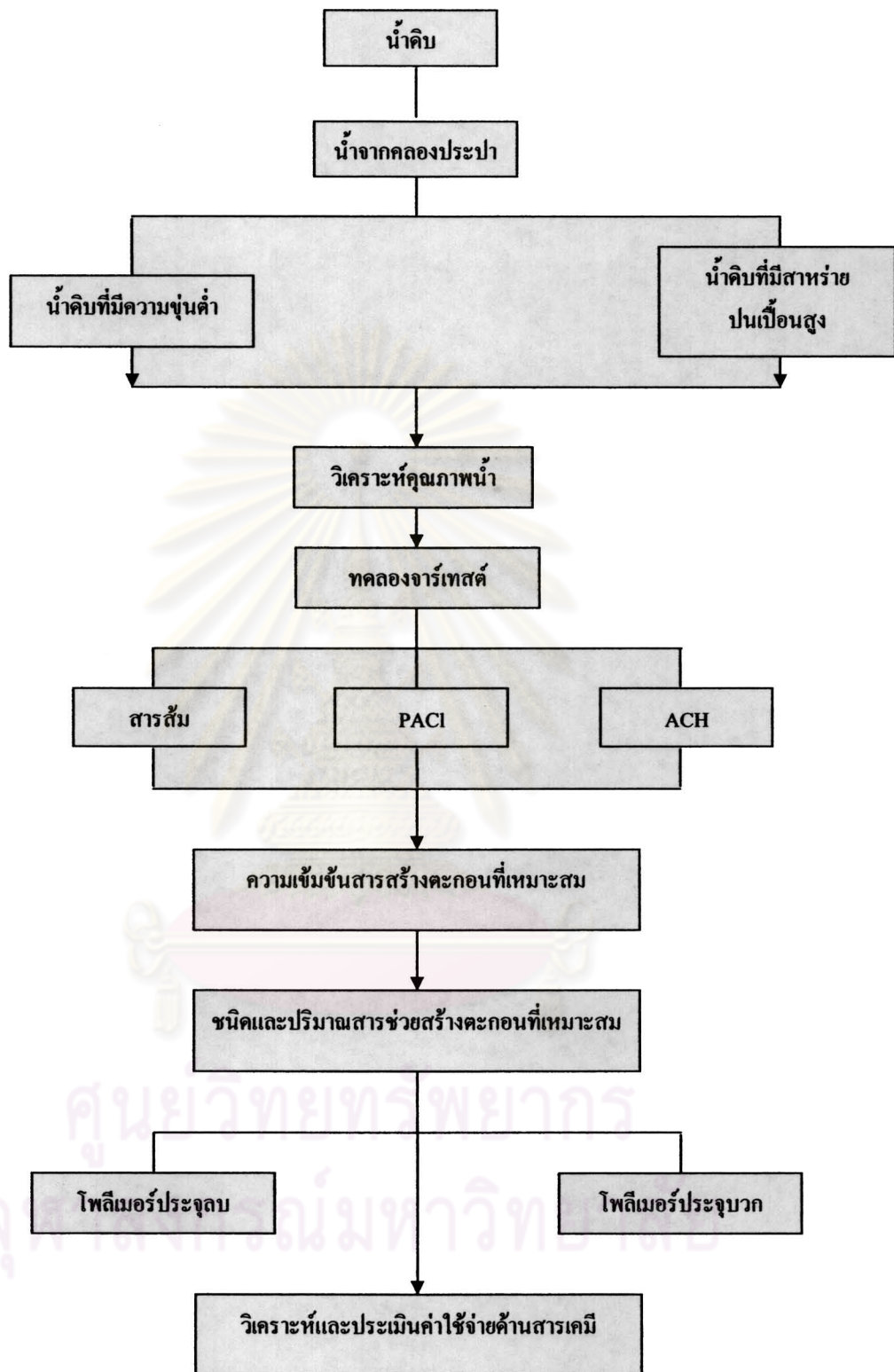
น้ำผิวดินที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำคืบจากคลองประปา ซึ่งเป็นน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำกว่า 50 เอ็นทียู (ช่วงฤดูน้ำน้อย) และน้ำผิวดินที่มีสาหร่ายเซลล์เดียวปนเปื้อน

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- ขั้นตอนที่ 1. ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนทั้ง 3 ชนิด
- ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาหาชนิดและปริมาณสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสม

### 3.3.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่าย

วิเคราะห์พารามิเตอร์ในน้ำหลังการทดลอง ได้แก่ พีเอช ความขุ่น สภาพค่าความนำไฟฟ้า อัตราเร็วการกรอง ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ ปริมาณสาหร่ายที่เหลือในน้ำ และศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนสลัดจ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่นของสารรวมตะกอนทั้ง 3 ชนิด แล้วเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดความขุ่น และสาหร่ายในน้ำ



ภาพที่ 3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายของน้ำผิวดิน

### 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 การทดลองกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดิน

ตัวอย่างน้ำผิวดินที่จะนำมาทดลอง คือ น้ำดิบจากคลองประปา แล้วจะนำมาวิเคราะห์หา ลักษณะสมบัติเริ่มต้นของน้ำดิบ ได้แก่ ค่าพีเอช ความขุ่น ความกระด้าง ค่าความนำไฟฟ้า อัตราเร็ว การกรอง โดยการทดลองจะทำเหมือนกันดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** ศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนทั้ง 3 ชนิด

1) นำน้ำตัวอย่าง 1000 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 2 ลิตร

2) เติมปริมาณสารสร้างตะกอน (สารส้ม) ปริมาณตามตารางที่ 3.1 แต่ในการกำจัดสาหร่าย จะเติมปริมาณสารสร้างตะกอน ตามตารางที่ 3.2

3) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 45 วินาที แล้วกวนช้า 2 รอบ รอบแรก 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที รอบที่สอง 20 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 นาที

4) เก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบนวิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น ความเป็นด่าง อัตราเร็วการกรอง และปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ

5) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนชนิดของสารสร้างตะกอนเป็น PACI และ ACH จะได้ผลการทดลองค่าปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดดัง ภาพที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงปริมาณสารสร้างตะกอนที่เติม (ในการกำจัดความขุ่น)

สาร โคแอกกูแลนต์	ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เติม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
สารส้ม	20	25	30	35	40	45
โพลีอะลูมินัมคลอไรด์	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงปริมาณสารสร้างตะกอนที่เติม (ในการกำจัดสาหร่าย)

สาร โคแอกกูแลนต์	ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เติม (มิลลิกรัม/ลิตร)					
สารส้ม	20	25	30	35	40	45
โพลีอะลูมินัมคลอไรด์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6

**ขั้นตอนที่ 2** ศึกษาหาชนิดและปริมาณสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสม

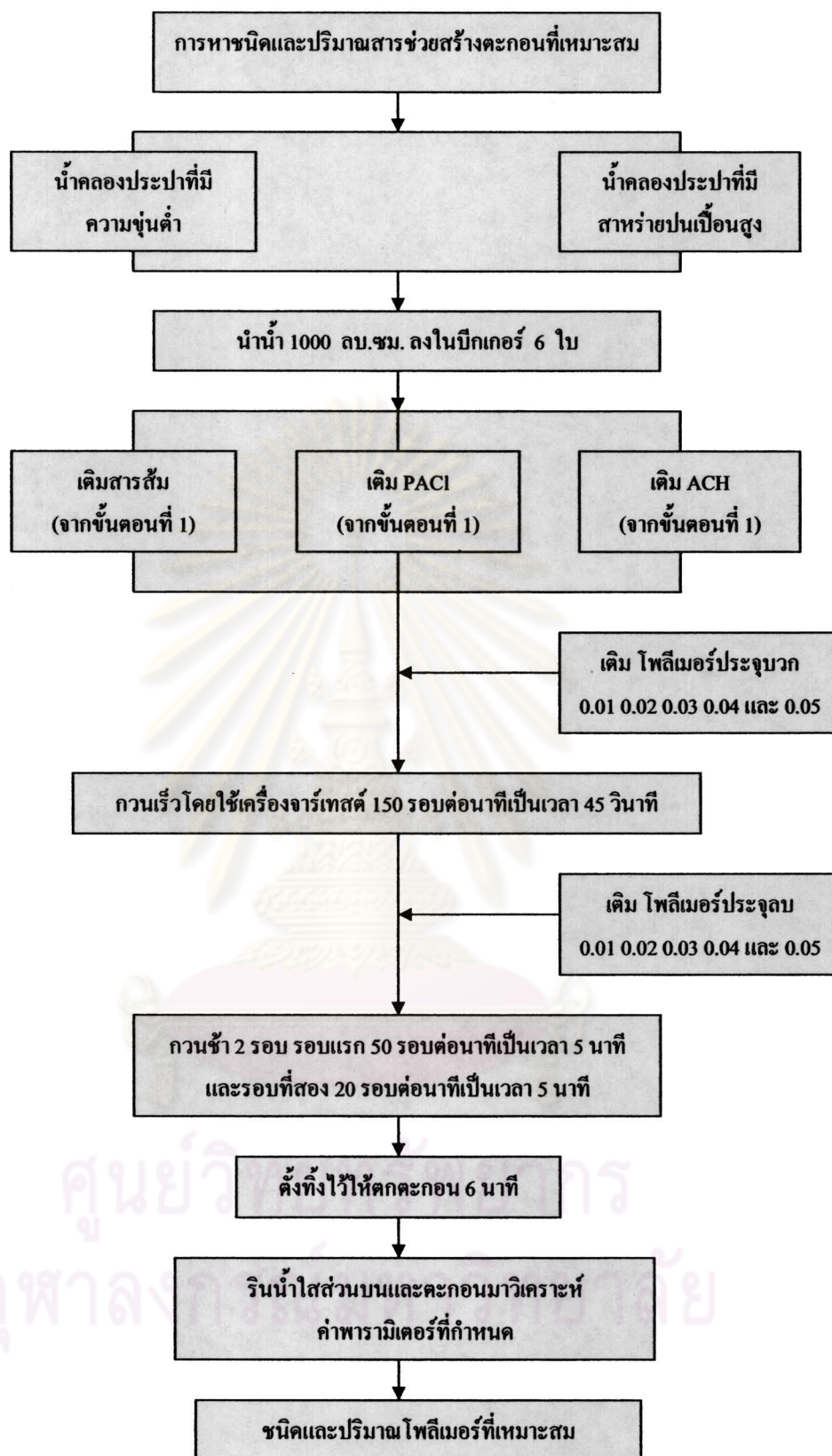
- 1) นำน้ำตัวอย่าง 1000 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ ขนาด 2 ลิตร
- 2) เติมปริมาณสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 1
- 3) เติมปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกให้มีค่าแปรเท่ากับ 0.01 0.02 0.03 0.04 และ 0.05 มก./ล.
- 4) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 45 วินาที แล้วกวนช้า 2 รอบรอบแรก 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที รอบที่สอง 20 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 นาที
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำใสส่วนบนวิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น สภาพค่าง อัตราเร็วการกรอง และปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือน้ำ
- 7) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนมาใช้โพลีเมอร์ประจุลบแต่เดิมในขณะที่กวนช้าแทนที่ความเข้มข้นชนิดต่างๆ ดังภาพที่ 3.3



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.3 แผนผังการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมของน้ำผิวดิน



ภาพที่ 3.4 แผนผังการศึกษาหาชนิดและปริมาณ โพลีเมอร์ที่เหมาะสมของน้ำผิวดิน



3.4.2 ค่ามวลค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี ในการกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินที่ทำการศึกษา โดยคำนวณจากปริมาณ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต สารส้มและโพลีเมอร์ประจุบวกและลบ ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน ในสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองและเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

### 3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความขุ่น	Turbid meter
2. พีเอช	pH meter
3. ความเป็นค่าของน้ำ	Titration
4. ความนำไฟฟ้า	Conductivity meter
5. อัตราเร็วการกรอง	Time – to – Filter
6. ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ	Eriochrome Cyanine R Colorimetric
7. ปริมาณสาหร่าย	Sedgwick-Rafter (S-R) counting chamber

ศูนย์วิทยพัทยาการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของน้ำผิวดิน โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด

จากการทดลองได้ทำการทดลองตกตะกอนความขุ่นจากน้ำดิบในคลองประปาช่วงเดือนพฤศจิกายน – เดือนธันวาคม 2552 น้ำดิบจากคลองประปามีค่าความขุ่นต่ำกว่า 50 เอ็นทียู ใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต และสารส้ม และใช้สารช่วยสร้างตะกอน 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ โดยใช้อัตราการกวนเร็วที่ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 วินาที และกวนช้า 2 รอบ รอบแรกที่ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และรอบที่สองที่ 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 นาที (วิธีทดลองจาร์เทศต์มาตรฐานของการประปาซึ่งจำลองสถานะของการเดินระบบผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาสามเสน) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายของสารเคมีทั้ง 3 ชนิดในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบ แสดงผลการทดลองได้ดังนี้

##### 4.1.1 การเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่น

4.1.1.1 การใช้สารส้มที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปาให้มียูค่าต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ตามมาตรฐานของการประปา พบว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 38 – 40.6 เอ็นทียู พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสม คือ 25 มก./ล. จะสามารถกำจัดความขุ่นในน้ำดิบให้เหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปาที่ 5 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.1 โดยประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.54 ซึ่งพบว่าค่าพีเอชของน้ำหลังการทดลองมีค่าต่ำลงเล็กน้อย แต่ก็ยังอยู่ในค่ามาตรฐาน ดังภาพที่ 4.1 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานทุกค่าความเข้มข้นของสารส้มที่ใช้ทดลอง

การใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 32.4 – 32.9 เอ็นทียู โดยใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้น 0.01 – 0.05 มก./ล. โดยจะเลือกใช้ปริมาณสารส้มที่ต่ำกว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว คือใช้ปริมาณสารส้ม 20 มก./ล. เพื่อเป็นการลดการใช้สารส้ม พบว่าเมื่อใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้นที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าความขุ่นในน้ำหลังการทดลองเท่ากับ 4.78 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถลดการใช้สารส้มได้ร้อยละ 20 และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 85.36 ดังภาพที่ 4.2 และ การใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 31.7 – 32.4 เอ็นทียู โดยใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 0.01 – 0.05 มก./ล. จะได้ว่า เมื่อใช้สารส้ม 20

มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเข้มข้นที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าความขุ่นในน้ำหลังการทดลอง 4.76 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถลดการใช้สารส้มได้ร้อยละ 20 และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 85.15 ดังภาพที่ 4.3

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากน้ำ สามารถสรุปได้ว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จัดเป็นกลไกแบบการดูดซับและการทำลายประจุ เมื่อความเข้มข้นของสารส้มต่ำ การตกตะกอนจะเกิดขึ้นอย่างไม่มีประสิทธิภาพ (ดังภาพที่ 4.1) แต่ถ้าปริมาณสารส้มสูงเกินไปจะทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดซับอนุภาคมาก โดยปกคือนอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำมักจะมีประจุลบ เมื่อเติมสารส้มซึ่งมีประจุบวกจะไปทำการลดประจุ โดยทำให้อนุภาคคอลลอยด์เป็นกลางแล้วจับตัวกันเป็นฟล็อกตกตะกอนลงมา แต่เมื่อเติมสารส้มมากเกินไปจะทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุตรงข้ามและอนุภาคคอลลอยด์ก็จะเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก ทำให้ความขุ่นเพิ่มขึ้น (มันสิน, 2542ก)

ตารางที่ 4.1 คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้มในการกำจัดความขุ่น

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นสารส้ม (มก./ล.)						มาตรฐาน
		20	25	30	35	40	45	
ความขุ่น (NTU)	38 – 40.6 (avg. 39.3)	6.13	4.51	2.76	1.93	1.61	1.34	< 5
พีเอช	7.34 – 7.37 (avg. 7.36)	7.14	7.11	7.06	7.03	7.02	7.01	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	85.6 – 87 (avg. 86.3)	77.8	75.4	73.2	71.2	69.6	68.4	-
อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	0.015-0.015 (avg. 0.015)	0.126	0.11	0.129	0.113	0.074	0.065	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		84.41	88.54	92.99	95.09	95.90	96.60	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

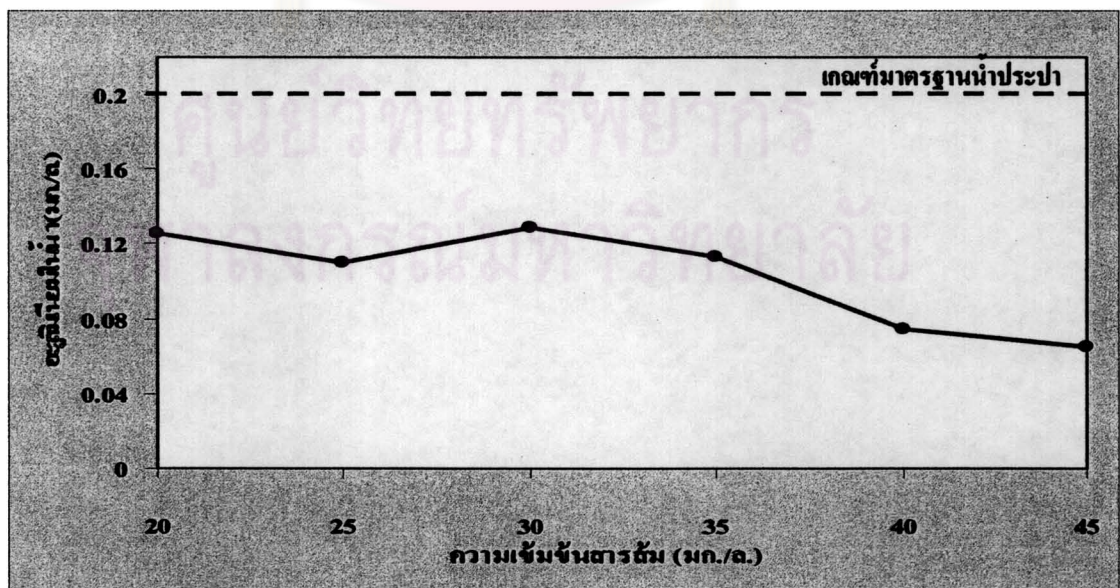
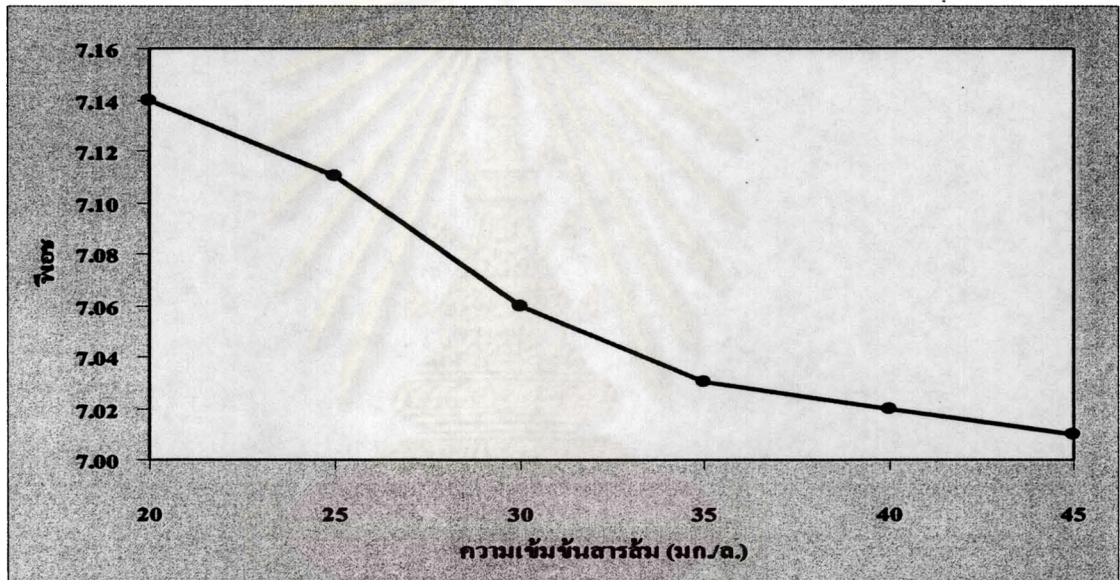
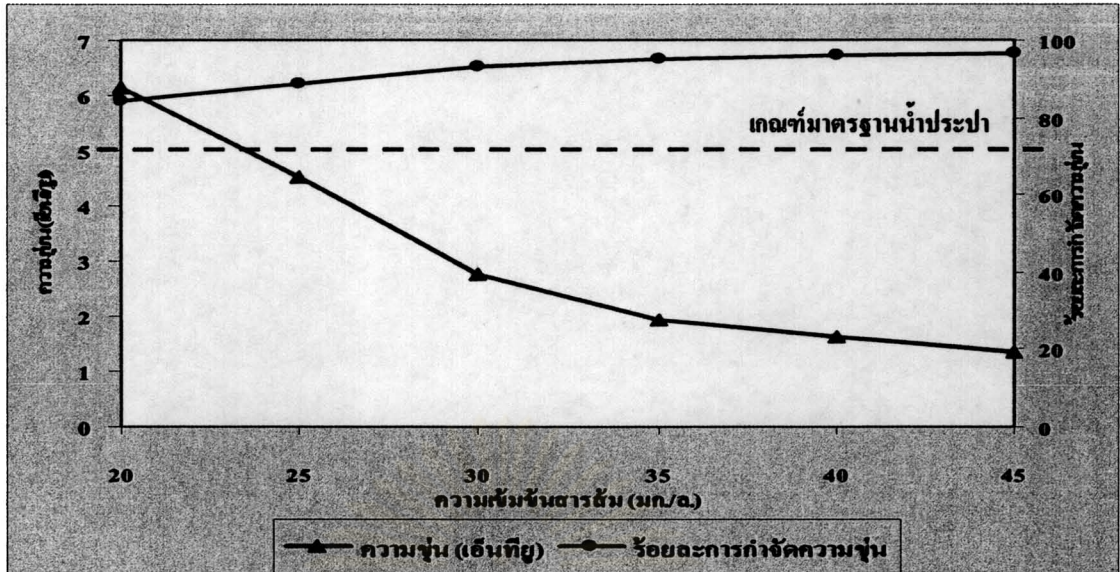
ตารางที่ 4.2 คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้ม 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบในการกำจัดความขุ่น

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (NTU)	32.4 – 32.9 (avg. 32.65)	5.16	4.76	4.73	4.99	4.62	5.06	< 5
พีเอช	7.35 – 7.37 (avg. 7.36)	7.34	7.34	7.33	7.34	7.34	7.33	6.5 - 8.5
ความเป็นค่าง (มก./ล.)	106.6 – 107.2 (avg. 106.9)	98	97.8	97.8	98	97.8	100	-
อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	0.004 – 0.004 (avg. 0.004)	0.079	0.082	0.073	0.080	0.072	0.071	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		84.20	85.36	85.22	84.72	85.85	81.44	-

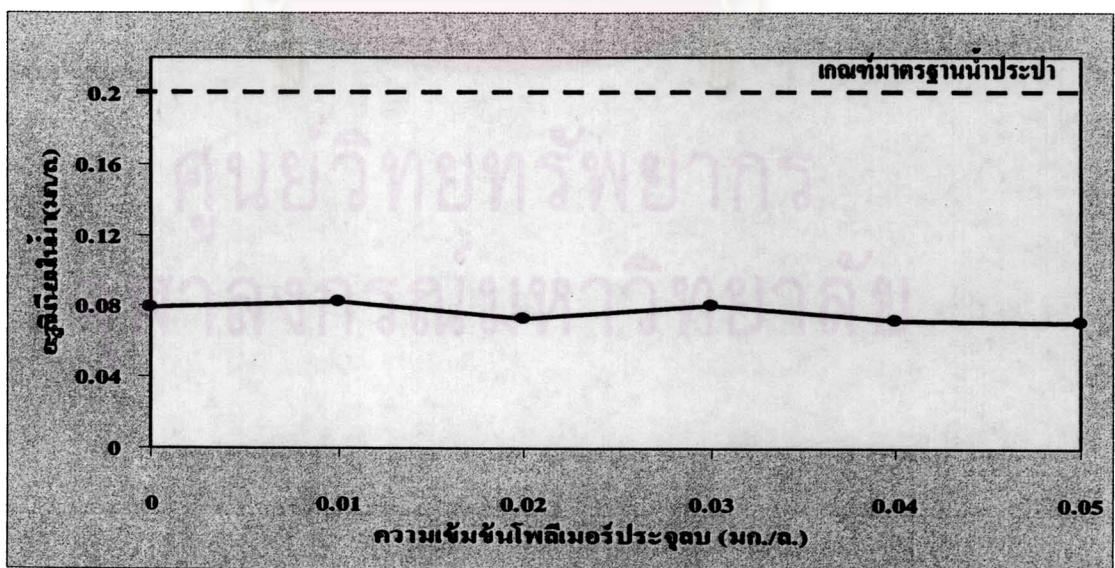
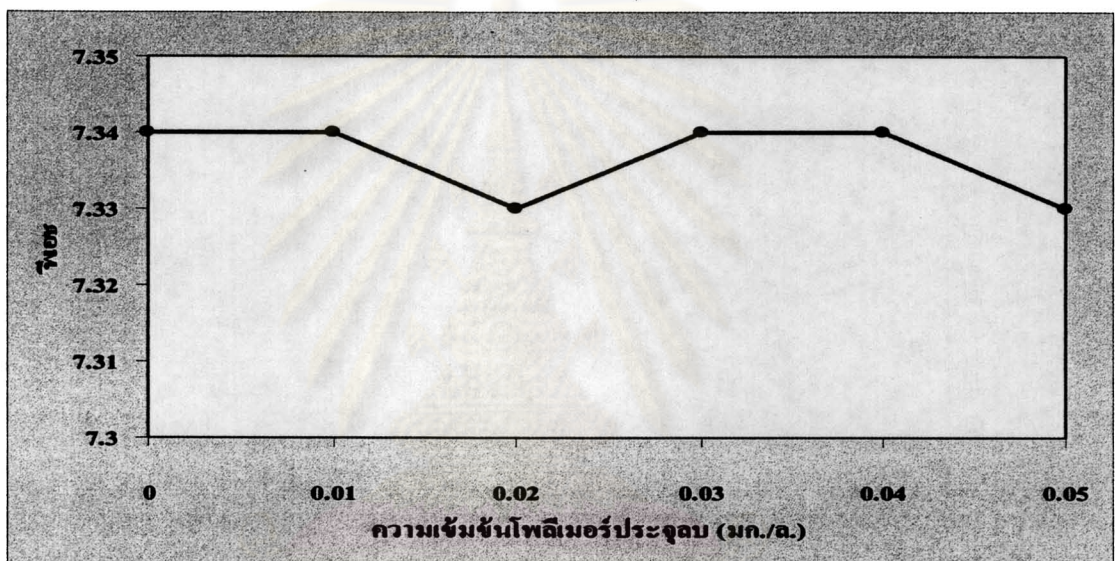
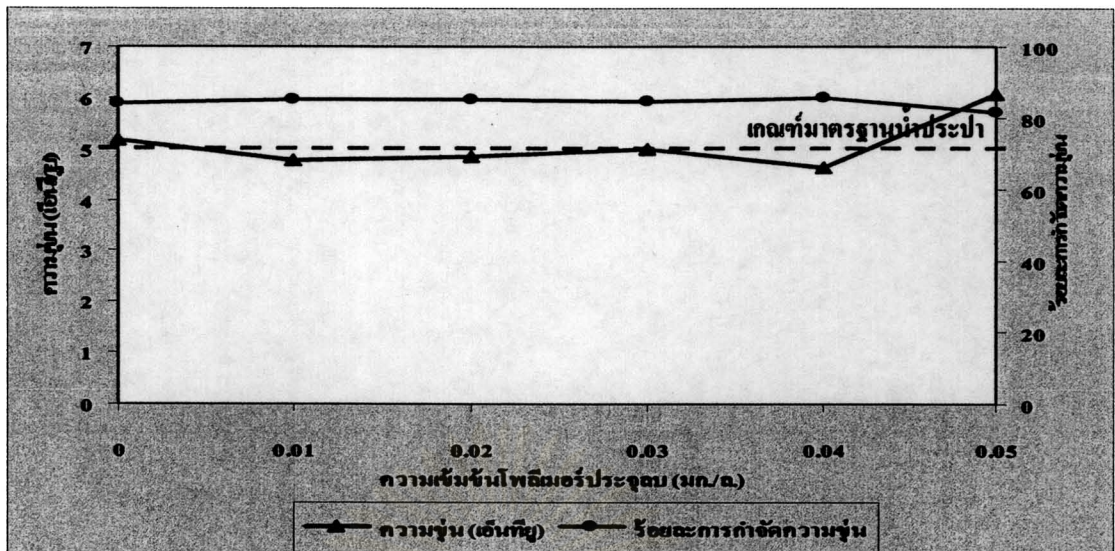
ตารางที่ 4.3 คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้ม 20 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความขุ่น

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (NTU)	31.7 – 32.4 (avg. 32.05)	5.24	4.76	4.21	4.31	3.97	4.40	< 5
พีเอช	7.49 – 7.50 (avg. 7.50)	7.35	7.34	7.33	7.32	7.29	7.29	6.5 - 8.5
ความเป็นค่าง (มก./ล.)	106 – 106.4 (avg. 106.2)	95.3	96.4	95	95.4	95	96.7	-
อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	0.003 – 0.003 (avg. 0.003)	0.079	0.084	0.077	0.088	0.080	0.083	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		83.67	85.15	86.86	86.54	87.63	86.29	-

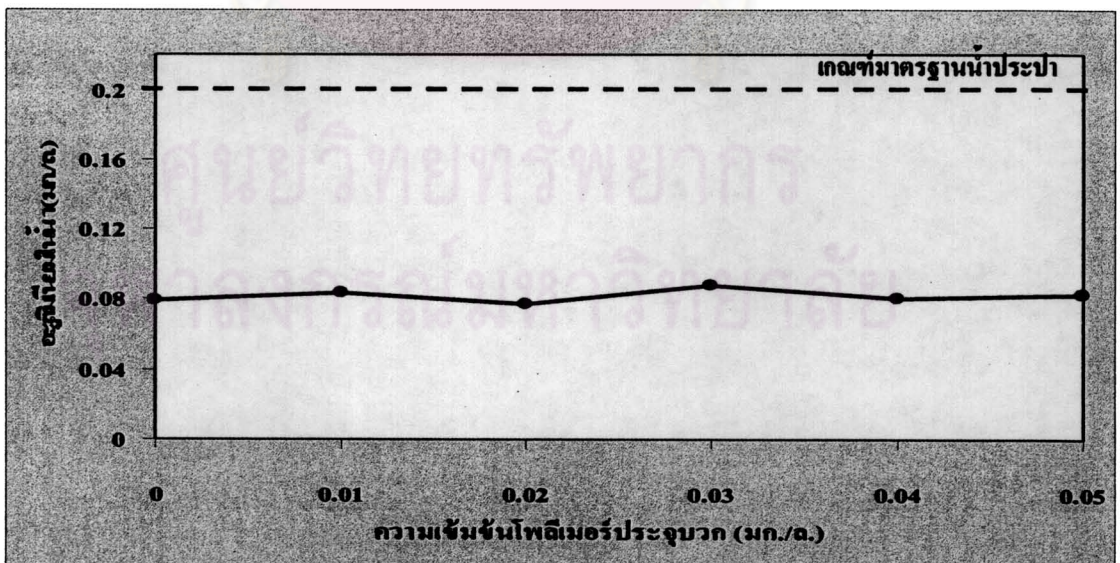
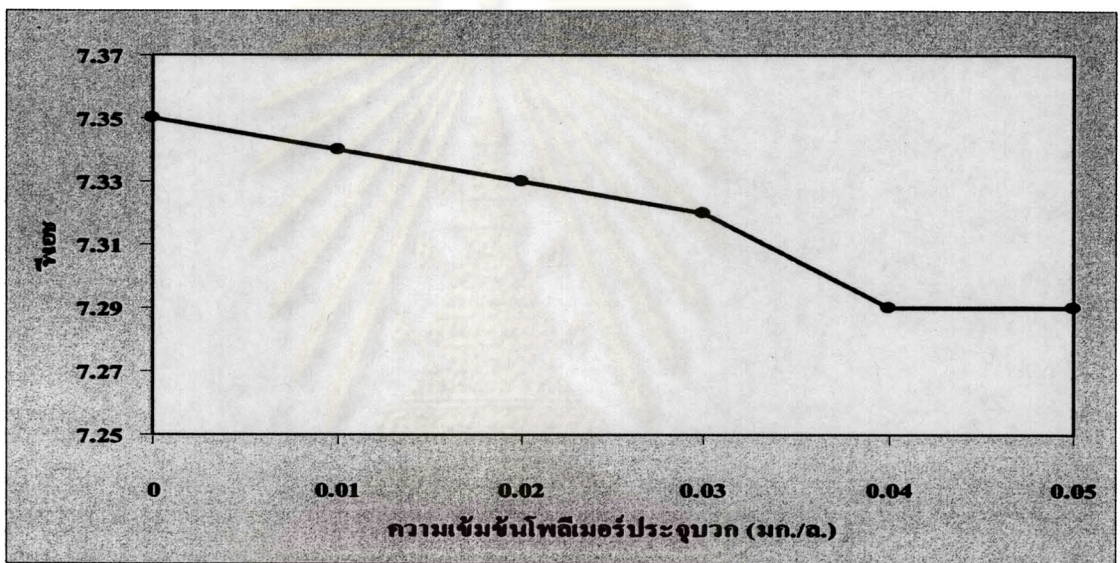
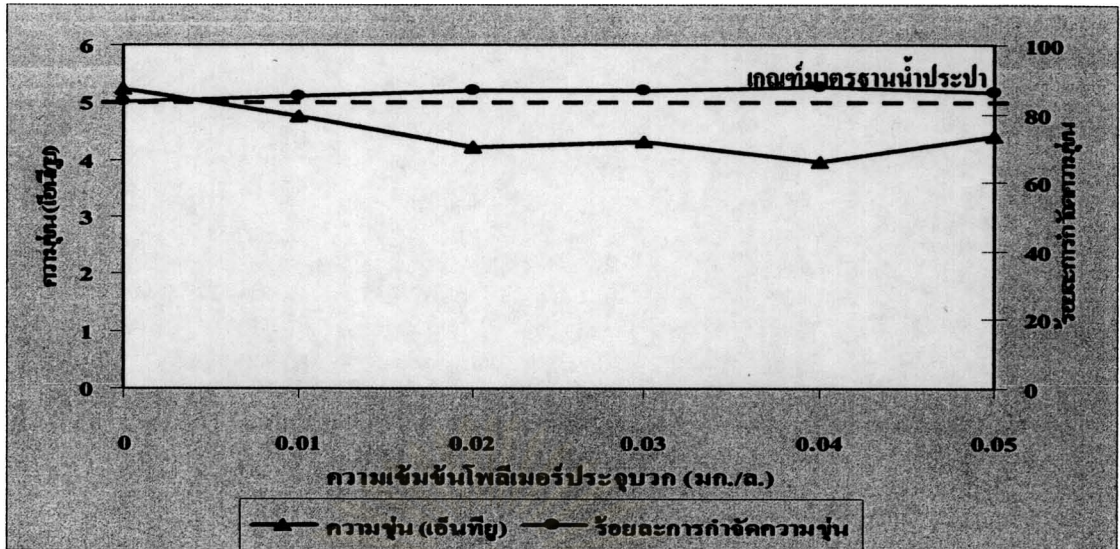
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.1 ค่าความซุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม



ภาพที่ 4.2 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบ



ภาพที่ 4.3 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก

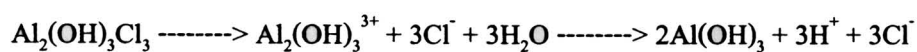
4.1.1.2 การใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปาให้มีค่าต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ตามมาตรฐานของการประปา พบว่าการใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 37.6 – 40.3 เอ็นทียู พบว่าปริมาณโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสม คือ 1 มก./ล. จะสามารถกำจัดความขุ่นในน้ำดิบให้เหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปาที่ 5 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.61 การใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณต่ำ ทำให้ค่าพีเอชของน้ำหลังการทดลองไม่เปลี่ยน (7.29-7.41) ดังภาพที่ 4.4 นอกจากนี้ยังมีผลทำให้มีปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังการทดลองมีค่าต่ำกว่าการใช้สารส้มด้วย

การใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพธิเมอร์ประจุลบกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 31.1 – 32.1 เอ็นทียู โดยใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพธิเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้น 0.01 – 0.05 มก./ล. โดยจะเลือกใช้ปริมาณโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ต่ำกว่าปริมาณโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว คือใช้ปริมาณโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล. เพื่อเป็นการลดการใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าเมื่อใช้ร่วมกับโพธิเมอร์ประจุลบเข้มข้นที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าความขุ่นในน้ำหลังการทดลองเท่ากับ 4.56 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งสามารถลดการใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ได้ร้อยละ 20 และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 85.57 ดังภาพที่ 4.5 และการใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพธิเมอร์ประจุบวกกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 32.6 – 33.3 เอ็นทียู โดยใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพธิเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 0.01 – 0.05 มก./ล. จะได้ว่าเมื่อใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.08 มก./ล. ร่วมกับโพธิเมอร์ประจุบวกเข้มข้นที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าความขุ่นในน้ำหลังการทดลอง 4.68 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งสามารถลดการใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ได้ร้อยละ 20 และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 85.81 ดังภาพที่ 4.6 นอกจากนี้การใช้โพธิเมอร์ประจุลบและบวกร่วมกับโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ยังช่วยลดปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังการทดลองให้เหลือต่ำมาก เท่ากับ 0.011 - 0.016 มก./ล.เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าการใช้สารส้มร่วมกับโพธิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ เนื่องจากปริมาณการใช้โพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ต่ำกว่าการใช้สารส้ม จึงเป็นผลทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมที่ตกค้างในน้ำมีปริมาณที่ต่ำ

จากการทดลองตกตะกอนด้วยโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสามารถสรุปได้ว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จัดเป็นกลไกแบบร่วมระหว่างกลไกการดูดซับและการทำลายประจุ (Adsorption and charge neutralization) และกลไกแบบกวาด (Sweep coagulation) การทำลายเสถียรภาพด้วยกลไกแบบกวาดนี้ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์จะเกิดไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกทั้งหลายและไฮโดรไลซ์ต่อไปจนได้



$\text{Al}(\text{OH})_3$  เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ก็จะเกาะจับอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟล็อกขนาดใหญ่แล้วตกตะกอนลงมา ดังปฏิกิริยา



อีกกลไกคือ การดูดซับและทำลายประจุ เนื่องจากการทดลองจาร์ทดสอบด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าช่วงความเข้มข้นของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีความเหมาะสมที่แคบ เมื่อความเข้มข้นของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ต่ำกว่าการตกตะกอนเกิดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ (ดังภาพที่ 4.4) แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดซับคอลลอยด์อนุภาคมาก ทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุตรงข้ามและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก จึงทำให้น้ำขุ่นมากขึ้น (มันสิน, 2542ก)

ตารางที่ 4.4 คุณภาพน้ำจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดความขุ่น

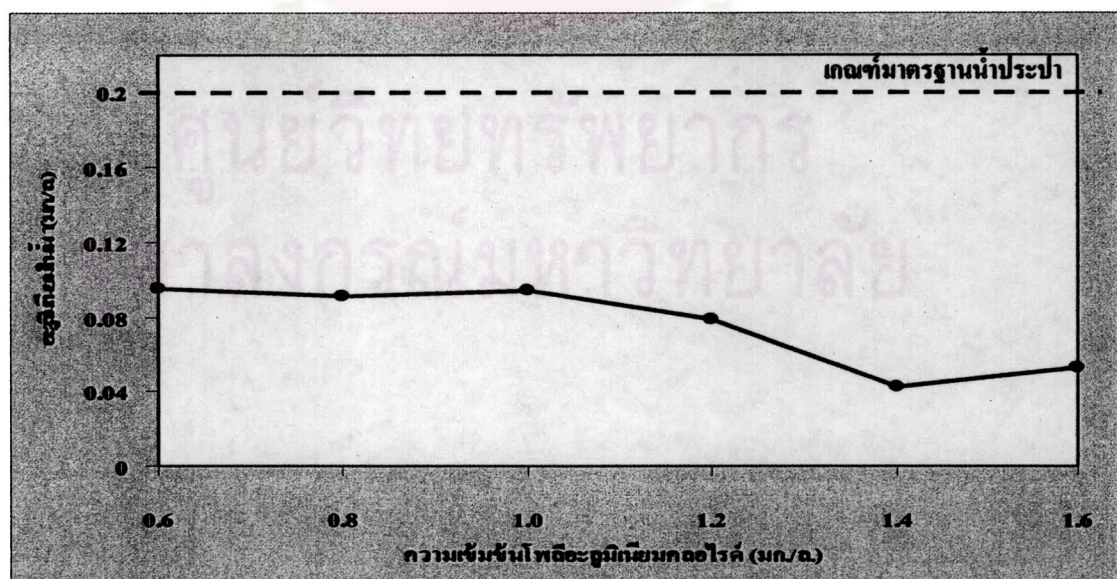
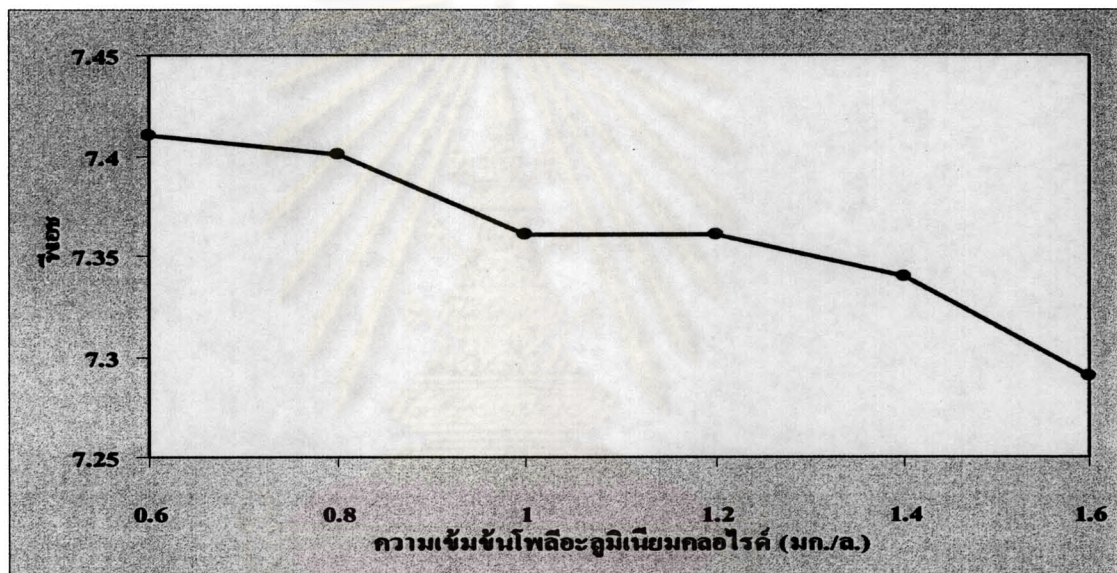
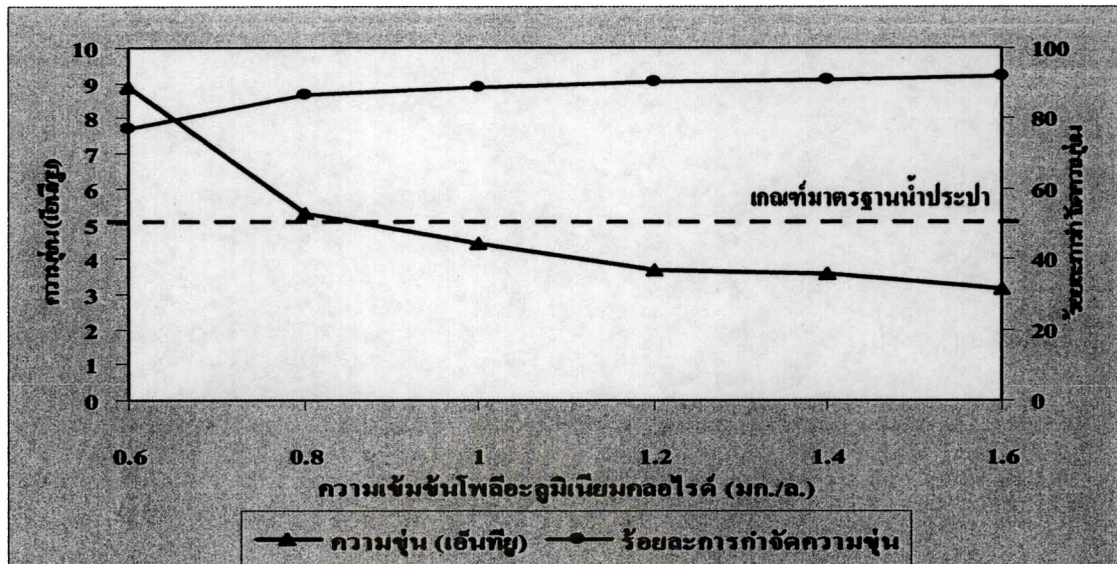
พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	
ความขุ่น (NTU)	37.6 – 40.3 (avg. 38.95)	8.86	5.29	4.44	3.68	2.96	2.18	< 5
พีเอช	7.32 – 7.39 (avg. 7.36)	7.41	7.40	7.36	7.36	7.34	7.29	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	88.4 - 88.4 (avg. 88.4)	84.3	84.3	84.9	84.1	84	82.8	-
อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	0.02 – 0.02 (avg. 0.02)	0.095	0.091	0.094	0.079	0.042	0.053	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		77.27	86.42	88.61	90.55	90.86	91.84	-

ตารางที่ 4.5 คุณภาพน้ำจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ  
ในการกำจัดความขุ่น

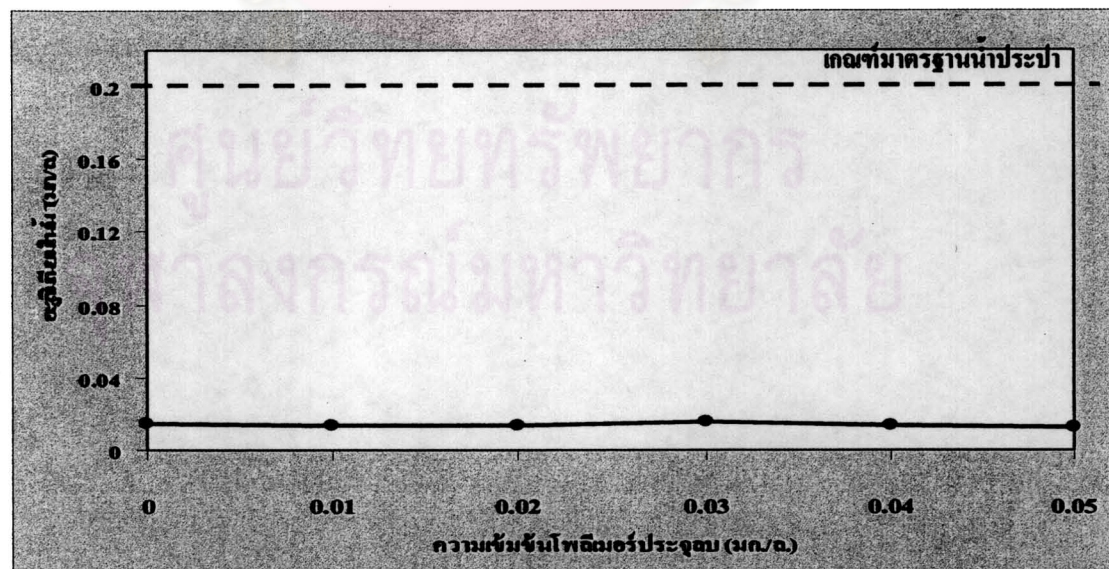
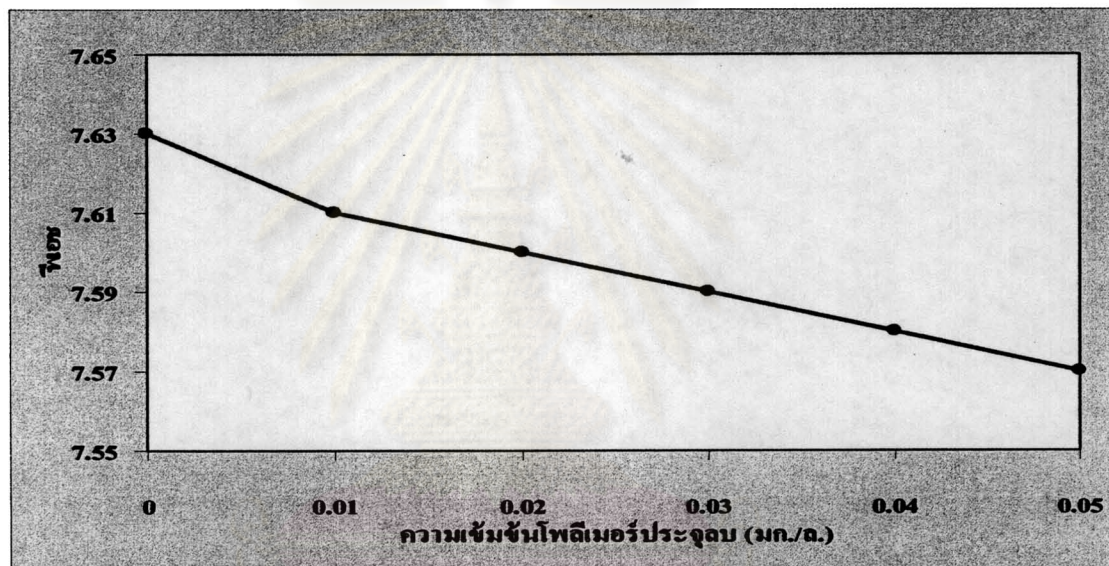
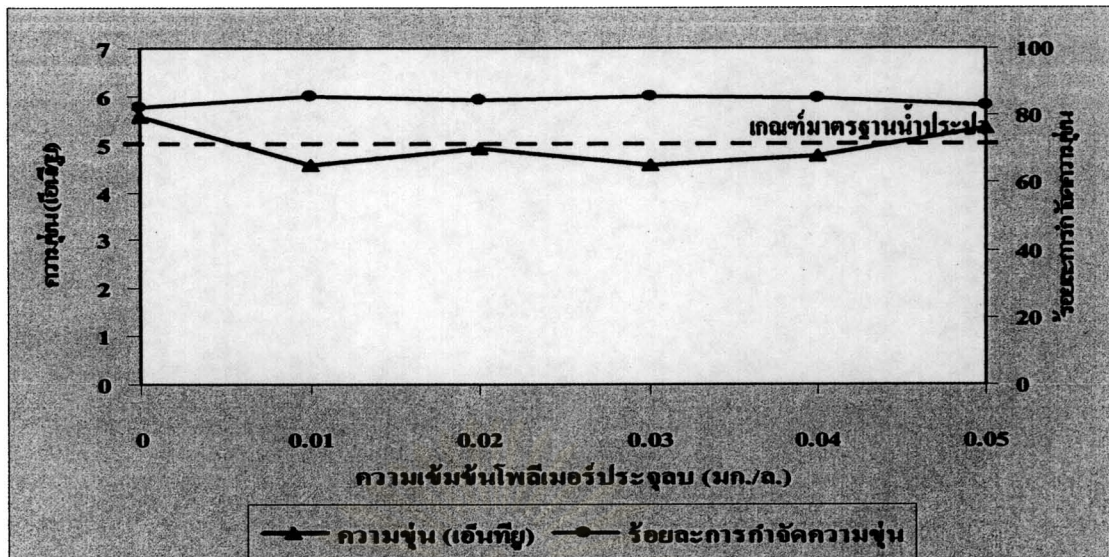
พารามิเตอร์	คุณภาพ น้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (NTU)	31.1 – 32.1 (avg. 31.6)	5.56						< 5
พีเอช	7.5 – 7.55 (avg. 7.53)	7.63	7.61	7.60	7.59	7.58	7.57	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	107.6 – 107.8 (avg. 107.7)	106.1	103.7	104	103.5	104	105.2	-
อะลูมิเนียมที่เหลือ ในน้ำ (มก./ล.)	0.004 – 0.004 (avg. 0.004)	0.015	0.014	0.014	0.016	0.014	0.013	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		82.42	85.57	84.43	85.60	85.02	83.13	-

ตารางที่ 4.6 คุณภาพน้ำจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล.ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก  
ในการกำจัดความขุ่น

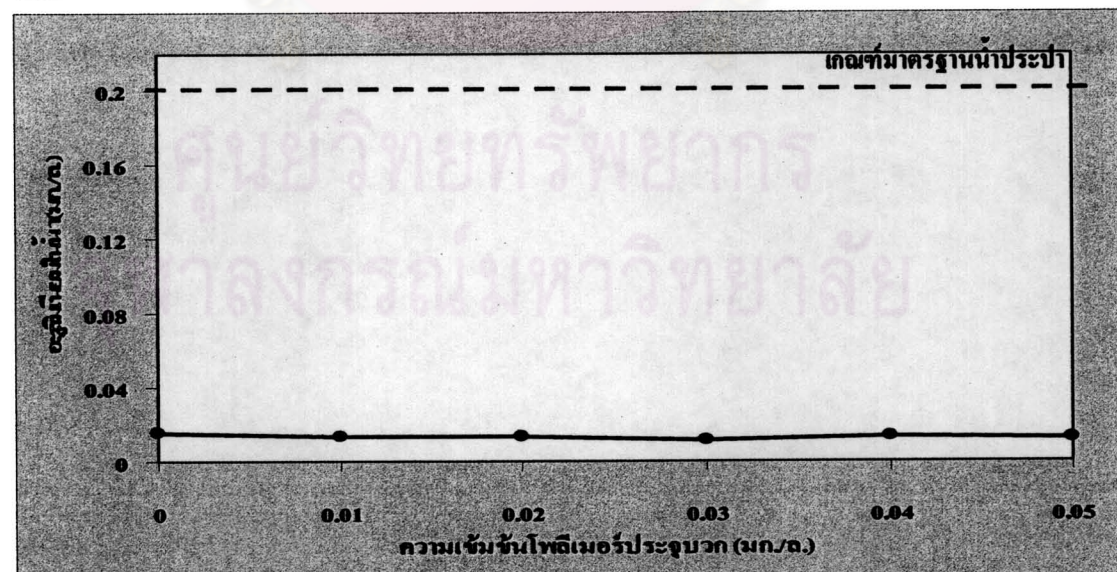
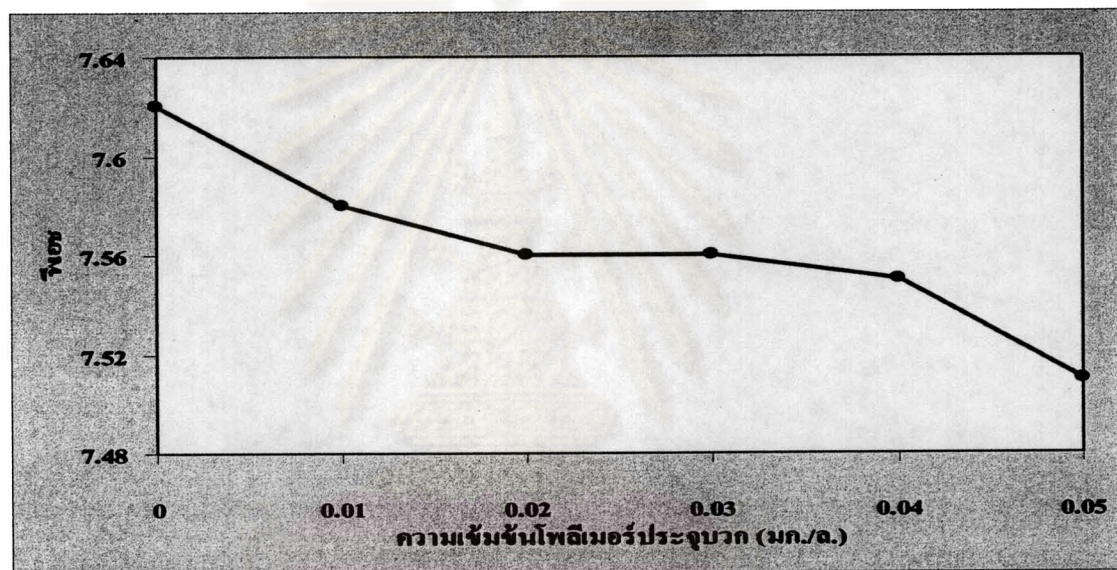
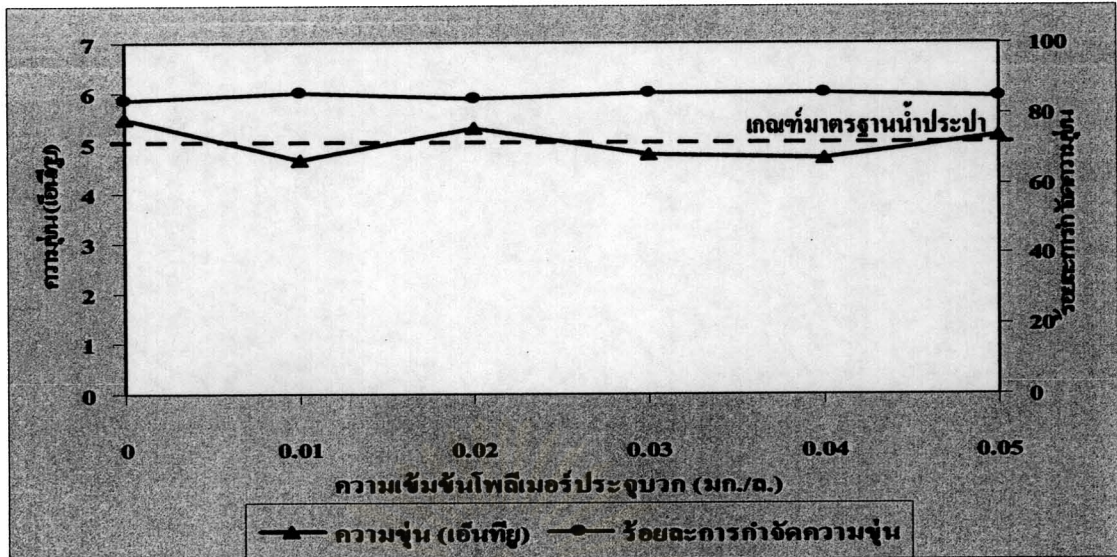
พารามิเตอร์	คุณภาพ น้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (NTU)	32.6 – 33.3 (avg. 32.95)	5.48						< 5
พีเอช	7.48 – 7.56 (avg. 7.52)	7.62	7.58	7.56	7.56	7.55	7.51	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	109.2 – 110.4 (avg. 109.8)	104	103.7	103.2	104.7	102.5	102.9	-
อะลูมิเนียมที่เหลือ ในน้ำ (มก./ล.)	0.004 – 0.004 (avg. 0.004)	0.015	0.013	0.013	0.011	0.013	0.012	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		83.37	85.81	83.96	85.46	85.75	84.43	-



ภาพที่ 4.4 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์



ภาพที่ 4.5 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับโพลีดีเมทิลซิลอกเซน



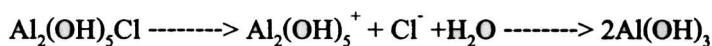
ภาพที่ 4.6 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

4.1.1.3 การใช้อะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปาให้มีค่าต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ตามมาตรฐานของการประปา พบว่าการใช้อะลูมินัมคลอไรด์เพียงอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 37.7 - 38 เอ็นทียู พบว่าปริมาณอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสม คือ 1.6 มก./ล. จะสามารถกำจัดความขุ่นในน้ำดิบให้เหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปาที่ 5 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.9 การใช้อะลูมินัมคลอไรด์ปริมาณต่ำ ทำให้ค่าพีเอชของน้ำหลังการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (7.24-7.33) ดังภาพที่ 4.7 นอกจากนี้ยังมีผลทำให้มีปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังการทดลองมีค่าต่ำกว่าการใช้สารส้มและโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ด้วย

การใช้อะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 30.9 - 31.2 เอ็นทียู โดยใช้อะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.05 มก./ล. โดยจะเลือกใช้ปริมาณอะลูมินัมคลอไรด์ที่ต่ำกว่าปริมาณอะลูมินัมคลอไรด์ที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว คือ ใช้ปริมาณอะลูมินัมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. เพื่อเป็นการลดการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ พบว่าเมื่อใช้ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบเข้มข้นที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าความขุ่นในน้ำหลังการทดลอง 4.58 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งสามารถลดการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ร้อยละ 12.5 และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 85.27 ดังภาพที่ 4.8 และการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 32 - 32.1 เอ็นทียู โดยใช้อะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.05 มก./ล. จะได้ว่าเมื่อใช้อะลูมินัมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกเข้มข้นที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าความขุ่นในน้ำหลังการทดลอง 4.55 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งสามารถลดการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ร้อยละ 12.5 และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเป็นร้อยละ 85.83 ดังภาพที่ 4.9 นอกจากนี้การใช้โพลิเมอร์ประจุลบและบวกร่วมกับอะลูมินัมคลอไรด์ยังช่วยลดปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังการทดลองให้เหลือต่ำมาก เท่ากับ 0.029 - 0.036 มก./ล.เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าการใช้สารส้มร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกและประจุลบ เนื่องจากปริมาณการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ที่ใช้ต่ำกว่าการใช้สารส้ม จึงเป็นผลทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมที่ตกค้างในน้ำมีปริมาณที่ต่ำ

จากการทดลองตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสามารถสรุปได้ว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จัดเป็นกลไกแบบร่วมระหว่างกลไกการดูดซับและการทำลายประจุ (Adsorption and charge neutralization) และกลไกแบบกวาด (Sweep coagulation) ซึ่งเป็นกลไกเช่นเดียวกันกับการตกตะกอนด้วยโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ การทำลายเสถียรภาพด้วยกลไกแบบกวาดนี้ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอะลูมินัมคลอไรด์จะเกิด

ไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกทั้งหลายและไฮโดรไลซ์ต่อไปจนได้  $Al(OH)_3$  เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก  $Al(OH)_3$  ก็จะเกาะจับอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟล็อกขนาดใหญ่แล้วตกตะกอนลงมา ดังปฏิกิริยา



อีกกลไกคือ การดูดซับและทำลายประจุ เนื่องจากการทดลองจาร์เทสต์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าช่วงความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่ความเหมาะสมที่แคบ เมื่อความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ต่ำการตกตะกอนเกิดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ (ดังภาพที่ 4.7) แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดซับผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุตรงข้ามและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก น้ำก็จะขุ่นมากขึ้น (มันติน, 2542ก)

ตารางที่ 4.7 คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดความขุ่น

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2	
ความขุ่น (NTU)	37.7 – 38 (avg. 37.85)	9.46	7.59	5.74				< 5
พีเอช	7.35 – 7.37 (avg. 7.36)	7.33	7.31	7.27	7.26	7.25	7.24	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	86.6 – 89.2 (avg. 87.9)	84.9	84.3	82.6	81.6	82.2	81.5	-
อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	0.022 - 0.022 (avg. 0.022)	0.068	0.068	0.060	0.066	0.058	0.052	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		75.02	79.96	84.83	88.90	89.96	89.92	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

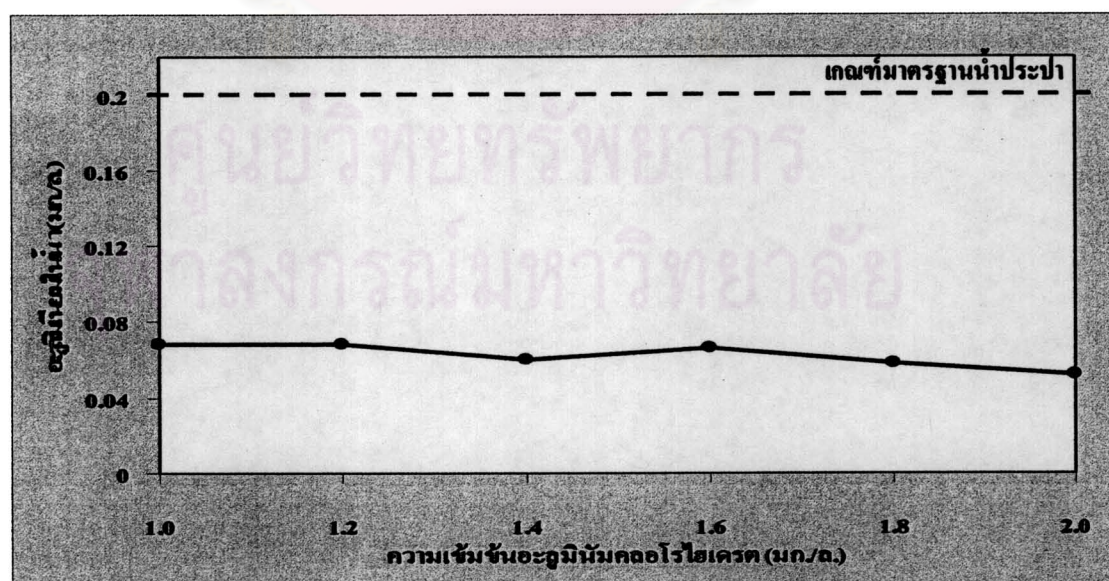
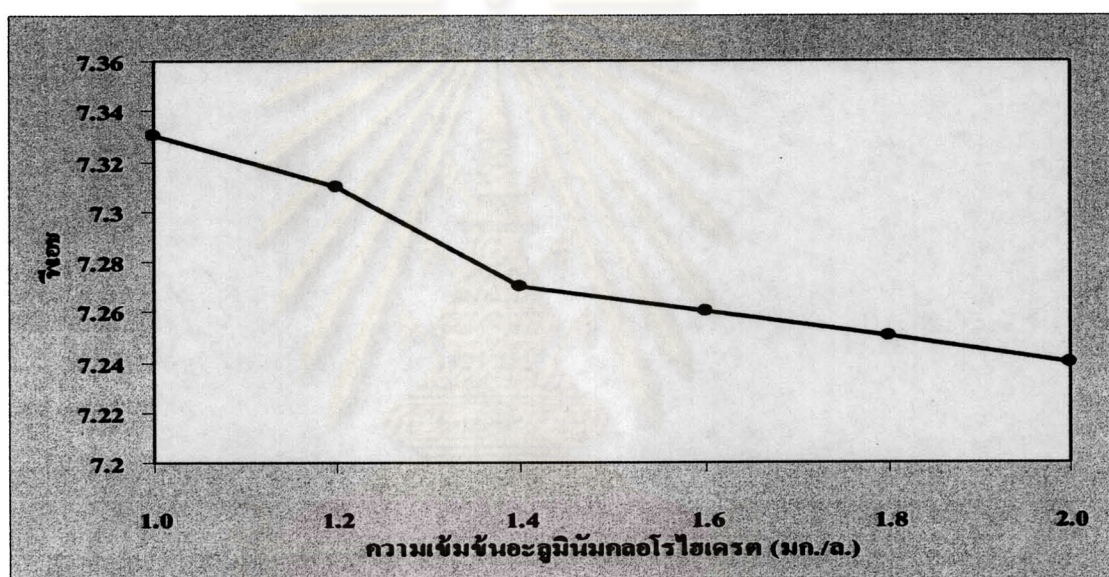
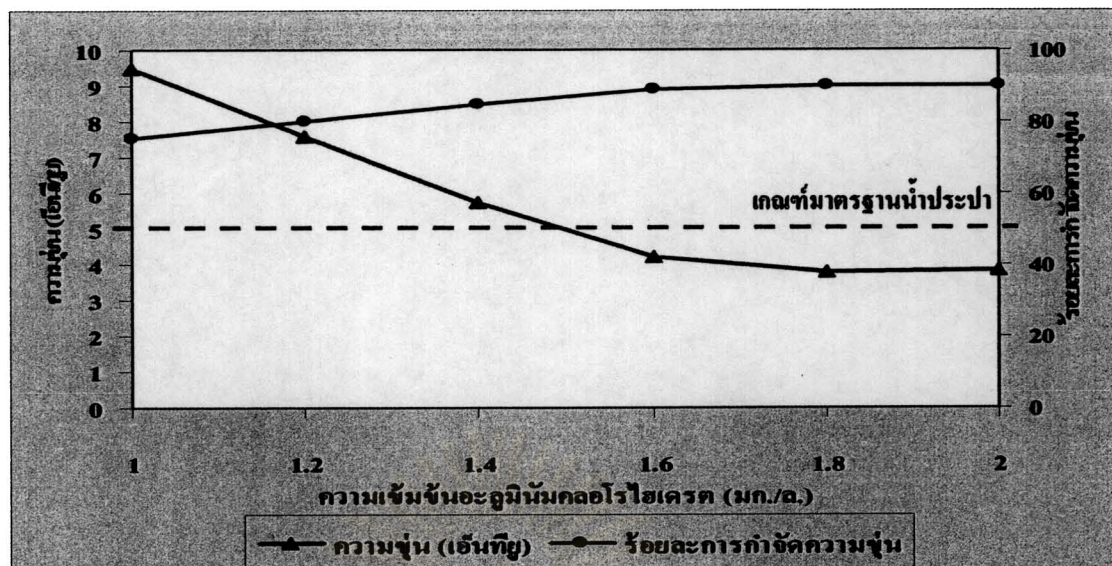
ตารางที่ 4.8 คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ  
ในการกำจัดความขุ่น

พารามิเตอร์	คุณภาพ น้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (NTU)	30.9 – 31.2 (avg. 31.05)	5.50						< 5
พีเอช	7.39 – 7.44 (avg. 7.42)	7.53	7.50	7.50	7.52	7.52	7.48	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	108.2 – 108.8 (avg. 108.5)	100.4	100	101.1	100.7	99	100.8	-
อะลูมิเนียมที่เหลือ ในน้ำ (มก./ล.)	0.004 – 0.004 (avg. 0.004)	0.033	0.034	0.034	0.036	0.033	0.035	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		82.29	85.27	85.06	84.88	85.91	84.51	-

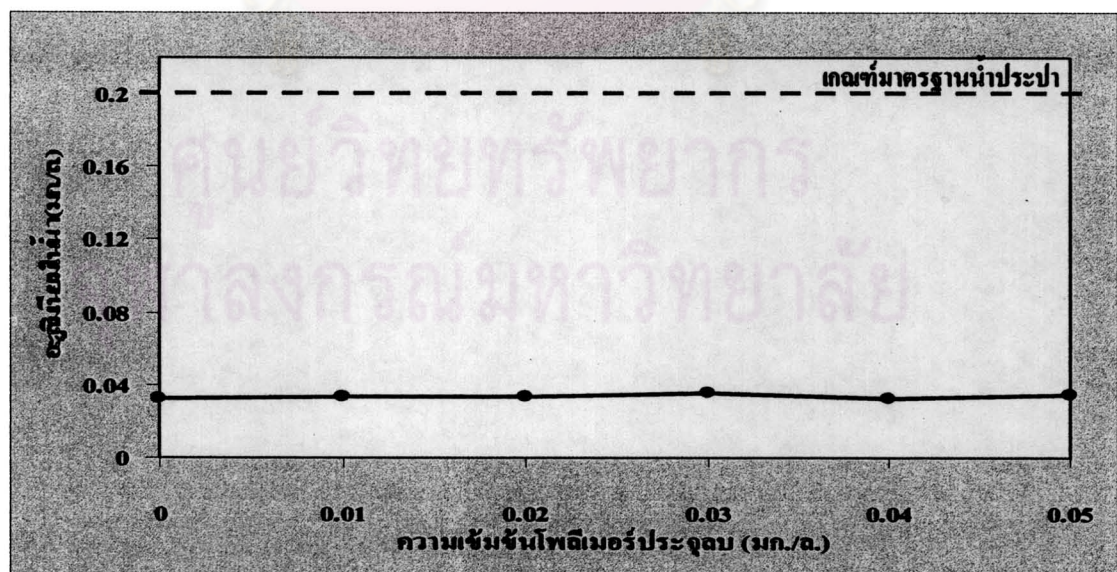
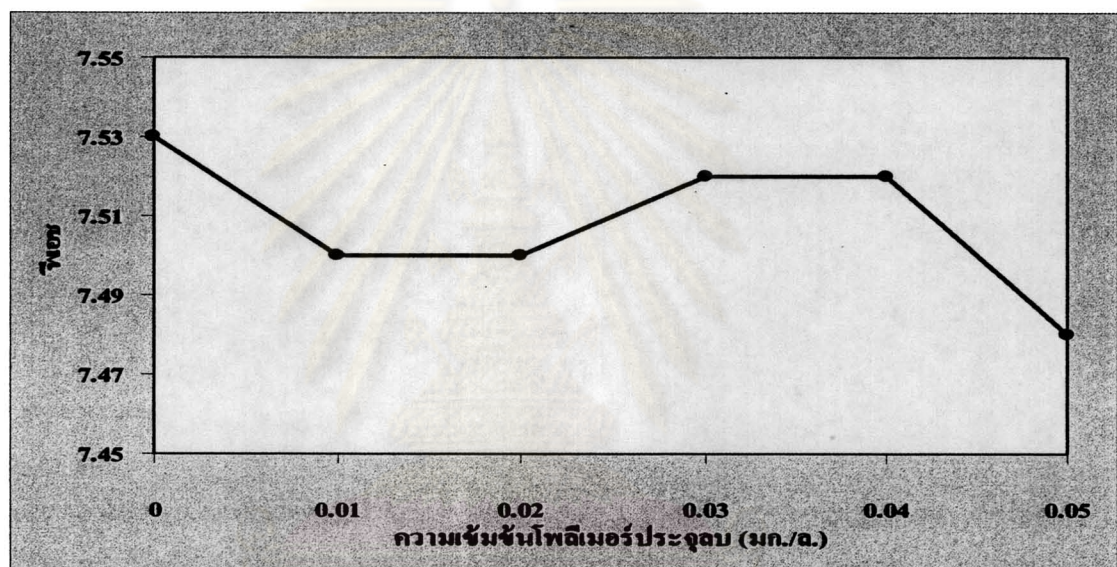
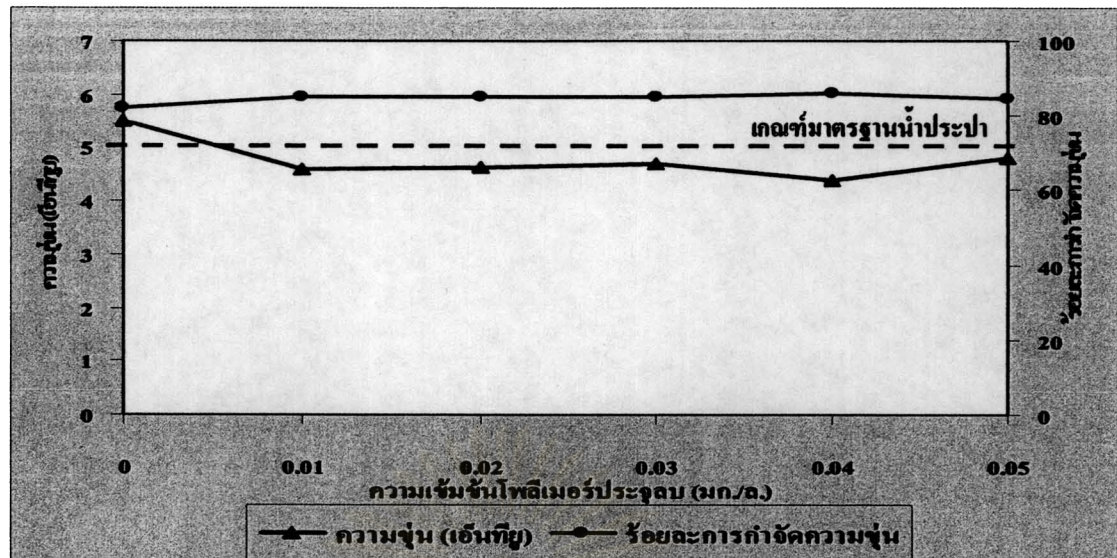
ตารางที่ 4.9 คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก  
ในการกำจัดความขุ่น

พารามิเตอร์	คุณภาพ น้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						มาตรฐาน
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (NTU)	32 – 32.2 (avg. 32.1)	5.46						< 5
พีเอช	7.43 – 7.45 (avg. 7.44)	7.41	7.41	7.41	7.41	7.39	7.37	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	108.4 – 109 (avg. 108.7)	101.3	101.2	101.8	101.3	101.3	100.2	-
อะลูมิเนียมที่เหลือ ในน้ำ (มก./ล.)	0.004 – 0.004 (avg. 0.004)	0.033	0.031	0.031	0.036	0.029	0.031	0.2
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		82.99	85.83	85.50	85.34	86.04	84.64	-

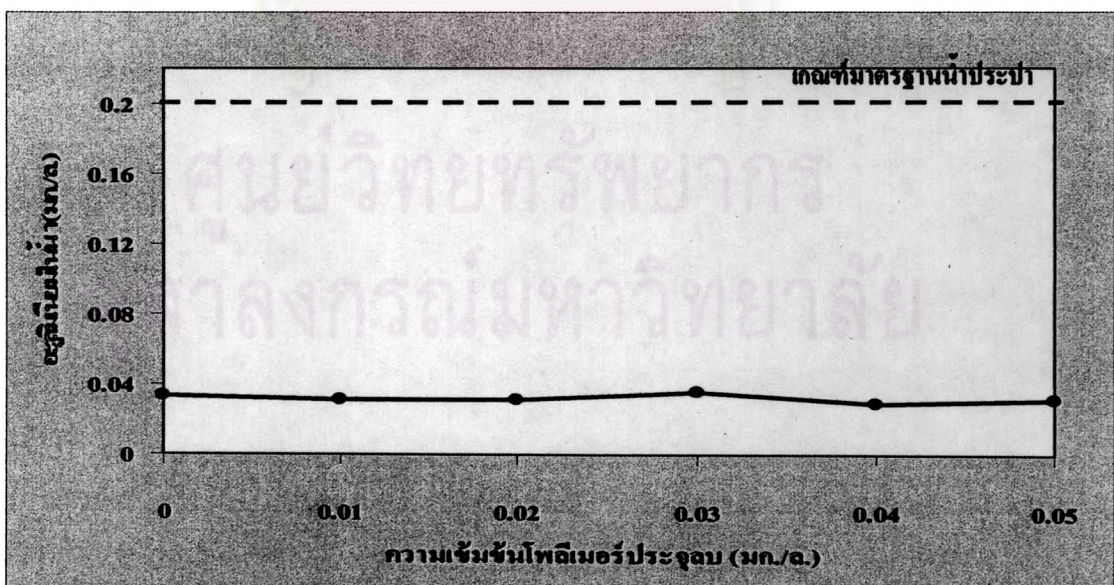
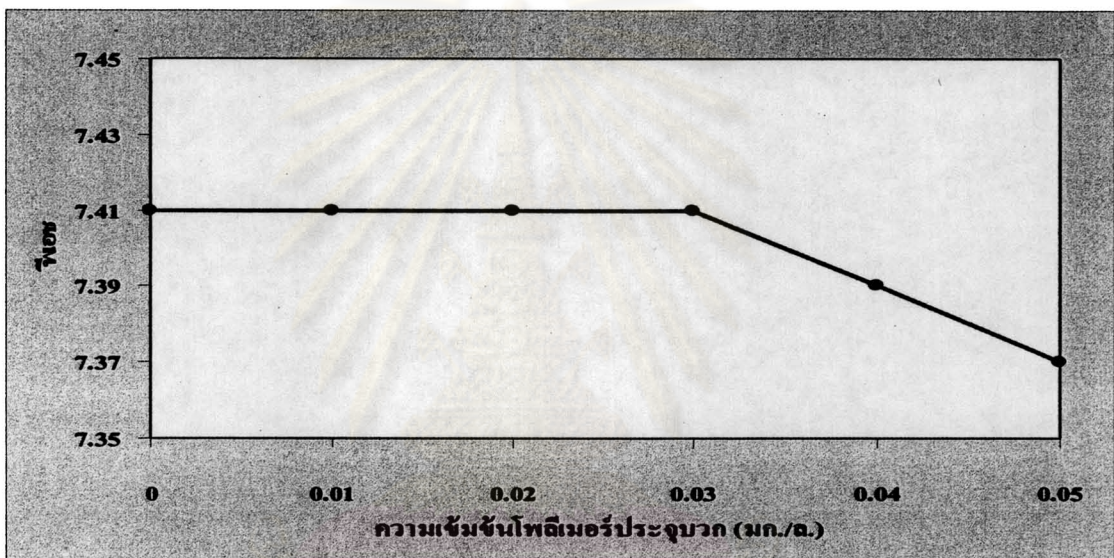
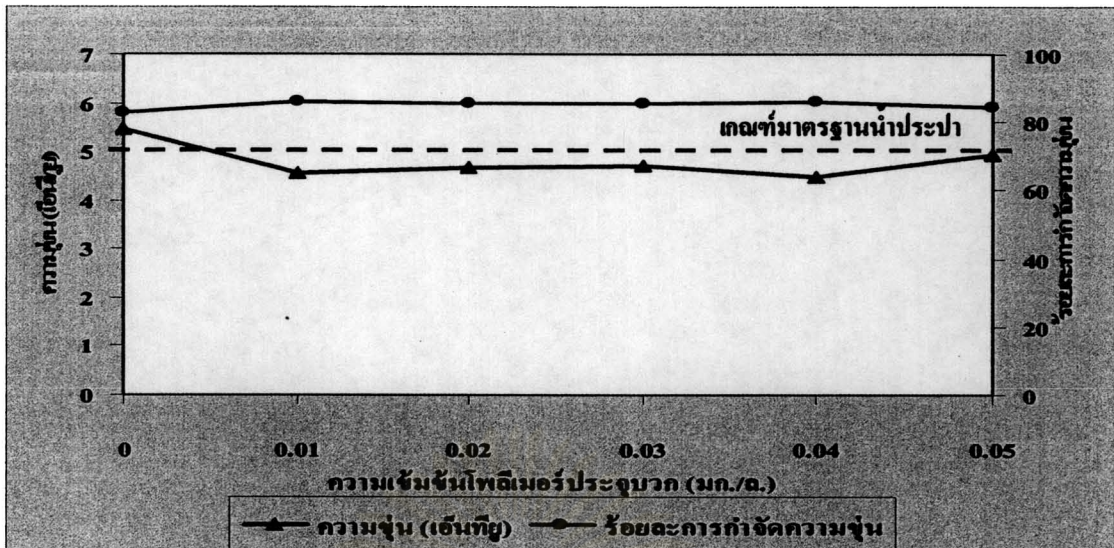




ภาพที่ 4.7 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์



ภาพที่ 4.8 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพติเมอร์ประจุลบ

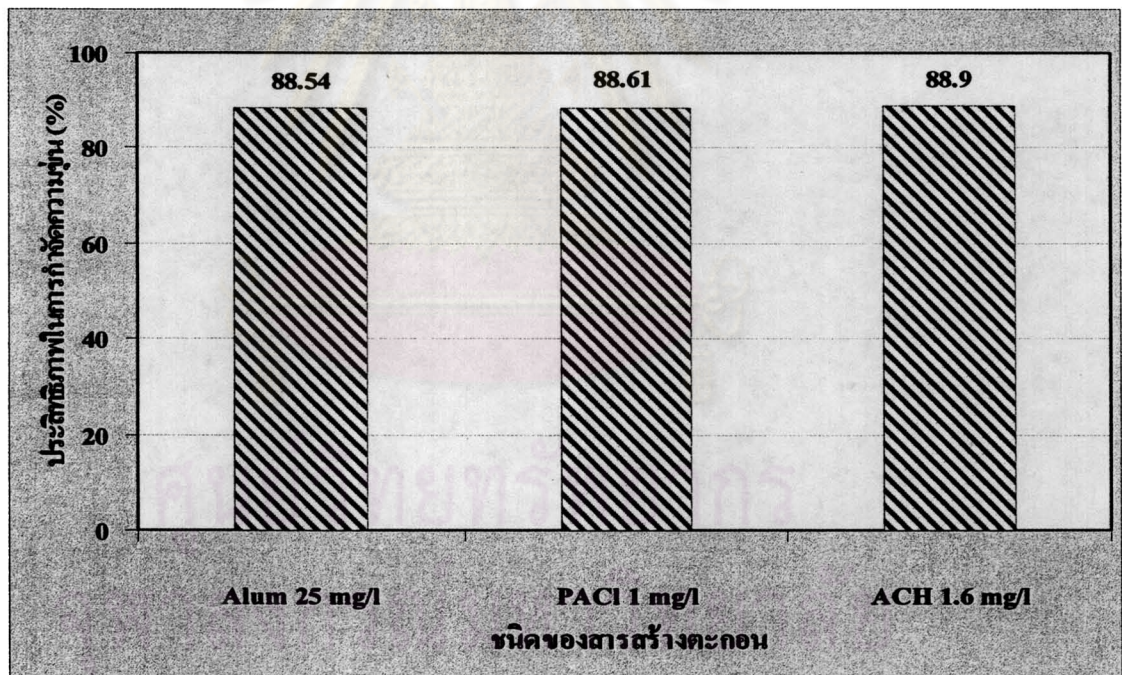


ภาพที่ 4.9 ค่าความชื้น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก

#### 4.1.1.4 การเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่นของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด

##### (1) การกำจัดความขุ่น

จากการทดลองเปรียบเทียบการใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมินัมคลอโรไฮเดรต พบว่าสามารถกำจัดความขุ่นในน้ำดิบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) โดยปริมาณการใช้สารสร้างตะกอนที่ใช้กำจัดความขุ่นจะแตกต่างกัน พบว่าปริมาณการใช้สารส้มจะมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 25 1.6 และ 1 มก./ล. แต่พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงสุดเมื่อใช้อะลูมินัมคลอโรไฮเดรต รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และสารส้ม ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.9 88.61 และ 88.54 ดังภาพที่ 4.10 จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอนแต่ละชนิดจะช่วยกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น และเมื่อความขุ่นสูงขึ้น ปริมาณสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอนที่เหมาะสมของแต่ละชนิดจะสูงขึ้นด้วย

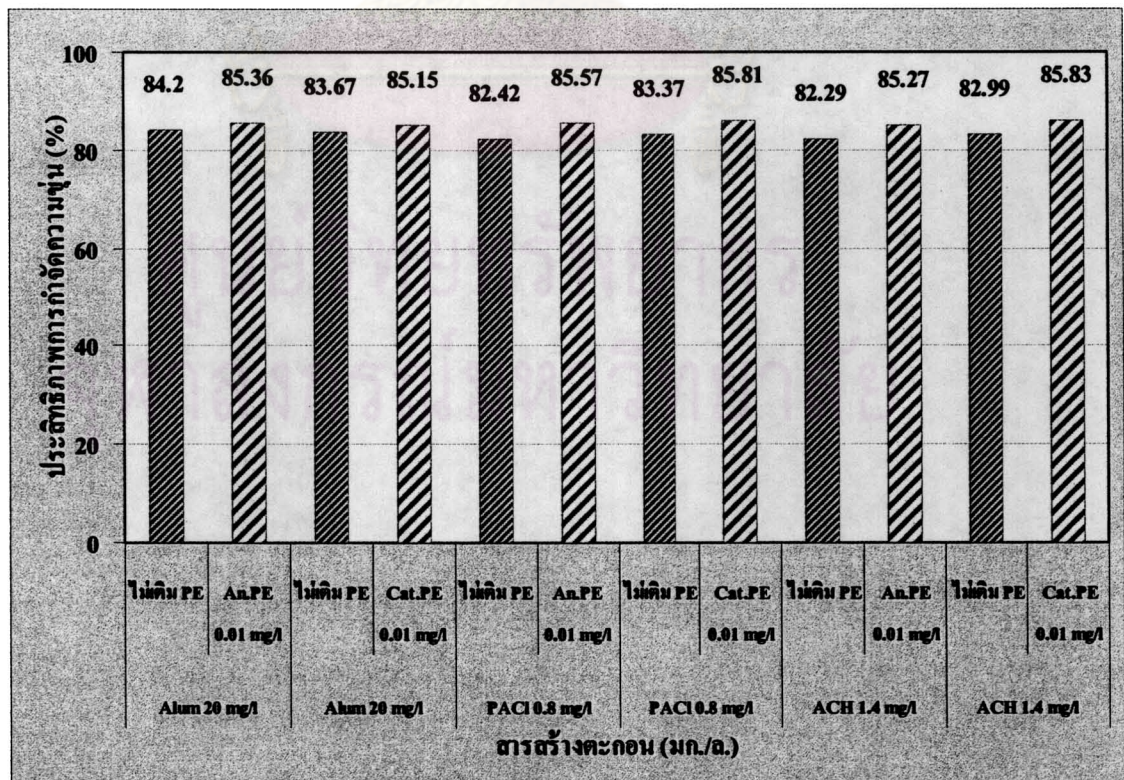


ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว

และเมื่อเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่นของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับสารช่วยสร้างตะกอน คือ โพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ประจุบวก พบว่า เมื่อใช้สารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.36 และ 85.15 โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพียงร้อยละ 1.16 และ 1.48 เมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว 20 มก./ล. ส่วนเมื่อใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

0.8 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบและ โพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.57 และ 85.81 โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพียงร้อยละ 3.15 และ 2.44 เมื่อเทียบกับการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว 0.8 มก./ล. และเมื่อใช้ อะลูมินัมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุลบและ โพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 2.98 และ 2.84 โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพียงร้อยละ 2.98 และ 2.84 เมื่อเทียบกับการใช้อะลูมินัมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว 1.4 มก./ล. ดังภาพที่ 4.11

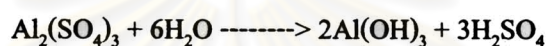
สรุปได้ว่า โพลีเมอร์สามารถลดปริมาณการใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดลงได้ และโพลีเมอร์ยังช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากโพลีเมอร์เป็นสารช่วยเร่งให้ตกตะกอน (Coagulant aid) ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นสายยาว หลังจากผ่านการทำลายเสถียรภาพด้วยสารรวมตะกอนแล้ว และเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ค่อนข้างรุนแรง เมื่อเติมโพลีเมอร์ลงไปจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนรวมทั้งสาหร่ายเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวม ตัวกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น (Costello, 1984) แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาสู่สถานะเสถียรอีกครั้งหนึ่ง (Rebhun และ Luric, 1993)



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยสารสร้างตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์

## (2) พีเอช

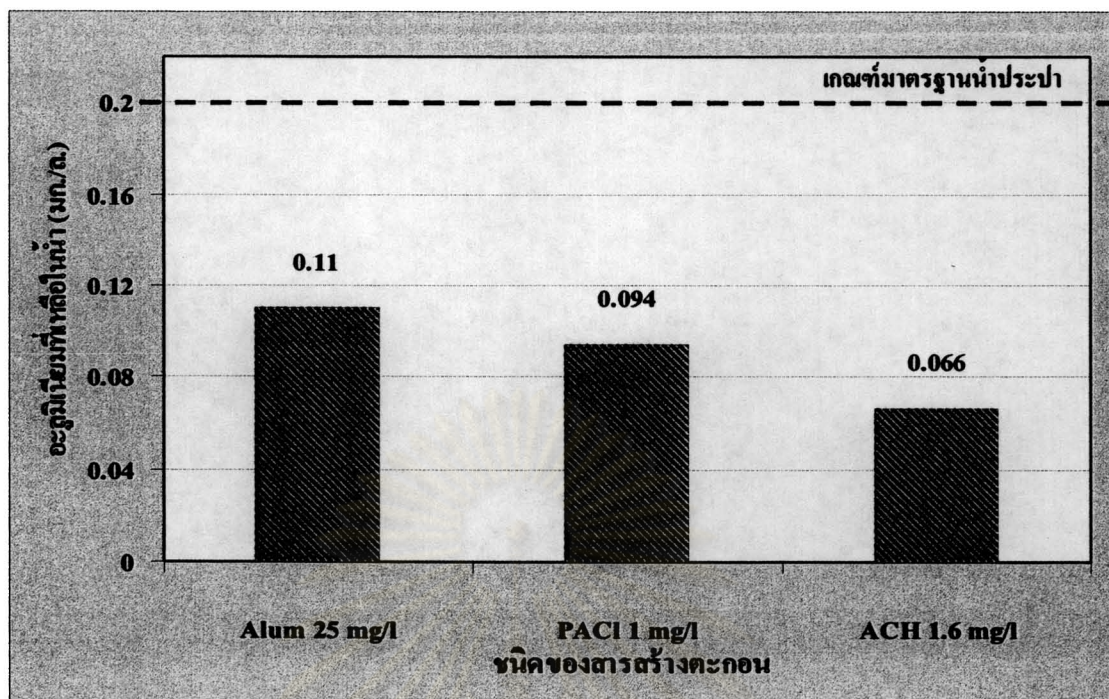
เมื่อพิจารณาค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างในน้ำหลังการตกตะกอนของสารทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีผลทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างลดลง โดยสารส้มจะทำให้พีเอชและค่าความเป็นด่างลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่มีความเป็นกรดสูง เมื่ออยู่ในน้ำแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี แยกตัวได้อิออนประจุบวกและลบ ไอออนประจุบวกจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารประกอบ  $Al(H_2O)_6^{+3}$  ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดที่ไร้เสถียรภาพ พร้อมทั้งจะให้ไอออนบวกของไฮโดรเจน ( $H^+$ ) แก่น้ำ ซึ่งไอออนบวกของไฮโดรเจนจะไปทำปฏิกิริยากับค่าความเป็นด่างในน้ำกลายเป็นตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์  $Al(OH)_3$  ทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างลดลง (T.Viraraghavan and C.H.Wimmer, 1992) ดังสมการ



ในขณะที่อะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนที่เตรียมจากการเติมสารละลายต่างจะพวกไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตที่เข้มข้นลงไปภายใต้อุณหภูมิสูง จึงทำให้อะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีคุณสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย เมื่อละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนหลายชนิด ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ  $[Al_3O_4(OH)_2]^{7+}$  หรือ  $Al^{3+}$  และแตกตัวให้  $H^+$  เพียงเล็กน้อย (Dempsey และคณะ, 1985 ; Simpson และคณะ, 1988) สำหรับพีเอชของน้ำหลังจากตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดในปริมาณที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวง (เกณฑ์สูงสุด พีเอช 6.5 – 8.5)

## (3) ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังจากตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนต่างกัน

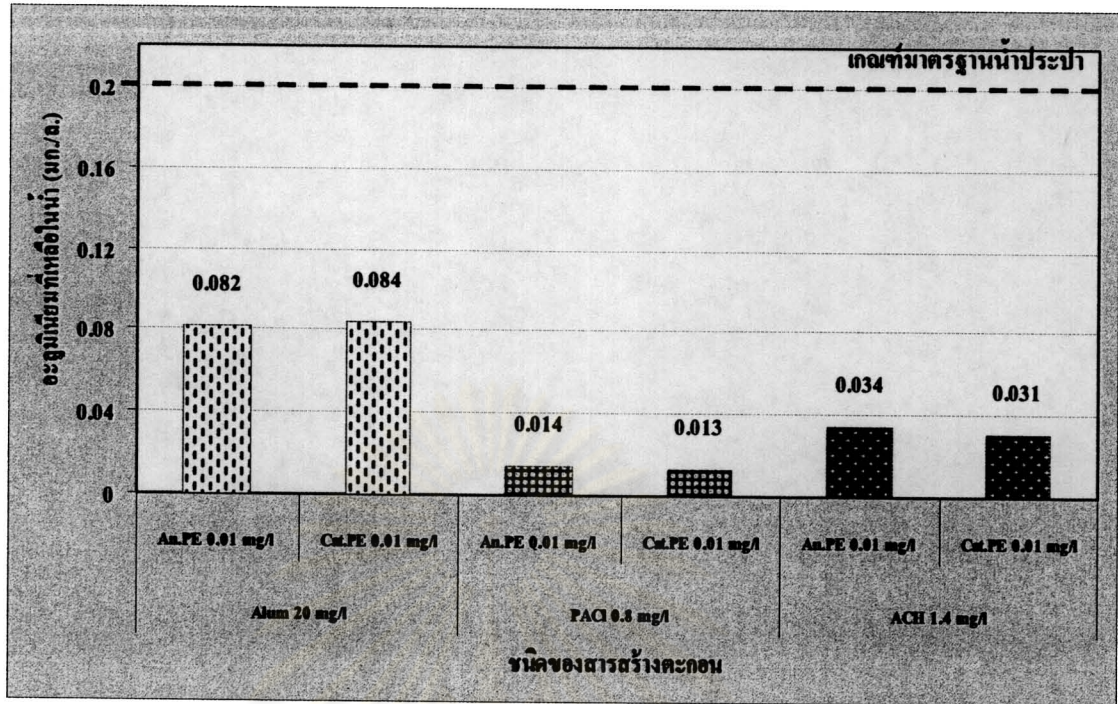
สารสร้างตะกอนที่ใช้ตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดนั้น จัดอยู่ในกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หลังจากตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด แล้วทำการวิเคราะห์อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำด้วย พบว่า สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 0.2 มก./ล.) โดยการใช้อะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ตกตะกอนจะมีปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 0.066 มก./ล. รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.094 มก./ล. และสารส้ม เท่ากับ 0.110 มก./ล. ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวในการกำจัดความขุ่น

และเมื่อทำการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและบวก แล้ววิเคราะห์อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ พบว่า เมื่อใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดร่วมกับโพลีเมอร์มีปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 0.2 มก./ล.) โดยเมื่อใช้สารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. มีปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำเท่ากับ 0.082 และ 0.084 มก./ล. ส่วนเมื่อใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. จะมีปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำเท่ากับ 0.014 และ 0.013 มก./ล. และเมื่อใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. จะมีปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำเท่ากับ 0.034 และ 0.031 มก./ล. ดังภาพที่ 4.13

สรุปได้ว่า ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณสารสร้างตะกอนที่เติมลงไป ในน้ำ จากผลการทดลองในการกำจัดความขุ่นปริมาณการใช้สารส้มจะมากที่สุด จึงทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำสูงที่สุด เช่นเดียวกันกับการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์จะน้อย ดังนั้นปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำจึงมีค่าต่ำด้วย



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ในการกำจัดความขุ่น

#### (4) ค่าอัตราเร็วในการกรอง

การเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วในการกรองของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน พบว่า ที่ความขุ่นน้ำดิบ 38 – 40.6 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 25 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.6 มล./วินาที เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 32.4 – 32.9 เอ็นทียู โดยใช้ปริมาณสารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวกที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.49 และ 6.68 มล./วินาที

เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 37.6 – 40.3 เอ็นทียู ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 1 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.31 มล./วินาที และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 32.6 - 33.3 เอ็นทียู โดยใช้ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวกที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.26 และ 6.67 มล./วินาที

เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 37.7 – 38 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.23 มล./วินาที และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 32 -32.2 เอ็นทียู เมื่อใช้ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวกที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.02 และ 5.12 มล./วินาที



#### 4.1.2 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

การหาปริมาณสารส้มในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบในคลองประปาให้มีค่าความขุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) ได้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีคือ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 38 – 40.6 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 25 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.1 บาท/ลบ.ม. และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 32.4 – 32.9 เอ็นทียู โดยใช้ปริมาณสารส้ม 20 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบและประจุบวกที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.0811 และ 0.0825 บาท/ลบ.ม.

การหาปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบในคลองประปาให้มีค่าความขุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) ได้ปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีคือ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 37.6 – 40.3 เอ็นทียู ปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 1 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.014 บาท/ลบ.ม. และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 32.6 – 33.3 เอ็นทียู โดยใช้ปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบและประจุบวกที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.0123 และ 0.0137 บาท/ลบ.ม.

การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดความขุ่นของน้ำดิบในคลองประปาให้มีค่าความขุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) ได้ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีคือ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 37.7 – 38 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.032 บาท/ลบ.ม. และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 32 – 32.2 เอ็นทียู โดยใช้ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบและประจุบวกที่เหมาะสม 0.01 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.0291 และ 0.0305 บาท/ลบ.ม.

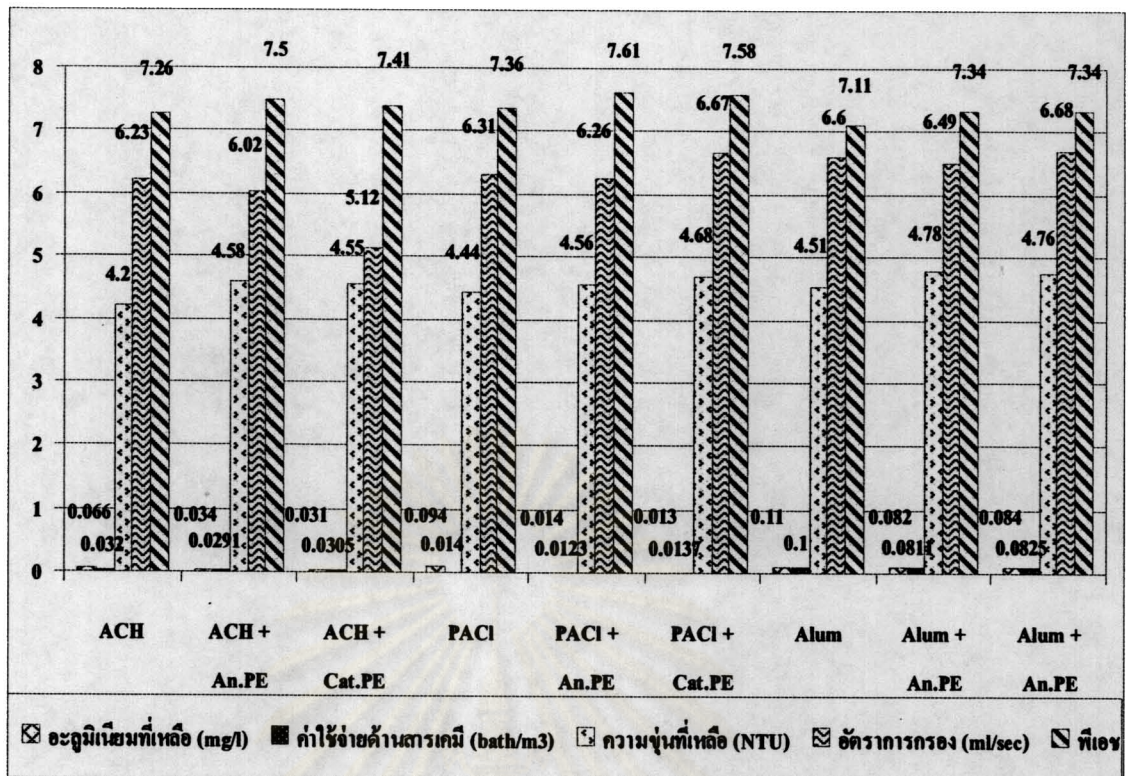
#### 4.1.3 สรุป

จากผลการทดลองการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.10 ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบ

สารสร้าง ตะกอน	โพลีเมอร์	ความขุ่น (NTU)			% การ กำจัด ความขุ่น	อะลูมิเนียม ที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	อัตราเร็วใน การกรอง (มล./วินาที)	ค่าใช้จ่าย ด้านสารเคมี (บาท/ลบ.ม.)
		น้ำดิบ	น้ำผลิต	พีเอช				
ACH								
1.6 มก./ล.	-	37.85	4.2	7.26	88.90	0.066	6.23	0.032
ACH Polymer -								
1.4 มก./ล.	0.01 มก./ล.	31.05	4.58	7.5	85.27	0.034	6.02	0.0291
ACH Polymer +								
1.4 มก./ล.	0.01 มก./ล.	32.1	4.55	7.41	85.83	0.031	5.12	0.0305
PACL								
1.0 มก./ล.	-	38.95	4.44	7.36	88.61	0.094	6.31	0.014
PACL Polymer -								
1.0 มก./ล.	0.01 มก./ล.	31.6	4.56	7.61	85.57	0.014	6.26	0.0123
PACL Polymer +								
0.8 มก./ล.	0.01 มก./ล.	32.95	4.68	7.58	85.81	0.013	6.67	0.0137
Alum								
25 มก./ล.	-	39.3	4.51	7.11	88.54	0.110	6.6	0.1
Alum Polymer -								
20 มก./ล.	0.01 มก./ล.	32.65	4.78	7.34	85.36	0.082	6.49	0.0811
Alum Polymer +								
20 มก./ล.	0.01 มก./ล.	32.05	4.76	7.34	85.15	0.084	6.68	0.0825

หมายเหตุ	ACH	ราคาκιโลกรัมละ	20 บาท
	PACL	ราคาκιโลกรัมละ	14 บาท
	Alum	ราคาκιโลกรัมละ	4 บาท
	Polymer -	ราคาκιโลกรัมละ	108 บาท
	Polymer +	ราคาκιโลกรัมละ	250 บาท



ภาพที่ 4.14 สรุปผลการทดลองของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบ

#### 4.2 การศึกษาปริมาณของสารสร้างตะกอน และชนิดของสารช่วยสร้างตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำ

การทดลองตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ และใช้สารช่วยสร้างตะกอน 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ ในการกำจัดสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำดิบจากคลองประปาที่มีค่าความขุ่นต่ำกว่า 50 เอ็นทียู โดยทำการตกตะกอนสาหร่ายในน้ำดิบจากคลองประปาช่วงเดือนธันวาคม 2552 – กุมภาพันธ์ 2553 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญของสาหร่ายน้ำปริมาณมาก เนื่องจากสาหร่ายได้รับแสงที่ส่องลงมายังน้ำอย่างเพียงพอต่อการเจริญ เพราะน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ และมีลักษณะใส ทำการตกตะกอนโดยใช้อัตราการเร็วที่ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 วินาที และกวนช้า 2 รอบ รอบแรก ที่ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และรอบที่สองที่ 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 นาที (วิธีทดลองจาร์เทสต์มาตรฐานของการประปาซึ่งจำลองสภาวะของการเดินระบบผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาสามเสน) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายของสารเคมีทั้ง 3 ชนิดในการกำจัดสาหร่ายน้ำดิบ แสดงผลการทดลองได้ดังนี้

#### 4.2.1 วิเคราะห์ปริมาณสาหร่ายในน้ำดิบ

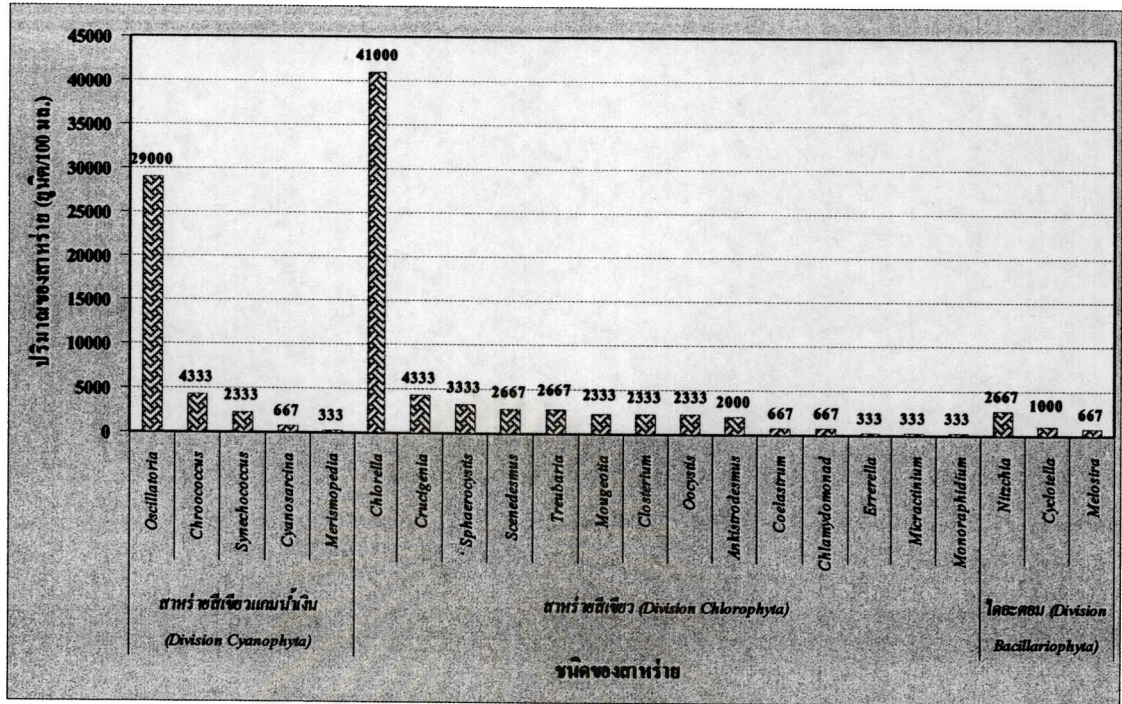
น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นน้ำดิบจากคลองประปาโรงผลิตน้ำประปาสามเสน โดยสาหร่ายที่พบมากจะเป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Division Cyanophyta) ได้แก่ *Oscillatoria* spp. *Chroococcus* spp. *Synechococcus* spp. เป็นต้น คิดเป็นร้อยละ 27.27 4.08 และ 2.19 ส่วนสาหร่ายสีเขียว (Division Chlorophyta) ได้แก่ *Chlorella* spp. *Sphaerocystis* spp. *Crucigenia* spp. เป็นต้น คิดเป็นร้อยละ 38.56 4.08 และ 3.13 ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.15 และ 4.16

ซึ่งในกระบวนการผลิตน้ำประปาจะพบว่าสาหร่าย *Chlorella* spp. หลุดออกมากับน้ำผลิตเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสาหร่าย *Chlorella* spp. เป็นสาหร่ายที่มีลักษณะกลมและมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างในบ่อกรองมาก จึงทำให้เคลื่อนที่หลุดลอคออกจากบ่อกรองได้ แต่ชนิดที่พบว่าจะมีปัญหาเกี่ยวกับบ่อกรอง คือ *Oscillatoria* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว จึงทำให้อุดตันในบ่อกรองและทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลง โดยจะพบสาหร่ายชนิดนี้มากบนผิวหน้าชั้นบ่อกรอง และยังพบว่ายังมีหลุดออกมากับน้ำผลิตด้วย

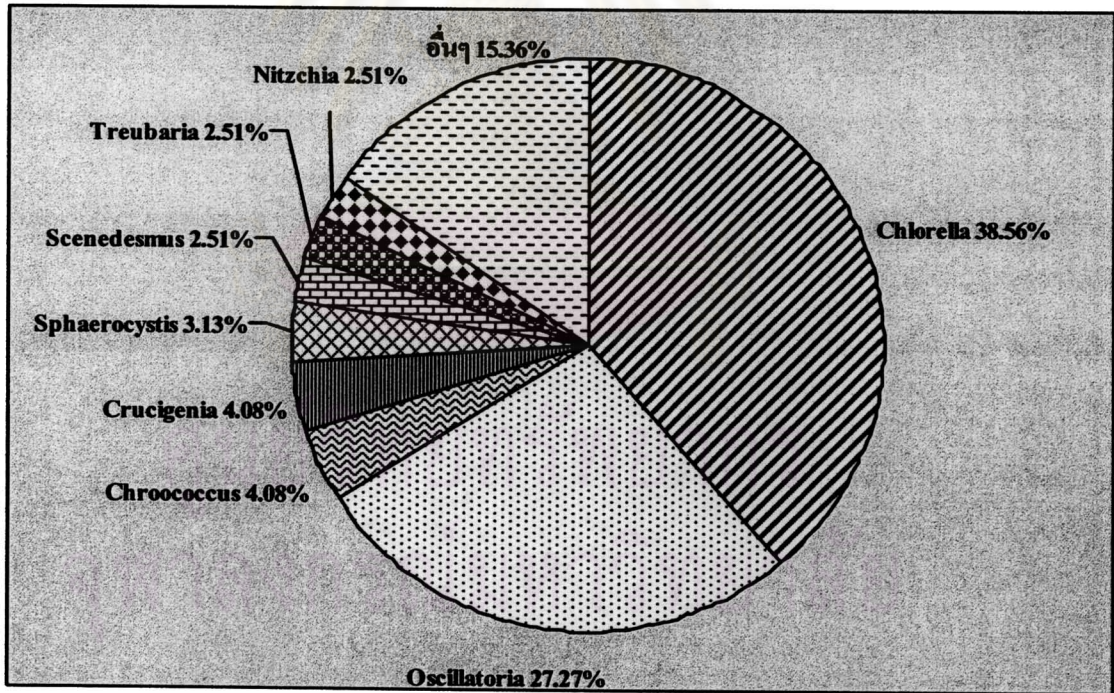
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ชนิดและปริมาณสาหร่ายที่พบในน้ำดิบ

ควิชั่น (Division)	จีนัส (Genus)	3 ธ.ค.52	9 ธ.ค. 52	16 ธ.ค. 52	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ (%)
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Division Cyanophyta)	<i>Oscillatoria</i>	25000	33000	29000	29000	27.27
	<i>Chroococcus</i>	4000	5000	4000	4333	4.08
	<i>Synechococcus</i>	-	3000	4000	2333	2.19
	<i>Cyanosarcina</i>	2000	-	-	667	0.63
	<i>Merismopedia</i>	1000	-	-	333	0.31
สาหร่ายสีเขียว (Division Chlorophyta)	<i>Chlorella</i>	47000	40000	36000	41000	38.56
	<i>Crucigenia</i>	4000	4000	5000	4333	4.08
	<i>Sphaerocystis</i>	1000	5000	4000	3333	3.13
	<i>Scenedesmus</i>	1000	3000	4000	2667	2.51
	<i>Treubaria</i>	3000	3000	2000	2667	2.51
	<i>Mougeotia</i>	6000	1000	-	2333	2.19
	<i>Closterium</i>	2000	3000	2000	2333	2.19
	<i>Oocystis</i>	2000	2000	3000	2333	2.19
	<i>Ankistrodesmus</i>	2000	1000	3000	2000	1.88
	<i>Coelastrum</i>	2000	-	-	667	0.63
	<i>Chlamydomonad</i>	-	1000	1000	667	0.63
	<i>Errerella</i>	1000	-	-	333	0.31
	<i>Micractinium</i>	-	1000	-	333	0.31
	<i>Monoraphidium</i>	-	-	1000	333	0.31
ไดอะตอม (Division Bacillariophyta)	<i>Nitzchia</i>	3000	2000	3000	2667	2.51
	<i>Cyclotella</i>	2000	-	1000	1000	0.94
	<i>Melosira</i>	2000	-	-	667	0.63
รวมทั้งสิ้น		110000	107000	102000	106333	100



ภาพที่ 4.15 ปริมาณของสาหร่ายที่พบในน้ำคืบ



ภาพที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์ของสาหร่ายที่พบในน้ำคืบ

#### 4.2.2 การเปรียบเทียบการกำจัดสาหร่าย

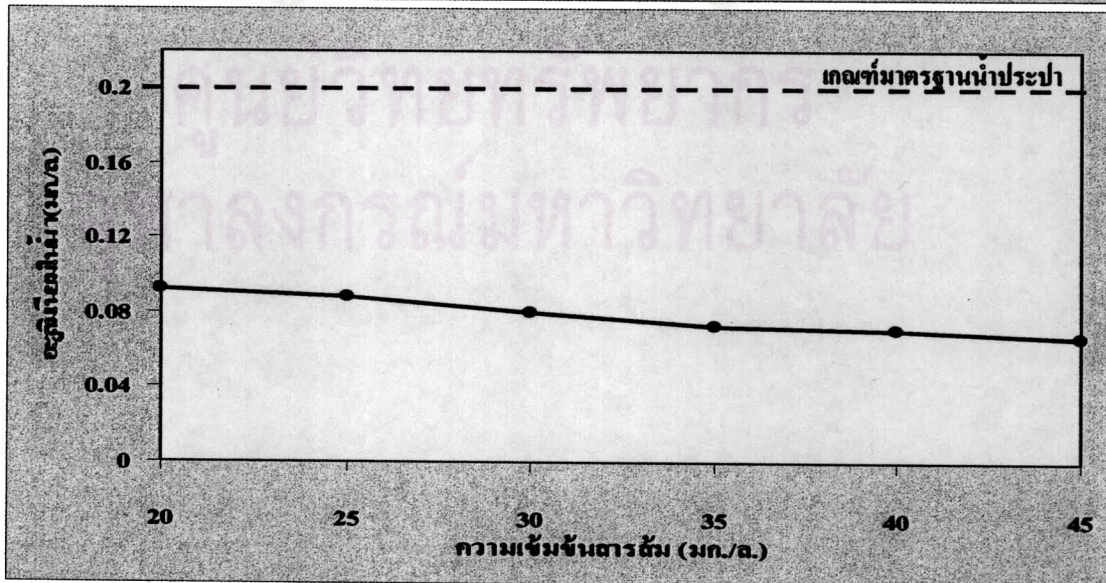
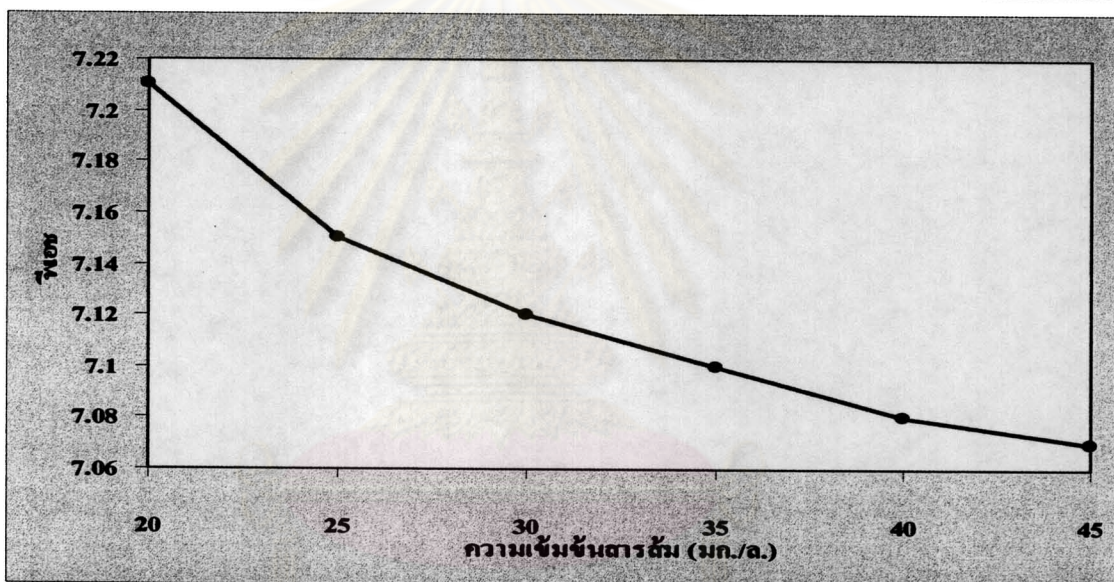
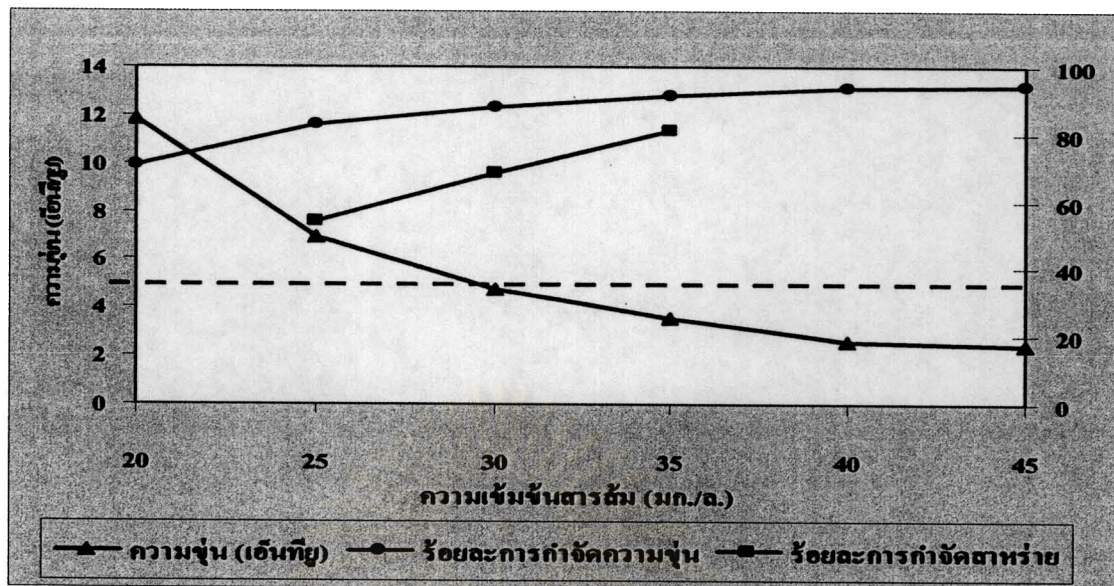
4.2.2.1 การใช้สารส้มที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายในน้ำคืบจากคลองประปา การทดลองใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวกับน้ำคืบที่มีค่าความขุ่น 39.6 – 40.6 เอ็นทียู และนับสาหร่าย

ในน้ำดิบเท่ากับ 110,000 ยูนิต/100 มล. โดยพบสาหร่าย 18 ชนิด ชนิดที่พบมากคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. *Mougeotia* spp. มีจำนวน 47,000 25,000 และ 6,000 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่ใช้กำจัดความขุ่นให้ได้ตามมาตรฐานน้ำประปา คือ 30 มก./ล. ดังตาราง 4.12 นับสาหร่ายที่เหลือหลังจากตกตะกอนเท่ากับ 35,000 ยูนิต/100 มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายทั้งหมดได้ร้อยละ 68.18 ดังภาพที่ 4.17 โดยพบสาหร่าย 17 ชนิด ชนิดที่พบมากคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. *Crucigenia* spp. เป็นต้น มีจำนวน 11,000 5,500 และ 3,500 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย พบว่า การเพิ่มปริมาณสารส้มจะช่วยลดสาหร่ายในน้ำผลิตลงได้ คือการใช้สารส้มที่ 35 มก./ล. จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 80.91 โดยพบสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตมี 13 ชนิด ชนิดที่พบมากได้แก่ *Chlorella* spp. และ *Oscillatoria* spp. ปริมาณ 5,000 และ 3,500 ยูนิต/100 มล. และจากภาพที่ 4.18 จะพบว่า สารส้มสามารถกำจัดสาหร่าย *Mougeotia* spp. ได้ดีที่สุด โดยที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม 30 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดถึงร้อยละ 91.67 และสารส้มสามารถกำจัดสาหร่ายที่พบมากในน้ำผลิต คือ *Chlorella* spp. และ *Oscillatoria* spp. ได้ร้อยละ 76.6 และ 78 ส่วนชนิดของสาหร่ายที่สารส้มกำจัดได้น้อย ได้แก่ *Chroococcus* spp. และ *Crucigenia* spp.

ตารางที่ 4.12 คุณภาพน้ำจากการใช้สารส้มในการกำจัดสาหร่าย

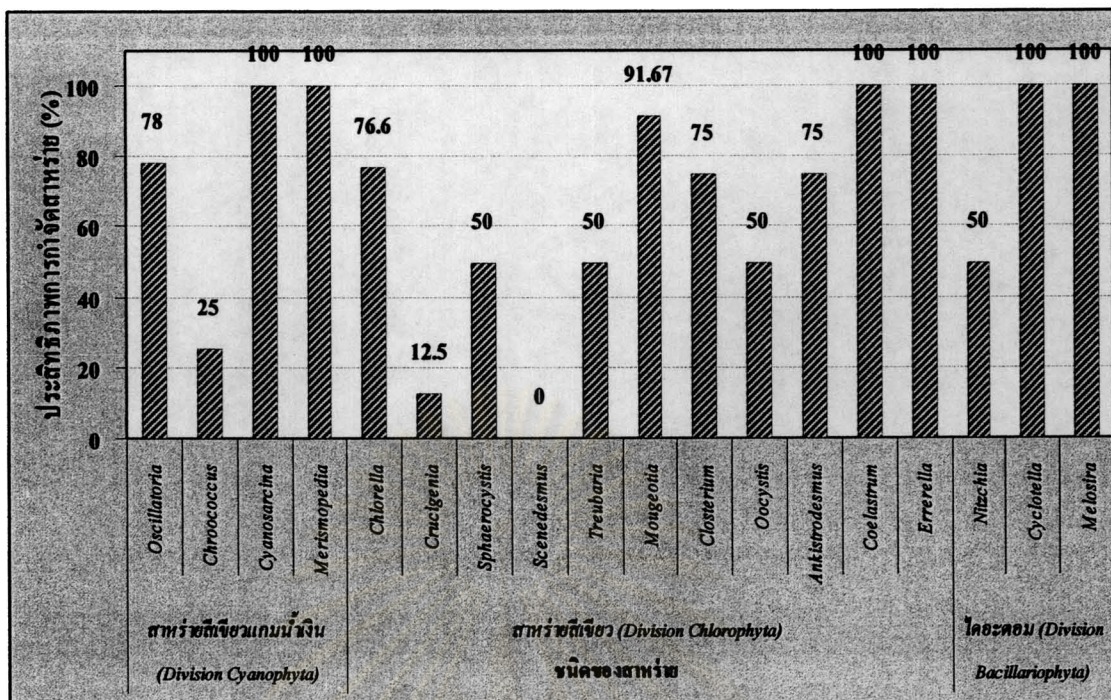
พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นสารส้ม (มก./ล.)						มาตรฐาน
		20	25	30	35	40	45	
ความขุ่น (NTU)	39.6 – 40.6 (avg. 40.10)	11.85	6.89	4.77	3.77	3.27	2.77	< 5
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		70.45	82.83	88.12	91.25	93.53	93.99	-
พีเอช	7.19 – 7.19 (avg. 7.19)	7.21	7.15	7.12	7.10	7.08	7.07	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	104 – 105.6 (avg. 104.8)	95.9	94	91.8	89.6	87.7	86.9	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.007 – 0.007 (avg. 0.007)	0.092	0.088	0.080	0.073	0.071	0.066	0.2
จำนวนสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)	110,000	-	50,500	35,000	21,000	-	-	-
ร้อยละการกำจัดสาหร่าย		-	54.09	68.18	80.91	-	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง



ภาพที่ 4.17 ค่าร้อยละการกำจัดสาหร่าย พีเอช และอะลูมิเนียมไนเตรตในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม





ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและชนิดของสาหร่ายที่เหลือน้ำผลิตของสารส้ม

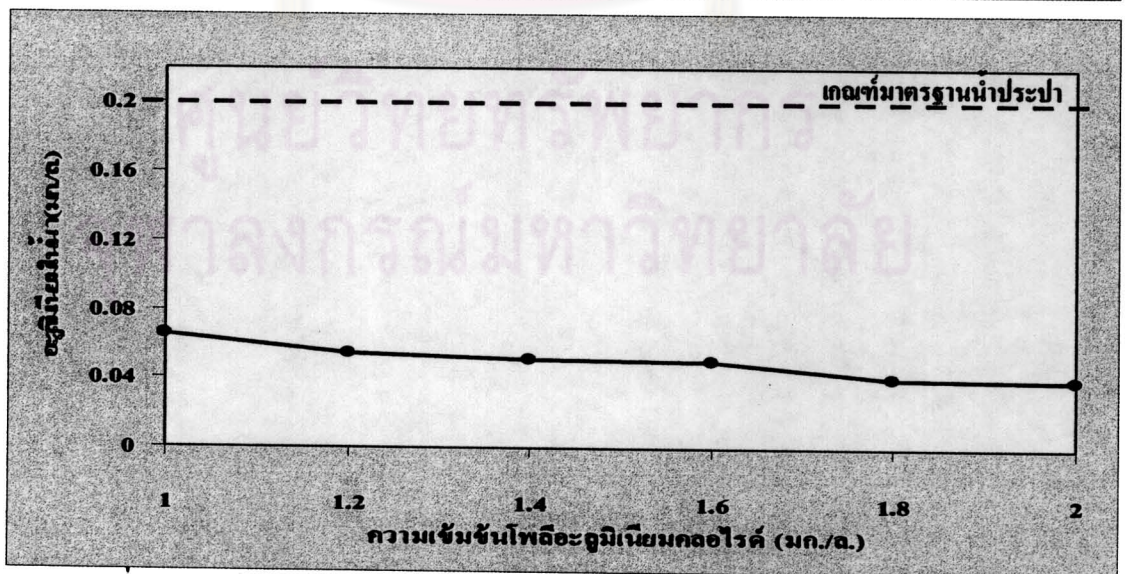
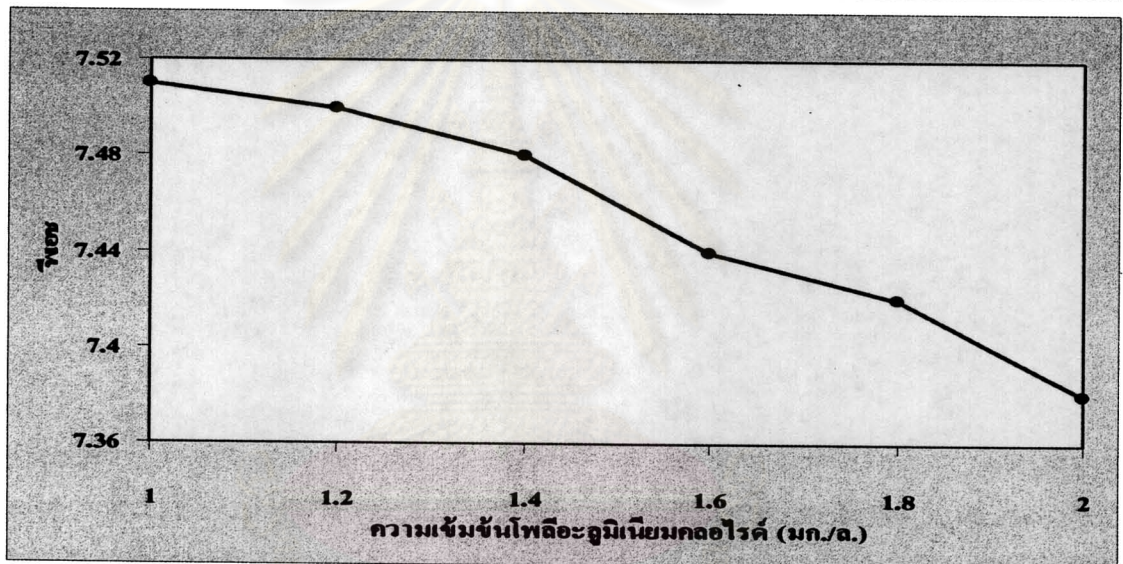
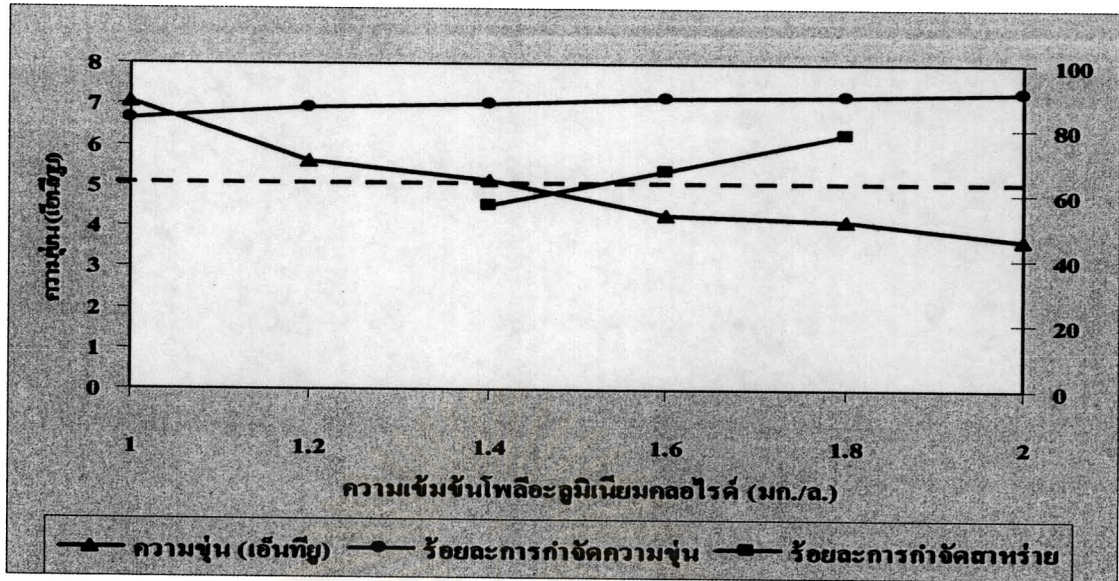
4.2.2.2 การใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่าย จากการทดลองใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 41.2 – 41.7 เอ็นทียู และนับสาหร่ายในน้ำดิบเท่ากับ 107,000 ยูนิต/100 มล. โดยพบสาหร่าย 15 ชนิด ชนิดที่พบมากคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. *Chroococcus* spp. *Sphaerocystis* spp. มีจำนวน 40,000 33,000 5,000 และ 5,000 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ พบว่าปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่ใช้กำจัดความขุ่นให้ได้ตามมาตรฐานน้ำประปา คือ 1.6 มก./ล. ดังตาราง 4.13 นับสาหร่ายที่เหลือหลังจากตกตะกอนเท่ากับ 35,500 ยูนิต/100 มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายทั้งหมดได้ร้อยละ 66.82 ดังภาพที่ 4.19 โดยพบสาหร่าย 22 ชนิด ชนิดที่พบมากคือ *Chlorella* spp. และ *Oscillatoria* spp. มีจำนวน 10,000 และ 4,500 ยูนิต/100 มล. แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย พบว่า การเพิ่มปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์จะช่วยลดสาหร่ายในน้ำผลิตลงได้ คือการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ 1.8 มก./ล. จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 78.04 โดยพบสาหร่ายที่เหลือน้ำผลิตมี 15 ชนิด ชนิดที่พบมากได้แก่ *Chlorella* spp. และ *Oscillatoria* spp. ปริมาณ 6,500 และ 4,000 ยูนิต/100 มล. และจากภาพที่ 4.20 จะพบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์สามารถกำจัดสาหร่าย *Oscillatoria* spp. ได้ดีที่สุด โดยที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม 1.6 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดถึงร้อยละ 86.36 และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์สามารถกำจัดสาหร่ายที่พบมากในน้ำผลิต คือ *Chlorella* spp. ได้ร้อยละ 75 ส่วนชนิดของสาหร่ายที่โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์กำจัดได้น้อยหรือไม่ได้เลย ได้แก่ *Nitzschia* spp. *Synechococcus* spp. และ *Ankistrodesmus* spp.

ตารางที่ 4.13 คุณภาพน้ำจากการใช้โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสาหร่าย

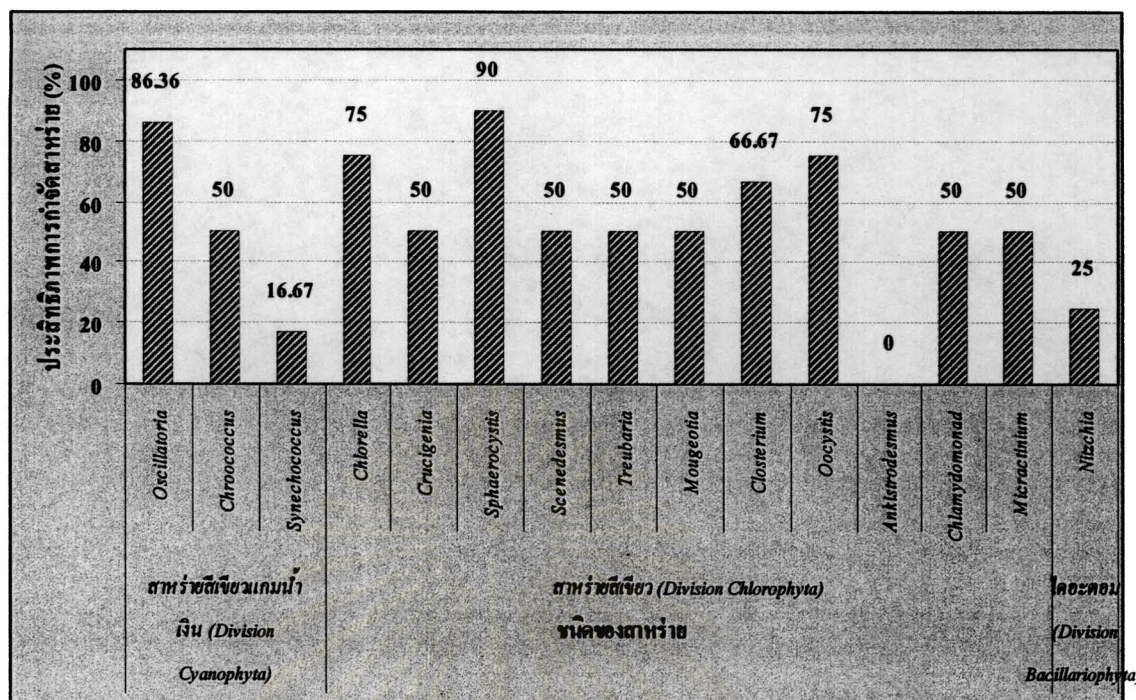
พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	
ความขุ่น (NTU)	41.2 – 41.7 (avg. 41.45)	7.07	5.62	5.11				< 5
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		82.94	86.44	87.68	89.70	90.06	91.11	-
พีเอช	7.21 – 7.22 (avg. 7.22)	7.51	7.50	7.48	7.44	7.42	7.38	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	104 – 105.4 (avg. 104.7)	100.7	101.1	100.1	101.3	100.3	101	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.009 – 0.009 (avg. 0.009)	0.065	0.055	0.051	0.050	0.040	0.039	0.2
จำนวนสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)	107,000	-	-	46,500	35,500	23,500	-	-
ร้อยละการกำจัดสาหร่าย		-	-	56.54	66.82	78.04	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.19 ค่าร้อยละการกำจัดสาหร่าย ทีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์



ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและชนิดของสาหร่ายที่เหลือน้ำผลิตของ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

4.2.2.3 การใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายจากการทดลองใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 40.9 – 41.9 เอ็นทียู และนับสาหร่ายในน้ำดิบเท่ากับ 102,000 ยูนิต/100 มล. โดยพบสาหร่าย 15 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. และ *Crucigenia* spp. มีจำนวน 36,000 29,000 และ 5,000 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ พบว่าปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่ใช้กำจัดความขุ่นให้ได้ตามมาตรฐานของน้ำประปา คือ 2.2 มก./ล. ดังตาราง 4.14 นับสาหร่ายที่เหลือหลังจากตกตะกอนเท่ากับ 22,500 ยูนิต/100 มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายทั้งหมดได้ร้อยละ 77.94 ดังภาพที่ 4.21 โดยพบสาหร่าย 16 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. และ *Chroococcus* spp. เป็นต้น มีจำนวน 5,000 2,500 และ 2,000 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย พบว่า การเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์จะช่วยลดสาหร่ายในน้ำผลิตลงได้ คือการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ 2.4 มก./ล. จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 84.31 โดยพบสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตมี 13 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดได้แก่ *Chlorella* spp. และ *Oscillatoria* spp. ปริมาณ 5,000 และ 2,500 ยูนิต/100 มล. และจากภาพที่ 4.22 จะพบว่า อะลูมิเนียมคลอไรด์สามารถกำจัดสาหร่าย *Chlamydomonas* spp. *Monoraphidium* spp. และ *Cyclotella* spp. ได้ร้อยละ 100 และอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม 2.2 มก./ล. สามารถกำจัดสาหร่ายที่พบมากในน้ำผลิต คือ *Oscillatoria* spp. *Chlorella* spp. และ *Sphaerocystis* spp. ได้ร้อยละ 91.38 86.11 และ 87.5 และจากตารางยังพบอีกว่าสารอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการ

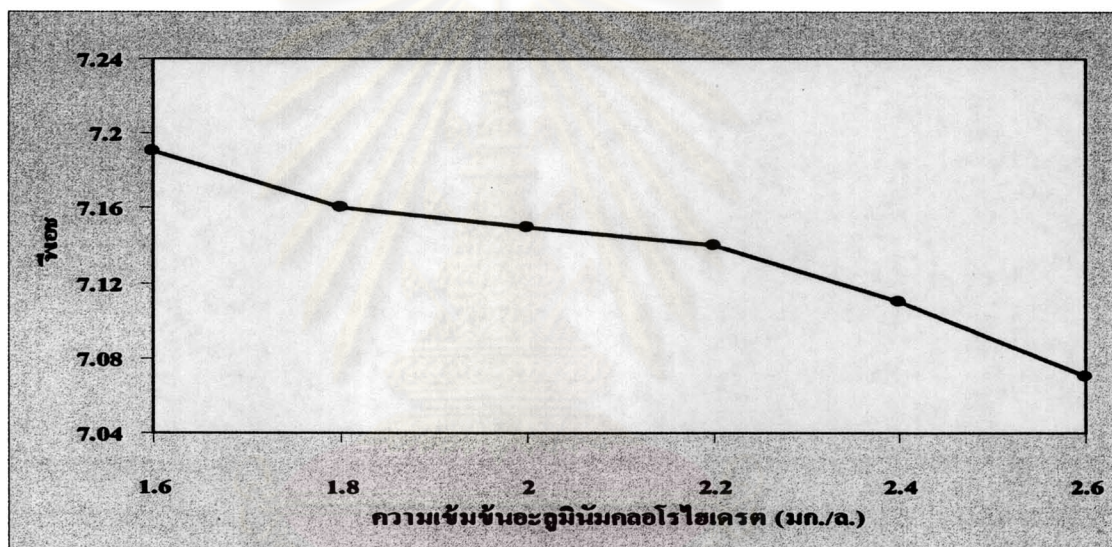
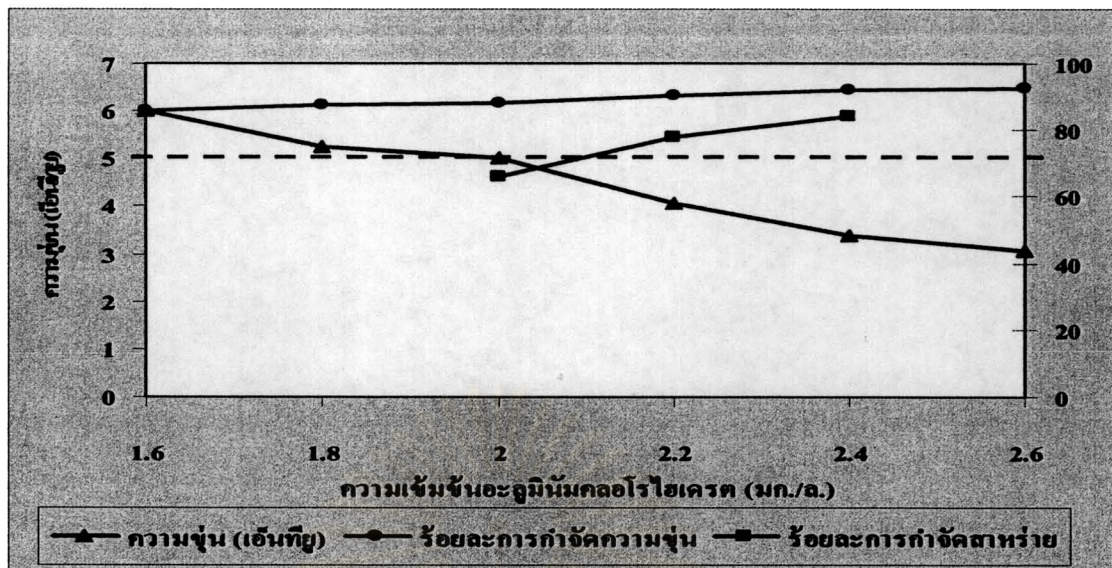
กำจัดสาหร่ายได้สูง โดยสามารถกำจัดสาหร่ายได้น้อยที่สุดคือรื้อยะ 50 ซึ่งได้แก่สาหร่าย *Chroococcus* spp. *Treubaria* spp. และ *Closterium* spp.

ตารางที่ 4.14 คุณภาพน้ำจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสาหร่าย

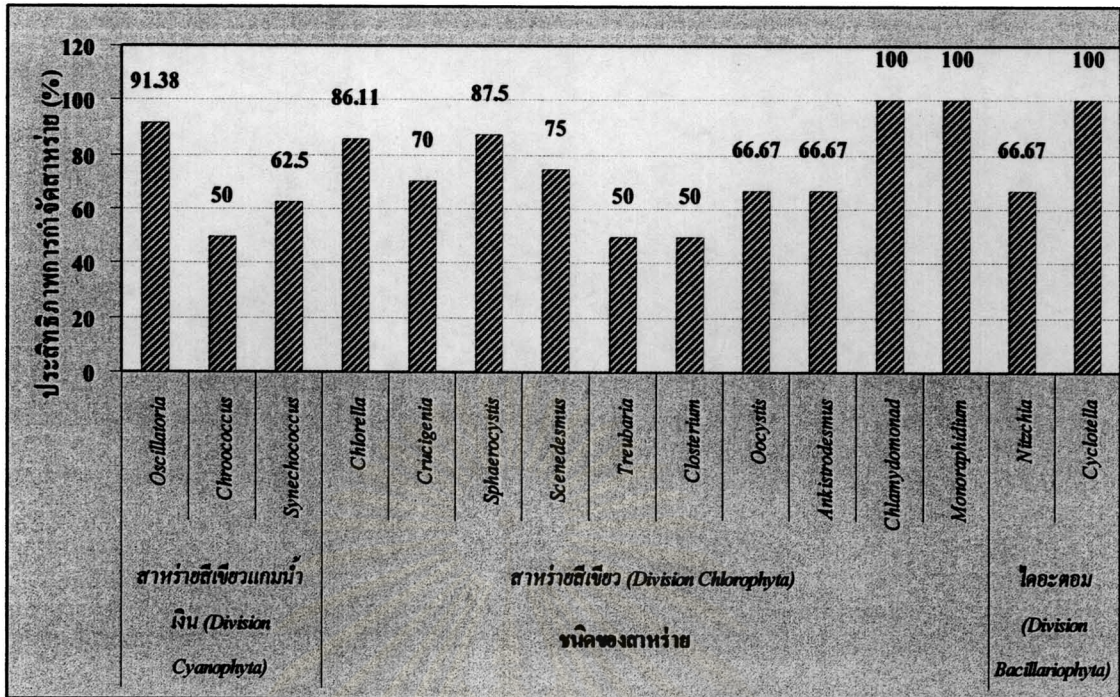
พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	
ความขุ่น (NTU)	40.9 – 41.9 (avg. 41.40)	5.99	5.24	5.02				< 5
รื้อยะการกำจัดความขุ่น		85.53	87.34	87.89	90.23	91.86	92.62	-
พีเอช	7.2 – 7.24 (avg. 7.22)	7.19	7.16	7.15	7.14	7.11	7.07	6.5 - 8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	107.2 – 110.4 (avg. 108.8)	101.3	101.9	100.5	100.7	98.7	100.1	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.006 – 0.006 (avg. 0.006)	0.012	0.014	0.014	0.016	0.017	0.018	0.2
จำนวนสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)	102,000	-	-	34,500	22,500	16,000	-	-
รื้อยะการกำจัดสาหร่าย		-	-	66.18	77.94	84.31	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.21 ค่าร้อยละการกำจัดสาหร่าย พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วย อะลูมิเนียมคลอไรด์



ภาพที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและชนิดของสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตของอะลูมิเนียมคลอไรด์

4.2.2.4 การใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดร่วมกับโพลีเมอร์ โดยใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบกับน้ำคิบที่มีค่าความขุ่นน้ำคิบ 30.4 – 33 เอ็นทียู โดยใช้สารส้ม 25 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.01 มก./ล. พบว่า จำนวนสาหร่ายที่เหลือหลังตกตะกอน 30,000 ยูนิต/100 มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายทั้งหมดได้ร้อยละ 72.73 โดยพบสาหร่าย 12 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. *Nitzschia* spp. เป็นต้น มีจำนวน 8,500 5,000 และ 3,000 ยูนิต/100 มล. การตกตะกอนด้วยสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและความขุ่น โดยช่วยลดการใช้สารส้มลง เนื่องจากโพลีเมอร์เป็นสารช่วยเร่งให้ตกตะกอน (Coagulant aid) ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นสายยาว หลังจากผ่านการทำลายเสถียรภาพด้วยสารรวมตะกอนแล้ว และเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ค่อนข้างรุนแรง เมื่อเติมโพลีเมอร์ลงไปจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนรวมทั้งสาหร่ายเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวม ตัวกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น (Costello, 1984) แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาสู่สถานะเสถียรอีกครั้งหนึ่ง (Rebhun และ Luric, 1993)

ส่วนการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกกับน้ำคิบที่มีค่าความขุ่นน้ำคิบ 30.4 – 33 เอ็นทียู โดยใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. พบว่า จำนวนสาหร่ายที่เหลือหลังตกตะกอน 33,000 ยูนิต/100 มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายทั้งหมดได้ร้อยละ 69.16 โดยพบสาหร่าย 16 ชนิด ชนิดที่พบมาก

คือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. *Crucigenia* spp. *Chroococcus* spp. เป็นต้น มีจำนวน 10,000 6,000 4,000 และ 3,500 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ การตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ร่วมกับโพลีเมอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นโดยช่วยลดการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ลง เนื่องจากโพลีเมอร์เป็นสารช่วยเร่งให้ตกตะกอน เมื่อเติมลงไปจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนรวมทั้งสาหร่ายเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวมตัวกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น (Costello, 1984) และโมเลกุลของโพลีเมอร์ประจุบวกจะเกิดการเกาะติดบนผิวอนุภาคผ่านพันธะทางไฟฟ้าสถิต โพลีเมอร์ที่มีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าประจุลบบนพื้นผิวอนุภาคและจะทำลายประจุลบ ไม่เพียงแต่บริเวณที่เกาะติดเท่านั้น แต่จะรวมถึงส่วนอื่นหรือทั้งหมด แล้วก่อตัวเป็นประจุบวกห่อล้อมขอบเขตของตำแหน่งประจุลบ ทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคโดยตรงและลดแรงผลักระหว่างอนุภาคเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคขึ้นได้ (Bratby, 1980) แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาสู่สภาวะเสถียรอีกครั้งหนึ่ง (Rebhun และ Luric, 1993)

และการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกกับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่นน้ำดิบ 30.4 – 33 เอ็นทียู โดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ 2.0 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. พบว่า จำนวนสาหร่ายที่เหลือหลังตกตะกอน 18,000 ยูนิต/100 มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายทั้งหมดได้ร้อยละ 82.35 ซึ่งมากกว่าการใช้สารส้มและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์โดยพบสาหร่าย 7 ชนิด ชนิดที่พบมากคือ *Chlorella* spp. *Oscillatoria* spp. *Synechococcus* spp. เป็นต้น มีจำนวน 6,500 4,500 และ 2,500 ยูนิต/100 มล. ตามลำดับ การตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายและความขุ่นโดยช่วยลดการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ลง เนื่องจากเมื่อเติมโพลีเมอร์ลงไปจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนรวมทั้งสาหร่ายเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวมตัวกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น (Costello, 1984) และโมเลกุลของโพลีเมอร์ประจุบวกจะเกิดการเกาะติดบนผิวอนุภาคผ่านพันธะทางไฟฟ้าสถิต โพลีเมอร์ที่มีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าประจุลบบนพื้นผิวอนุภาคและจะทำลายประจุลบ แล้วก่อตัวเป็นประจุบวกห่อล้อมขอบเขตของตำแหน่งประจุลบ ทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคโดยตรงและลดแรงผลักระหว่างอนุภาคเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคขึ้นได้ (Bratby, 1980)

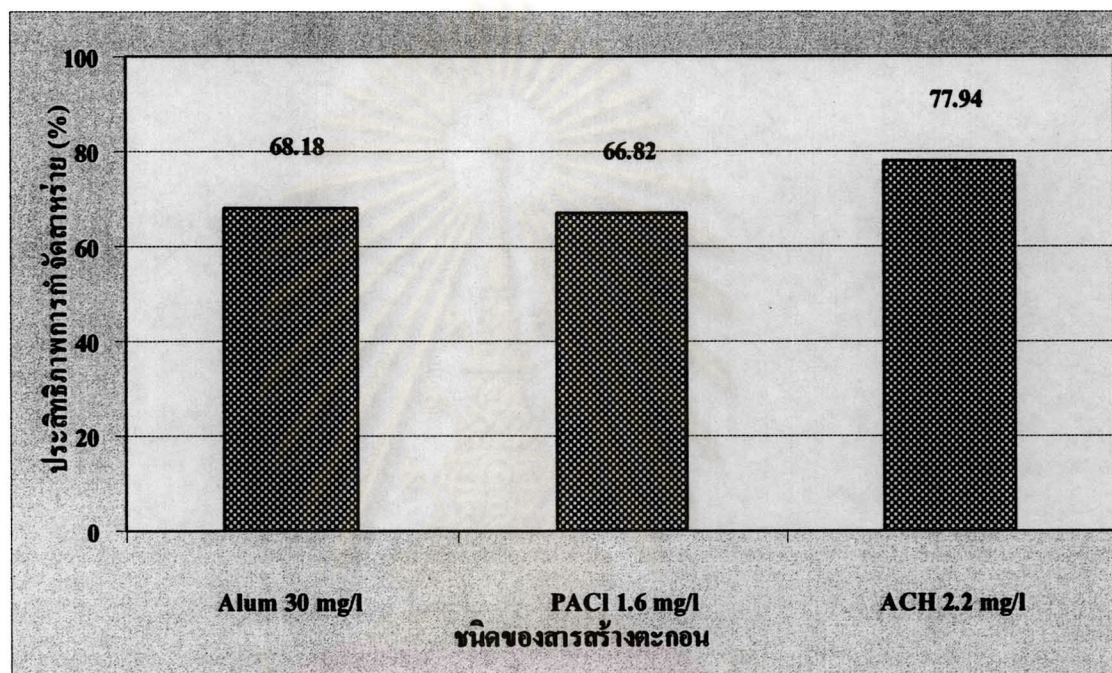
#### 4.2.2.5 การเปรียบเทียบการกำจัดสาหร่ายของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด

##### (1) การกำจัดสาหร่าย

การเปรียบเทียบการกำจัดสาหร่ายของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าช่วยในการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบได้ โดย



ใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณการใช้สารส้มมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมคลอไรด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม 30 2.2 และ 1.6 มก./ล. แต่พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสูงสุดเมื่อใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ รองลงมาคือ สารส้ม และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายร้อยละ 77.94 68.18 และ 66.82 ดังภาพที่ 4.23 จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะช่วยตกตะกอนสาหร่ายได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว

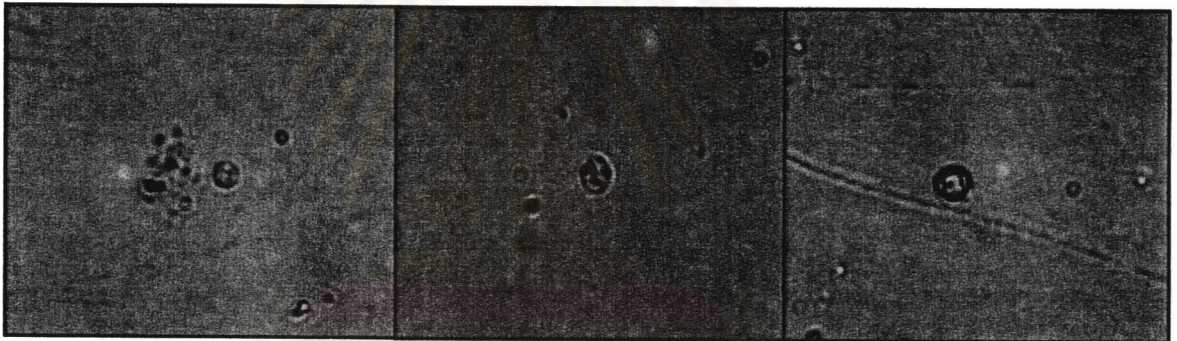
## (2) การจำแนกชนิดของสาหร่าย

สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดสามารถกำจัดความขุ่นในน้ำดิบได้ตามมาตรฐานการผลิตน้ำประปา (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) แต่เมื่อพิจารณาสาหร่ายในน้ำ พบว่า ยังพบสาหร่ายตกค้างในน้ำผลิตจำนวนมาก ในการผลิตน้ำประปาไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานจำนวนสาหร่ายตกค้าง ในการกำจัดสาหร่ายในการทดลองนี้จึงใช้ค่าคุณภาพน้ำที่ผ่านค่ามาตรฐาน คือความขุ่นต่ำกว่า 5 เอ็นทียูมาพิจารณาสาหร่ายเป็นหลัก

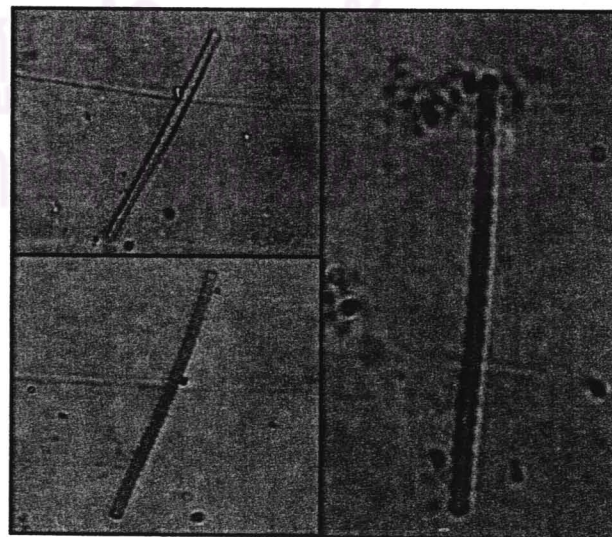
สาหร่ายที่พบในน้ำที่เหลือหลังจากการตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด จำแนกตามดิวิชัน พบว่า สาหร่าย Division Chlorophyta เหลือในน้ำผลิตมากที่สุด รองลงมาได้แก่ Division Cyanophyta และ Division Bacillariophyta ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.15 จำแนกตามชนิดที่พบ พบว่า สาหร่ายที่พบมากที่สุดคือ *Chlorella* spp. ซึ่งเป็นพวกสาหร่ายสีเขียว ดังภาพที่ 4.24

รองลงมาคือ *Oscillatoria* spp. ซึ่งเป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ดังภาพที่ 4.25 โดยในน้ำผลิตที่ตกตะกอนด้วยสารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต จะพบ *Chlorella* spp. ร้อยละ 31.5 28.9 และ 22.3 ของสาหร่ายทั้งหมด ตามลำดับ และพบ *Oscillatoria* spp. ร้อยละ 15.75 12.85 และ 11.3 ของสาหร่ายทั้งหมด ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดพบว่า อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรตมีประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายสูงสุด ดังภาพที่ 4.26 โดยเฉพาะสามารถกำจัดสาหร่าย Division Chlorophyta ได้สูงสุดเมื่อเทียบกับสารสร้างตะกอนชนิดอื่น ซึ่งสาหร่ายใน Division Chlorophyta เป็นสาหร่ายที่มีปัญหามากในระบบการผลิตน้ำประปา คือพบว่ามีค้ำในน้ำประปาจำนวนมาก ได้แก่ *Chlorella* spp. และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรตยังสามารถกำจัดสาหร่าย Division Cyanophyta ได้ดี ซึ่งสาหร่าย *Oscillatoria* spp. เป็นปัญหาในบ่อกรอง โดยจะอุดตันบนผิวหน้าบ่อกรองทำให้ประสิทธิภาพการกรองลดลง



ภาพที่ 4.24 ภาพถ่าย *Chlorella* spp. จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20X

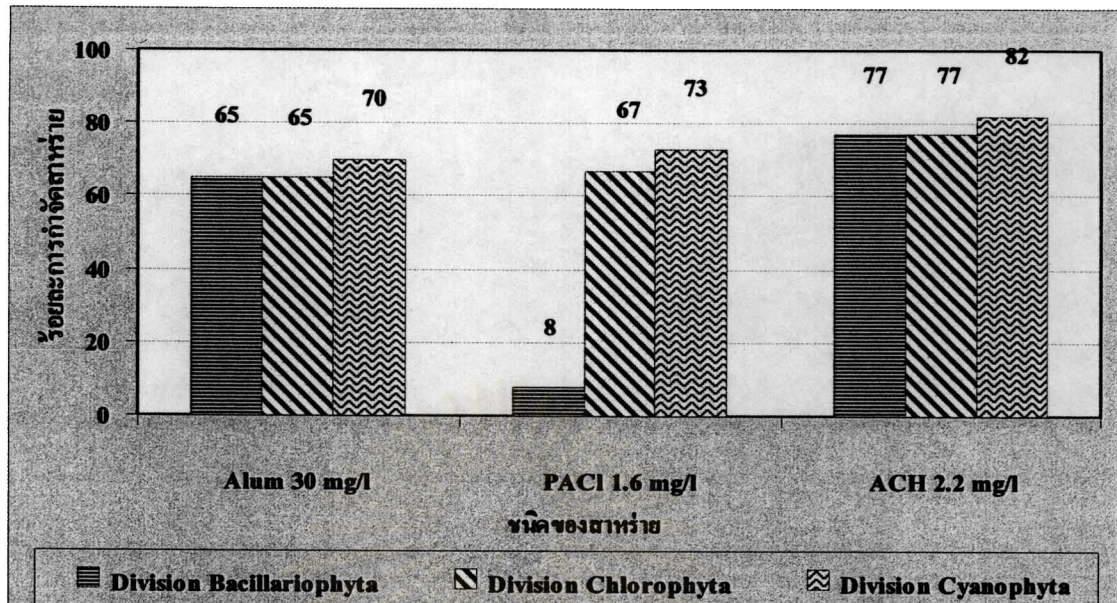


ภาพที่ 4.25 ภาพถ่าย *Oscillatoria* spp. จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20X

ตารางที่ 4.15 ชนิดและจำนวนสาหร่ายที่พบในน้ำดิบและน้ำหลังการทดลอง

ชนิดสาหร่าย	จำนวนที่พบในน้ำดิบ (ชนิด/100มล.)	จำนวนที่พบในน้ำผลิต(ชนิด/100มล.)			ร้อยละการกำจัดสาหร่าย		
		Alum	PACI	ACH	Alum	PACI	ACH
<b>สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Division Cyanophyta)</b>							
<i>Oscillatoria</i>	29000	5500	4500	2500	81.03	84.48	91.38
<i>Chroococcus</i>	4333	3000	2500	2000	30.77	42.31	53.85
<i>Synechococcus</i>	2333	2000	2500	1500	14.29	-7.14	35.71
<i>Cyanosarcina</i>	667	-	-	-	100	100	100
<i>Merismopedia</i>	333	-	500	500	100	-50	-50
<b>รวม</b>	<b>36666</b>	<b>10500</b>	<b>10000</b>	<b>6500</b>	<b>70</b>	<b>73</b>	<b>82</b>
<b>สาหร่ายสีเขียว (Division Chlorophyta)</b>							
<i>Chlorella</i>	41000	11000	10000	5000	73.17	75.61	87.8
<i>Crucigenia</i>	4333	3500	2000	1500	19.23	53.85	65.38
<i>Sphaerocystis</i>	3333	500	500	500	85	85	85
<i>Scenedesmus</i>	2667	1500	1500	1000	43.75	43.75	62.5
<i>Treubaria</i>	2667	1500	1500	1000	43.75	43.75	62.5
<i>Mougeotia</i>	2333	500	500	500	78.57	78.57	78.57
<i>Closterium</i>	2333	500	1000	1000	78.57	57.14	57.14
<i>Oocystis</i>	2333	1000	500	1000	57.14	78.57	57.14
<i>Ankistrodesmus</i>	2000	500	1000	1000	75	50	50
<i>Coelastrum</i>	667	-	500	-	100	25	100
<i>Chlamydomonad</i>	667	500	500	-	25	25	100
<i>Errerella</i>	333	-	-	-	100	100	100
<i>Micractinum</i>	333	-	500	1000	100	-50	-200
<i>Monoraphidium</i>	333	1000	-	-	-200	100	100
<i>Selenastrum</i>	-	500	1000	1500	-	-	-
<i>Actinastrum</i>	-	500	500	-	-	-	-
<b>รวม</b>	<b>64665</b>	<b>23000</b>	<b>21500</b>	<b>15000</b>	<b>65</b>	<b>67</b>	<b>77</b>
<b>ไดอะตอม (Division Bacillariophyta)</b>							
<i>Nitzchia</i>	2667	1500	1500	1000	43.75	43.75	62.50
<i>Cyclotella</i>	1000	-	1500	-	100	-50	100
<i>Melosira</i>	667	-	500	-	100	25	100
<i>Roperia</i>	-	-	500	-	-	-	-
<b>รวม</b>	<b>4333</b>	<b>1500</b>	<b>4000</b>	<b>1000</b>	<b>65</b>	<b>8</b>	<b>77</b>
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>106333</b>	<b>35000</b>	<b>35500</b>	<b>22500</b>			

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่พบ

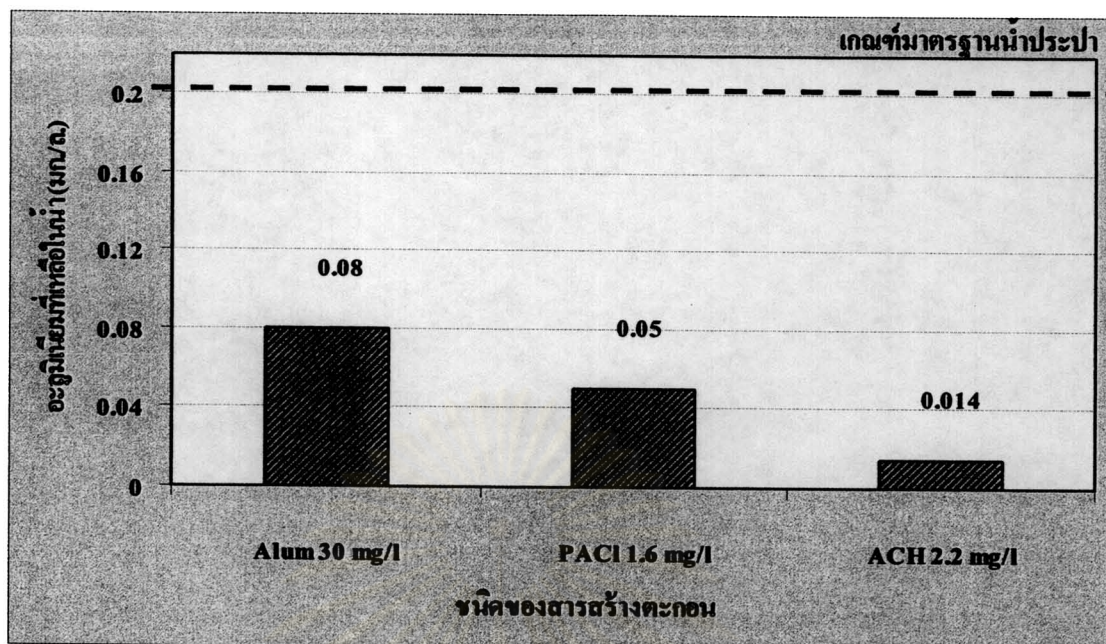


ภาพที่ 4.26 ร้อยละการกำจัดสาหร่ายจำแนกตามdivision ของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด

(3) ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังจกตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนต่างกัน หลังจากตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดนั้น แล้วทำการวิเคราะห์ที่อะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำ พบว่า สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา (ไม่เกิน 0.2 มก./ล.) โดยการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ตกตะกอนจะมีปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 0.014 มก./ล. รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.05 มก./ล. และสารส้ม เท่ากับ 0.08 มก./ล. ดังภาพที่ 4.27

สรุปได้ว่า ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณสารสร้างตะกอนที่เติมลงไป ในน้ำ จากผลการทดลองในการกำจัดความขุ่นปริมาณการใช้สารส้มจะมากที่สุด จึงทำให้ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำสูงที่สุด เช่นเดียวกันกับการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมคลอไรด์จะน้อย ดังนั้นปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำจึงมีค่าต่ำด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.27 เปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวในการกำจัดสาหร่าย

#### (4) ค่าอัตราเร็วในการกรอง

การเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วในการกรองของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน พบว่า ที่ความขุ่นน้ำดิบ 39.6 – 40.6 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.9 มล./วินาที เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 41.2 – 41.7 เอ็นทียู ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 5.71 มล./วินาที และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 40.9 – 41.9 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 2.2 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 6.14 มล./วินาที

#### 4.2.3 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ปริมาณสารส้มในการกำจัดสาหร่ายของน้ำดิบในคลองประปา ได้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีคือ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 39.6 – 40.6 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.12 บาท/ลบ.ม.

ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสาหร่ายของน้ำดิบในคลองประปา ได้ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีคือ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 41.2 – 41.7 เอ็นทียู ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.0224 บาท/ลบ.ม.

ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสาหร่ายของน้ำดิบในคลองประปา ได้ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีคือ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 40.9 – 41.9 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 2.2 มก./ล. จะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 0.044 บาท/ลบ.ม.

#### 4.2.4 สรุป

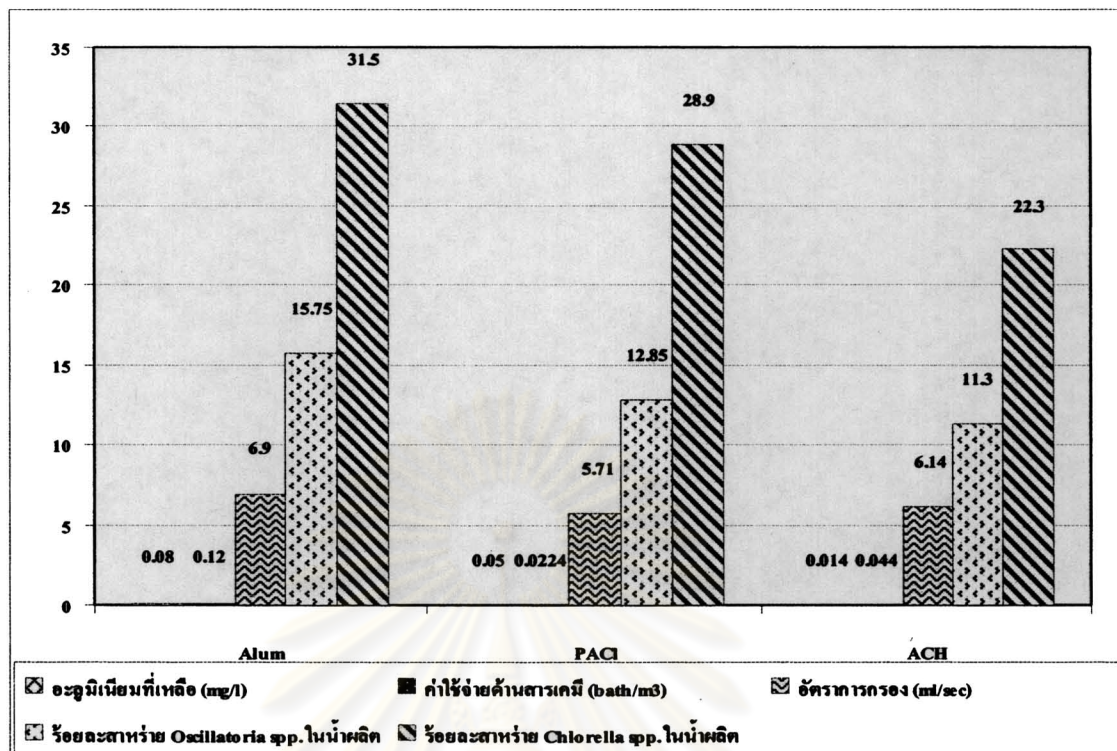
จากผลการทดลองการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบจากคลองประปาด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.28

ตารางที่ 4.16 ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบ

สารสร้าง ตะกอน	โพลิเมอร์	สาหร่าย (ยูนิต/100มล.)		ร้อยละ การกำจัด สาหร่าย	อะลูมิเนียม ที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	อัตราเร็วใน การกรอง (มล./วินาที)	ค่าใช้จ่าย ด้านสารเคมี (บาท/ลบ.ม.)
		น้ำดิบ	น้ำผลิต				
ACH							
2.2 มก./ล.	-	102,000	22,500	82.35	0.014	6.14	0.044
PACL							
1.6 มก./ล.	-	107,000	35,500	66.82	0.05	5.71	0.0224
Alum							
30 มก./ล.	-	110,000	35,000	68.18	0.08	6.9	0.12

หมายเหตุ	ACH	ราคา กิโลกรัมละ	20	บาท
	PACL	ราคา กิโลกรัมละ	14	บาท
	Alum	ราคา กิโลกรัมละ	4	บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.28 สรุปผลการทดลองของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดในการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของน้ำผิวดินในช่วงความขุ่นต่ำ (น้อยกว่า 50 เอ็นทียู) โดยใช้สารสร้างตะกอนต่างกัน

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของน้ำผิวดินในช่วงความขุ่นต่ำ โดยใช้สารสร้างตะกอนต่างกัน สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

1) จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต ที่ช่วงความขุ่นน้ำดิบ 37.6 – 40.6 เอ็นทียู สามารถกำจัดความขุ่นให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) โดยปริมาณการใช้สารส้มที่เหมาะสมมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 25 1.6 และ 1 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 88.54 88.9 และ 88.61 และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน พบว่าใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตตกตะกอนจะมีปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และสารส้ม เท่ากับ 0.066 0.094 และ 0.11 มก./ล. ตามลำดับ

2) การใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดร่วมกับสารช่วยสร้างตะกอน คือโพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ประจุบวก ที่ความขุ่นน้ำดิบ 30.9 – 33.3 เอ็นทียู พบว่า สามารถกำจัดความขุ่นให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) โดยเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้น 20 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวก 0.01 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.36 และ 85.15 ส่วนเมื่อใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตความเข้มข้น 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวก 0.01 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.27 และ 85.83 และเมื่อใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.8 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวก 0.01 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.57 และ 85.81 ตามลำดับ ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน พบว่า การใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์จะมีปริมาณอะลูมิเนียมเหลือในน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตร่วมกับโพลีเมอร์ และสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์

3) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวทั้ง 3 ชนิด ที่ความขุ่นน้ำดิบ 37.6 – 40.6 เอ็นทียู พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคิดเป็น 0.014 บาท/ลบ.ม. รองลงมาเป็นอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตคิดเป็น 0.032 บาท/ลบ.ม. และสารส้มคิดเป็น 0.1 บาท/ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ที่ความขุ่นน้ำดิบ 30.9 – 33.3 เอ็นทียู



พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวกคิดเป็น 0.0123 และ 0.0137 บาท/ลบ.ม. อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวกคิดเป็น 0.0291 และ 0.0305 บาท/ลบ.ม. และสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวกคิดเป็น 0.0811 และ 0.0825 บาท/ลบ.ม.

จากผลการทดลองโดยรวมแล้วการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าการใช้สารส้ม โดยพิจารณาจากปริมาณสารสร้างตะกอน ค่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอน ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน และค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

### 5.1.2 การศึกษาชนิดของสารสร้างตะกอน และปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำ

ในการศึกษาชนิดของสารสร้างตะกอน และปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำ สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

1) จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ช่วงความขุ่นน้ำดิบ 39.6 – 41.9 เอ็นทียู พบว่าอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารส้มและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 77.94 68.18 และ 66.82 ตามลำดับ โดยปริมาณการใช้ที่ความเข้มข้นเหมาะสมเท่ากับ 2.2 30 และ 1.6 มก./ล. และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน พบว่าใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ตกตะกอนจะมีปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และสารส้ม เท่ากับ 0.014 0.05 และ 0.08 มก./ล. ตามลำดับ

2) การใช้สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดร่วมกับโพลีเมอร์ที่ความขุ่นน้ำดิบ 30.4 – 33 เอ็นทียู พบว่า เมื่อใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายเท่ากับร้อยละ 82.35 และเมื่อใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก มีค่าเท่ากับร้อยละ 72.73 และ 69.16 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 2.0 25 และ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.01 มก./ล. และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน พบว่าการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์มีปริมาณอะลูมิเนียมเหลือในน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์และสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ มีค่าเท่ากับ 0.019 0.075 และ 0.091 มก./ล. ตามลำดับ

3) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวทั้ง 3 ชนิด ที่ความขุ่นน้ำดิบ 39.6 – 41.9 เอ็นทียู พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคิดเป็น 0.0224 บาท/ลบ.ม.

รองลงมาเป็นอะลูมิเนียมคลอไรด์ครีคเป็น 0.044 บาท/ลบ.ม. และสารส้มครีคเป็น 0.12 บาท/ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายหลังตกตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ที่ความขุ่นน้ำดิบ 30.4 – 33 เอ็นทียู พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกครีคเป็น 0.0221 บาท/ลบ.ม. อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกครีคเป็น 0.0425 บาท/ลบ.ม. และสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบครีคเป็น 0.1011 บาท/ลบ.ม.

จากผลการทดลองการใช้สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน นอกจากจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นแล้วยังสามารถกำจัดสาหร่ายได้ โดยอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและสูงกว่าการใช้สารส้มทั้งในการกำจัดความขุ่นและสาหร่าย โดยพิจารณาจากปริมาณสารสร้างตะกอน ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน และค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี ซึ่งอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายในน้ำ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายในน้ำดิบจากคลองประปา โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดเพียงอย่างเดียว และใช้ร่วมกับสารช่วยสร้างตะกอน พบว่าข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ คาดว่าจะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปดังนี้

1. ศึกษาการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี สำหรับแหล่งน้ำดิบอื่นๆ ได้แก่ น้ำจากอ่างเก็บน้ำ
2. กรณีที่น้ำมีสารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น สี ไขมัน โลหะหนัก เป็นต้น ศึกษาการกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านี้ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี
3. ในการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบจากคลองประปา ซึ่งจะมีปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ควรกำจัดสาหร่ายในน้ำด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- การประปานครหลวง. 2552. คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล ประจำปีงบประมาณ 2552. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [www.mwa.co.th](http://www.mwa.co.th) [20 กุมภาพันธ์ 2552]
- การประปานครหลวง. 2552. น้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา: แม่น้ำเจ้าพระยา[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.mwa.co.th/quality.html> [9 กรกฎาคม 2552]
- ขจรเกียรติ แซ่ตัน. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย[ออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.fishtech.mju.ac.th/FishNew1OSSfiles7CnmxorMon34436.pdf> [14 มีนาคม 2552]
- คณิต ม่วงศิริ. 2538. ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ กาญจนิดา ครอบธรรมชาติ. 2535. การใช้ฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงช้อม. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิศารัตน์ ทิพย์คารา. 2546. ผลของการใช้สารส้มต่อสภาพความขุ่นของน้ำจากบ่อไร่นา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์. สาขาวิชาทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มันสิน ดัชนีกุลเวศม์. 2532. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ดัชนีกุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ดัชนีกุลเวศม์. 2542ก. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. 2548. สาหร่ายน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย, อาคารสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 362 น.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. 2549. สาหร่ายวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. ห้องปฏิบัติการวิจัยสาหร่ายประยุกต์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 546 น.
- รพีพรรณ ชงขอด. 2550. การลดความขุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (Scylla olivacea) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์. สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน. 2540. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำดิบจากแหล่งธรรมชาติที่มีความขุ่นสูงและตกตะกอนยากมาผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิโรจน์ ทรัพย์ศักดิ์. การศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมหมาย แคล้วคล่อง และ ธนาวุธ ไวกำปา. 2546. การวิเคราะห์หาปริมาณความขุ่น ความกระด้าง เหล็ก ทองแดง และตะกั่วในน้ำแข็งหลอดและน้ำที่ใช้ผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏมหาสารคาม.
- สุกัญญา อรุณสง. 2549. ความแตกต่างระหว่างน้ำบาดาล น้ำผิวดิน และน้ำประปา. [ออนไลน์]. วิชาการน้ำรู้ เล่าสู่กันฟัง แหล่งที่มา : <http://www.dgr.go.th/water2006/technique18.html> [2552, กุมภาพันธ์ 10]
- อัครวิทย์ พุ่มไพศาลชัย. 2548. การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำและน้ำไม่ขุ่นในอ่างเก็บน้ำโดยโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัญชฎิ กัดกภิบาล. 2543. การกำจัดความขุ่นในระบบกรองลงโดยใช้ชั้นตัวกลางพลาสติกลอยในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อารยา รานอก. 2549. การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียซีโอไลต์โดยการตกตะกอนทางเคมีและโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- โอภาส แสงทองประกาย. 2546. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการสร้างตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

### ภาษาอังกฤษ

- Agrilar, M.I. and Saez, J. 2004. Improvement-flocculation process using anionic polycrylamide as coagulant aid. [n.p] : University of Murcia Campus.
- Amirtharajah, A. and Mills, K.M. 1981. Rapid Mix Desigh for Mechanism of Alum Coagulation. J.Am.Wat.Wks.Ass : 210-216

- AWWA. 1970. Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies. 3d ed., Washington D.C. : McGraw-Hill Book Company : 654
- Bachand, P., Trejo, G.J., Darby, J. and Reuter, J. 2006. Small-scale studies on Low Intensity Chemical Dosing (LICD) for treatment of highway runoff. Caltrans LICD Final Report V1.0 TO13
- Benefield, L.D., Judkins, J.F. and Weand, B.L. 1982. Process chemistry for water and wastewater treatment, Prentice-Hill, Inc., New Jersey.
- Bold, H.C. and Wynne, M.J. 1985. Introduction to the Algae: Structure and Reproduction. Prentice-Hill, Inc., Engle Wood Cliffs, New Jersey.
- Bratby, J. 1980. Coagulation and Flocculation. England : Upland press.
- Committee Report. 1974. State of the art of coagulation. J.Am.Wat.Wks.Ass : 99-108
- Costello, J.J. 1984. Postprecipitation in distribution system. J.Am.Wat.Wks.Ass. 76(11) : 46-49
- Dempsey, B.A. Polyaluminium chloride and alum coagulation of clay fulvic acid suspensions. J. Amer. Wat. Works Assoc. 77 (March 1985) : 74-80
- Kaeding, U.W. 1992. Adirect comparision between aluminium sulphate and Polyaluminium chloride as coagulation in a water treatment plant. J.Wat.Supply 10(4) : 119-132
- Kawamura, S. Consideration on Improving Flocculation. J. Amer. Wat. Works Assoc. 65 (June 1976) : 417-423.
- Kawamura, S. and Trussell, R.R. Main features of large water treatment plants in Japan. J. Amer. Wat. Works Assoc. 83 (June 1991) : 56-62.
- Linqvist, N., Korhonen, S., Jokela, J. and Tuhkanen, T. 2002. Comparison of Iron and Aluminum Based Coagulants and Polymeric Flocculant Aids to Enhance NOM Removal. In Hermann, H. H., Hoffmann, E. and Odegaard, H. (eds.), Chemical Water and Wastewater Treatment VII, pp.134-142. London: IWA Publishing.
- Marhaba, T.F., Van, D. and Lippincott, R.E. 2000. Change in NOM Fractionation through Treatment : A Comparison of Ozonation and Chlorination. Ozone science & Engineering. 22 : 249-266.
- Nilsson, R. Residual aluminium concentration in drinking water after treatment with aluminium of iron salts or apatite health aspects. J. Wat. Supply. 10 (April 1992) : 55-64.
- O'Melia, C.R. 1972. coagulation and flocculation. Physicochemical process for water quality control. New York : W.W Weber Wiley Interscience.

- Packham, R.F. and Ratnayaka, D.D. Water clarification with aluminium coagulants in the UK. *J. Wat. Supply.* 10 (April 1992) : 35-48.
- Palmer, C.M. 1962. *Algae in Water Supplies.* Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Ohio.
- Povillot, M. and Suty, H. High-basicity polymeric aluminium salts for drinking water production. *J. Wat. Supply.* 10 (1992) : 133-154.
- Round, F.E. 1973. *The Biology of the Algae.* Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.
- Simpson, A.M., Hatton, W. and Brockbank, M. Aluminium its use and control in potable water. *J. Envic. Tech. Left.* 9 (September 1988) : 907-916
- Tran, T., Gray, S., Naughton, R. and Bolto, B. 2006. Polysilicato-iron for improved NOM removal and membrane performance. *Journal of Membrane Science.* 280 : 560-571
- Viraraghavan, T. and Wimmer, C.H. 1992. Polyaluminium Chloride as Alternative to Alum Coagulation – A Case Study. *Aqua.* 6 : 316-321
- Wetzel, R.E. 1983. *Limnology.* Philadelphia, New Delhi : Saunders College Publishing.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก  
ผลการทดลองกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ก-1 ผลการทำอาร์เทสค์น้ำดิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	ทีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 9 พ.ย. 2552	40.6	7.37	85.6	216	0.015	
ความเข้มข้นสารส้ม						
พารามิเตอร์	20	25	30	35	40	45
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.05	4.51	2.91	1.96	1.72	1.57
ทีเอช	7.18	7.16	7.1	7.1	7.11	7.13
ความเป็นค่า่ง	77.6	74.8	72.4	70.4	69.2	68.8
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่น ไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 25 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	ทีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 9 พ.ย. 2552	38	7.34	87	221	0.015	
ความเข้มข้นสารส้ม						
พารามิเตอร์	20	25	30	35	40	45
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.2	4.5	2.6	1.9	1.5	1.1
ทีเอช	7.1	7.06	7.02	6.96	6.93	6.88
ความเป็นค่า่ง	78	76	74	72	70	68
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.126	0.11	0.129	0.113	0.074	0.065

สรุป เลือกความขุ่น ไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 25 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	ทีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	39.3	7.36	86.3	218.5	0.015	
ความเข้มข้นสารส้ม						
พารามิเตอร์	20	25	30	35	40	45
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.13	4.51	2.76	1.93	1.61	1.34
ทีเอช	7.14	7.11	7.06	7.03	7.02	7.01
ความเป็นค่า่ง	77.8	75.4	73.2	71.2	69.6	68.4
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.126	0.11	0.129	0.113	0.074	0.065

สรุป เลือกความขุ่น ไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 25 มก./ล.

ตารางที่ ก-2 ผลการทำจาร์เทศน้ำดิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม  
ร่วมกับสารส้ม 20 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 10 ก.พ. 2553	32.9	7.37	106.6	346	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.14	4.87	4.98	5.03	4.71	6.05
พีเอช	7.34	7.34	7.33	7.35	7.35	7.36
ความเป็นค่า่ง	99.6	98	98.6	98.8	98.4	99.8
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่น ไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 10 ก.พ. 2553	32.4	7.35	107.2	346	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.18	4.69	4.67	4.95	4.53	6.07
พีเอช	7.33	7.34	7.33	7.32	7.32	7.3
ความเป็นค่า่ง	96.4	97.6	97	97.2	97.2	100.2
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.079	0.082	0.073	0.080	0.072	0.071

สรุป เลือกความขุ่น ไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	32.65	7.36	106.9	346	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.16	4.78	4.83	4.99	4.62	6.06
พีเอช	7.34	7.34	7.33	7.34	7.34	7.33
ความเป็นค่า่ง	98	97.8	97.8	98	97.8	100
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.079	0.082	0.073	0.080	0.072	0.071

สรุป เลือกความขุ่น ไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

ตารางที่ ก-3 ผลการทำจาร์ทดสอบน้ำคิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม  
ร่วมกับสารส้ม 20 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 15 ก.พ. 2553	31.7	7.5	106.4	337	0.003	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.25	4.73	4.41	4.29	4.17	4.33
พีเอช	7.36	7.35	7.34	7.34	7.31	7.3
ความเป็นค่า่ง	95.6	96.6	95	95.2	96.2	96.4
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 15 ก.พ. 2553	32.4	7.49	106	338	0.003	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.22	4.79	4.01	4.34	3.76	4.46
พีเอช	7.33	7.32	7.31	7.29	7.27	7.27
ความเป็นค่า่ง	95	96.2	95	95.6	93.8	97
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.079	0.084	0.077	0.088	0.080	0.083

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	32.05	7.50	106.2	337.5	0.003	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.24	4.76	4.21	4.31	3.97	4.40
พีเอช	7.35	7.34	7.33	7.32	7.29	7.29
ความเป็นค่า่ง	95.3	96.4	95	95.4	95	96.7
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.079	0.084	0.077	0.088	0.080	0.083

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

ตารางที่ ก-4 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่  
เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 10 พ.ย. 2552	40.3	7.39	88.4	218	0.02	
ความเข้มข้นโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์						
พารามิเตอร์	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)	8.81	5.25	4.47	3.61	3.55	3.13
พีเอช	7.47	7.46	7.42	7.43	7.43	7.41
ความเป็นด่าง	83	83	83.8	83.4	83.6	82.6
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 10 พ.ย. 2552	37.6	7.32	88.4	221	0.02	
ความเข้มข้นโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์						
พารามิเตอร์	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)	8.9	5.33	4.4	3.75	3.57	3.23
พีเอช	7.34	7.33	7.3	7.28	7.25	7.17
ความเป็นด่าง	85.6	85.6	86	84.8	84.4	83
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.095	0.091	0.094	0.079	0.042	0.053

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	38.95	7.36	88.4	219.5	0.02	
ความเข้มข้นโพธิอะลูมิเนียมคลอไรด์						
พารามิเตอร์	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)	8.86	5.29	4.44	3.68	3.56	3.18
พีเอช	7.41	7.40	7.36	7.36	7.34	7.29
ความเป็นด่าง	84.3	84.3	84.9	84.1	84	82.8
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.095	0.091	0.094	0.079	0.042	0.053

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.0 มก./ล.

ตารางที่ ก-5 ผลการทำจาร์เทศค้ำน้ำคิบคดองประปาเพื่อหาปริมาณ โพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสม  
ร่วมกับ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 12 ก.พ. 2553	31.1	7.55	107.8	334	0.004	
ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.48	4.79	5.06	4.63	4.88	5.66
พีเอช	7.63	7.61	7.61	7.59	7.58	7.59
ความเป็นค้ำ	107.6	103	104	103.4	103.4	103.8
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 12 ก.พ. 2553	32.1	7.5	107.6	336	0.004	
ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.63	4.33	4.78	4.47	4.59	5.00
พีเอช	7.62	7.61	7.58	7.58	7.57	7.55
ความเป็นค้ำ	104.6	104.4	104	103.6	104.6	106.6
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.015	0.014	0.014	0.016	0.014	0.013

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	31.60	7.53	107.7	335	0.004	
ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.56	4.56	4.92	4.55	4.74	5.33
พีเอช	7.63	7.61	7.60	7.59	7.58	7.57
ความเป็นค้ำ	106.1	103.7	104	103.5	104	105.2
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.015	0.014	0.014	0.016	0.014	0.013

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

ตารางที่ ก-6 ผลการทำอาร์เทสค์น้ำคิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสม  
ร่วมกับ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.8 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 12 ก.พ. 2553	33.3	7.56	110.4	355	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.41	4.53	5.48	4.73	4.71	5.16
พีเอช	7.59	7.57	7.55	7.55	7.54	7.47
ความเป็นค่า่ง	104	103	103	105.8	103.6	101.6
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 12 ก.พ. 2553	32.6	7.48	109.2	361	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.55	4.82	5.09	4.85	4.68	5.1
พีเอช	7.64	7.59	7.57	7.57	7.56	7.55
ความเป็นค่า่ง	104	104.4	103.4	103.6	101.4	104.2
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.015	0.013	0.013	0.011	0.013	0.012

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	32.95	7.52	109.8	358	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.48	4.68	5.29	4.79	4.70	5.13
พีเอช	7.62	7.58	7.56	7.56	7.55	7.51
ความเป็นค่า่ง	104	103.7	103.2	104.7	102.5	102.9
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.015	0.013	0.013	0.011	0.013	0.012

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

ตารางที่ ก-7 ผลการทำจาร์เทศน้ำดิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่  
เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 11 พ.ย. 2552	37.7	7.37	89.2	223	0.022	
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์						
พารามิเตอร์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)	9.79	7.94	5.98	4.28	3.65	3.8
พีเอช	7.37	7.34	7.28	7.27	7.23	7.2
ความเป็นค่า่ง	85.2	84.6	82.8	81.8	82.8	81.4
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 11 พ.ย. 2552	38	7.35	86.6	221	0.022	
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์						
พารามิเตอร์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)	9.12	7.23	5.5	4.12	3.95	3.83
พีเอช	7.28	7.27	7.25	7.25	7.26	7.27
ความเป็นค่า่ง	84.6	84	82.4	81.4	81.6	81.6
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.068	0.068	0.060	0.066	0.058	0.052

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	37.85	7.36	87.9	222	0.022	
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์						
พารามิเตอร์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2
ความขุ่น (เอ็นทียู)	9.46	7.59	5.74	4.20	3.80	3.82
พีเอช	7.33	7.31	7.27	7.26	7.25	7.24
ความเป็นค่า่ง	84.9	84.3	82.6	81.6	82.2	81.5
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.068	0.068	0.060	0.066	0.058	0.052

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล.

ตารางที่ ก-8 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณ โพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมร่วมกับอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.4 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 11 ก.พ. 2553	31.2	7.39	108.2	340	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.8	4.87	4.7	4.89	4.45	4.82
พีเอช	7.56	7.55	7.54	7.54	7.55	7.47
ความเป็นค่า	100	99.6	101	100.4	98.4	99.6
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 11 ก.พ. 2553	30.9	7.44	108.8	349	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.2	4.28	4.58	4.5	4.3	4.8
พีเอช	7.49	7.45	7.46	7.49	7.49	7.49
ความเป็นค่า	100.8	100.4	101.2	101	99.6	102
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.033	0.034	0.034	0.036	0.033	0.035

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค่า	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	31.05	7.42	108.5	344.5	0.004	
ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.50	4.58	4.64	4.70	4.38	4.81
พีเอช	7.53	7.50	7.50	7.52	7.52	7.48
ความเป็นค่า	100.4	100	101.1	100.7	99	100.8
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.033	0.034	0.034	0.036	0.033	0.035

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.



ตารางที่ ก-9 ผลการทำจาร์เทศค้ำน้ำคิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณ โพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมร่วมกับอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต 1.4 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 11 ก.พ. 2553	32.2	7.45	109	358	0.004	
ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.41	4.5	4.69	4.9	4.23	4.93
พีเอช	7.4	7.4	7.41	7.42	7.39	7.38
ความเป็นค้ำ	103	103.4	101.6	102.8	102.4	101.6
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 11 ก.พ. 2553	32	7.43	108.4	342	0.004	
ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.51	4.6	4.62	4.51	4.73	4.93
พีเอช	7.42	7.41	7.4	7.4	7.39	7.36
ความเป็นค้ำ	99.6	99	102	99.8	100.2	98.8
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.033	0.031	0.031	0.036	0.029	0.031

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	32.10	7.44	108.7	350	0.004	
ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุบวก						
พารามิเตอร์	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.46	4.55	4.66	4.71	4.48	4.93
พีเอช	7.41	7.41	7.41	7.41	7.39	7.37
ความเป็นค้ำ	101.3	101.2	101.8	101.3	101.3	100.2
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.033	0.031	0.031	0.036	0.029	0.031

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.



ภาคผนวก ข  
ผลการทดลองกำจัดสาหร่ายน้ำดิบจากคลองประปา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-10 ผลการทำอาร์เทสค์น้ำดิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสารส้ม	
วันที่ 3 ธ.ค. 2552	39.6	7.19	105.6	302	0.007	1100	
ความเข้มข้นสารส้ม							
พารามิเตอร์		20	25	30	35	40	45
ความขุ่น (เอ็นทียู)		11.00	6.82	4.68	3.55	2.55	2.36
พีเอช		7.19	7.14	7.11	7.08	7.07	7.05
ความเป็นค่า่ง		95.4	93.4	91.6	89.6	86.4	85.4
ปริมาณสารส้ม (ยูนิต/100 มล.)		-	490	360	220	-	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสารส้ม	
วันที่ 3 ธ.ค. 2552	40.6	7.19	104	302	0.007	1100	
ความเข้มข้นสารส้ม							
พารามิเตอร์		20	25	30	35	40	45
ความขุ่น (เอ็นทียู)		12.7	6.95	4.85	3.47	2.64	2.46
พีเอช		7.23	7.15	7.13	7.11	7.09	7.08
ความเป็นค่า่ง		96.4	94.6	92	89.6	89	88.4
ปริมาณสารส้ม (ยูนิต/100 มล.)		-	520	340	200	-	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		0.092	0.088	0.080	0.073	0.071	0.066

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นค่า่ง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสารส้ม	
	40.1	7.19	104.8	302	0.007	1100	
ความเข้มข้นสารส้ม							
พารามิเตอร์		20	25	30	35	40	45
ความขุ่น (เอ็นทียู)		11.85	6.89	4.77	3.51	2.60	2.41
พีเอช		7.21	7.15	7.12	7.10	7.08	7.07
ความเป็นค่า่ง		95.9	94	91.8	89.6	87.7	86.9
ปริมาณสารส้ม (ยูนิต/100 มล.)		-	505	350	210	-	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		0.092	0.088	0.080	0.073	0.071	0.066

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล.

ตารางที่ ข-11 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำดิบก่อนตกตะกอนด้วยสารส้ม

ตัวอย่าง น้ำดิบ (Alum) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 39.6  
 พีเอช 7.19 ความเป็นค่าง 105.6 ความนำไฟฟ้า 302  
 อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.007 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	47	47000	
2	Oscillatoria	25	25000	
3	Chroococcus	4	4000	
4	Crucigenia	4	4000	
5	Treubaria	3	3000	
6	Nitzchia	3	3000	
7	Closterium	2	2000	
8	Oocystis	2	2000	
9	Ankistrodesmus	2	2000	
10	Scenedesmus	1	1000	
11	Sphaerocystis	1	1000	
12	Coelastrum	2	2000	
13	Cyclotella	2	2000	
14	Mougeotia	6	6000	
15	Cyanosarcina	2	2000	
16	Merismopedia	1	1000	
17	Melosira	2	2000	
18	Errerella	1	1000	
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	110	110000	

ตารางที่ ข-12 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 25 มก./ล.  
ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง Alum 25 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 6.82  
พีเอช 7.14 ความเป็นค่าง 93.4 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	15	15000	
2	Oscillatoria	10	10000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	4	4000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Ankistrodesmus	2	2000	
10	Scenedesmus	2	2000	
11	Sphaerocystis	1	1000	
12	Coelastrum	1	1000	
13	Synechococcus	3	3000	
14	Selenastrum	2	2000	
15	Micractinum	1	1000	
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	49	49000	

ตารางที่ ข-13 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 25 มก./ล.  
ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง Alum 25 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 6.95  
พีเอช 7.15 ความเป็นค่าง 94.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.088 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	19	19000	
2	Oscillatoria	8	8000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	3	3000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Closterium	2	2000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Ankistrodesmus	2	2000	
10	Scenedesmus	2	2000	
11	Sphaerocystis	1	1000	
12	Monoraphidium	1	1000	
13	Synechococcus	1	1000	
14	Mougeotia	1	1000	
15	Cyclotella	2	2000	
16	Crucigeniella	1	1000	
17	Attheya	1	1000	
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	52	52000	

ตารางที่ ข-14 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 30 มก./ล.  
ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง Alum 30 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.68  
พีเอช 7.11 ความเป็นด่าง 91.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	11	11000	
2	Oscillatoria	5	5000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	4	4000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Scenedesmus	2	2000	
10	Sphaerocystis	1	1000	
11	Monoraphidium	2	2000	
12	Synechococcus	2	2000	
13	Selenastrum	1	1000	
14	Actinastrum	1	1000	
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	36	36000	

ตารางที่ ข-15 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 30 มก./ล.  
ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง Alum 30 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.85  
พีเอช 7.13 ความเป็นด่าง 92 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.080 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	11	11000	
2	Oscillatoria	6	6000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	3	3000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Oocystis	1	1000	
8	Ankistrodesmus	1	1000	
9	Scenedesmus	1	1000	
10	Synechococcus	2	2000	
11	Mougeotia	1	1000	
12	Chlamydomonad	1	1000	
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	34	34000	



ตารางที่ ข-16 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 35 มก./ล.  
ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง Alum 35 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 3.55  
พีเอช 7.08 ความเป็นด่าง 89.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	6	6000	
2	Oscillatoria	3	3000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	1	1000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Closterium	2	2000	
7	Ankistrodesmus	1	1000	
8	Scenedesmus	2	2000	
9	Synechococcus	2	2000	
10	Selenastrum	1	1000	
11	Monoraphidium	1	1000	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	22	22000	

ตารางที่ ข-17 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 35 มก./ล.  
ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง Alum 35 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 3 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 3.47  
พีเอช 7.11 ความเป็นด่าง 89.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.073 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	4	4000	
2	Oscillatoria	4	4000	
3	Chroococcus	1	1000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Oocystis	2	2000	
7	Ankistrodesmus	1	1000	
8	Scenedesmus	1	1000	
9	Synechococcus	1	1000	
10	Nitzchia	1	1000	
11	Monoraphidium	1	1000	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	20	20000	

ตารางที่ ข-18 ตารางเฉลี่ยปริมาณสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตและร้อยละการกำจัดสาหร่ายในน้ำผลิตของสารส้ม

ชนิดของสาหร่าย	น้ำดิบ (ชนิด/ 100 มล.)	สารสร้างตะกอน						หมายเหตุ
		สารส้ม 25 mg/l		สารส้ม 30 mg/l		สารส้ม 35 mg/l		
		น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	
Chlorella	47000	17000	63.83	11000	76.60	5000	89.36	
Oscillatoria	25000	9000	64	5500	78	3500	86	
Mougeotia	6000	500	91.67	500	91.67	-	100	
Chroococcus	4000	3000	25	3000	25	1500	62.5	
Crucigenia	4000	3000	25	3500	12.5	1500	62.5	
Treubaria	3000	2500	16.67	1500	50	1500	50	
Nitzchia	3000	1500	50	1500	50	500	83.33	
Closterium	2000	1500	25	500	75	1000	50	
Oocystis	2000	1000	50	1000	50	1000	50	
Ankistrodesmus	2000	2000	0	500	75	1000	50	
Coelastrum	2000	500	75	-	100	-	100	
Cyclotella	2000	1000	50	-	100	-	100	
Cyanosarcina	2000	-	100	-	100	-	100	
Melosira	2000	-	100	-	100	-	100	
Scenedesmus	1000	2000	-100	1500	-50	1500	-50	
Sphaerocystis	1000	1000	0	500	50	-	100	
Merismopedia	1000	-	100	-	100	-	100	
Errerella	1000	-	100	-	100	-	100	
Synechococcus	-	2000	-	2000	-	1500	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Selenastrum	-	1000	-	500	-	500	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Micractinum	-	500	-	-	-	1000	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Crucigeniella	-	500	-	-	-	-	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Monoraphidium	-	500	-	1000	-	-	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Attheya	-	500	-	-	-	-	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Actinastrum	-	-	-	500	-	-	-	ไม่พบในน้ำดิบ
Chlamydomonad	-	-	-	500	-	-	-	ไม่พบในน้ำดิบ
<b>รวม</b>	<b>110000</b>	<b>50500</b>		<b>35000</b>		<b>21000</b>		

ตารางที่ ข-19 ผลการทำจาร์เทศค้ำน้ำคคองประปาเพื่อหาปริมาณ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่  
เหมาะสม

คุณภาพน้ำคค	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย	
วันที่ 9 ธ.ค. 2552	41.7	7.21	105.4	310	0.009	1070	
ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์							
พารามิเตอร์		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)		7.29	5.75	5.13	4.34	4.22	3.73
พีเอช		7.41	7.41	7.39	7.35	7.34	7.3
ความเป็นค้ำ		100.6	100.6	98.4	101	99.6	101.6
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)		-	-	490	330	250	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล.

คุณภาพน้ำคค	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย	
วันที่ 9 ธ.ค. 2552	41.2	7.22	104	310	0.009	1070	
ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์							
พารามิเตอร์		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)		6.85	5.49	5.08	4.20	4.02	3.64
พีเอช		7.6	7.58	7.57	7.52	7.49	7.46
ความเป็นค้ำ		100.8	101.6	101.8	101.6	101	100.4
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)		-	-	440	380	220	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		0.065	0.055	0.051	0.050	0.040	0.039

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคค	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นค้ำ	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย	
	41.45	7.22	104.7	310	0.009	1070	
ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์							
พารามิเตอร์		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)		7.07	5.62	5.11	4.27	4.12	3.69
พีเอช		7.51	7.50	7.48	7.44	7.42	7.38
ความเป็นค้ำ		100.7	101.1	100.1	101.3	100.3	101
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)		-	-	465	355	235	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		0.065	0.055	0.051	0.050	0.040	0.039

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 มก./ล.

ตารางที่ ข-20 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำดิบก่อนตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-คลอไรด์

ตัวอย่าง น้ำดิบ (PACI) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 41.7  
 ทีเอส 7.21 ความเป็นค่าง 105.4 ความนำไฟฟ้า 310  
 อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.009 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	40	40000	
2	Oscillatoria	33	33000	
3	Chroococcus	5	5000	
4	Crucigenia	4	4000	
5	Treubaria	3	3000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Closterium	3	3000	
8	Oocystis	2	2000	
9	Ankistrodesmus	1	1000	
10	Scenedesmus	3	3000	
11	Sphaerocystis	5	5000	
12	Micractinum	1	1000	
13	Synechococcus	3	3000	
14	Mougeotia	1	1000	
15	Chlamydomonad	1	1000	
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	107	107000	

ตารางที่ ข-21 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลิอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.4 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง PACI 1.4 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 5.13  
พีเอช 7.39 ความเป็นค่าง 98.4 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	18	18000	
2	Oscillatoria	7	7000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	3	3000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Closterium	2	2000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Scenedesmus	3	3000	
10	Sphaerocystis	2	2000	
11	Coelastrum	1	1000	
12	Synechococcus	2	2000	
13	Selenastrum	1	1000	
14	Micractinum	1	1000	
15	Merismopedia	1	1000	
16	Botryococcus	1	1000	
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	49	49000	

ตารางที่ ข-22 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.4 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง PACl 1.4 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 5.08  
พีเอช 7.57 ความเป็นด่าง 101.8 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.051 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	13	13000	
2	Oscillatoria	8	8000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	3	3000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Closterium	1	1000	
8	Oocystis	2	2000	
9	Ankistrodesmus	2	2000	
10	Scenedesmus	1	1000	
11	Sphaerocystis	1	1000	
12	Coelastrum	1	1000	
13	Synechococcus	1	1000	
14	Selenastrum	1	1000	
15	Micractinum	1	1000	
16	Mougeotia	1	1000	
17	Actinastrum	1	1000	
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	44	44000	

ตารางที่ ข-23 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.6 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง PACI 1.6 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.34  
พีเอช 7.35 ความเป็นด่าง 101 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	13	13000	
2	Oscillatoria	5	5000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Ankistrodesmus	1	1000	
9	Scenedesmus	1	1000	
10	Sphaerocystis	1	1000	
11	Synechococcus	3	3000	
12	Micractinum	1	1000	
13	Cyclotella	1	1000	
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	33	33000	



ตารางที่ ข-24 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.6 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง PACI 1.6 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.20  
พีเอช 7.52 ความเป็นด่าง 101.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.050 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	7	7000	
2	Oscillatoria	4	4000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Closterium	1	1000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Ankistrodesmus	1	1000	
10	Scenedesmus	2	2000	
11	Coelastrum	1	1000	
12	Synechococcus	2	2000	
13	Selenastrum	2	2000	
14	Mougeotia	1	1000	
15	Chlamydomonad	1	1000	
16	Merismopedia	1	1000	
17	Cyclotella	2	2000	
18	Melosira	1	1000	
19	Actinastrum	1	1000	
20	Roperia	1	1000	
	รวมทั้งสิ้น	38	38000	

ตารางที่ ข-25 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.8 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง PACI 1.8 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.22  
พีเอช 7.34 ความเป็นด่าง 99.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	6	6000	
2	Oscillatoria	4	4000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Oocystis	1	1000	
8	Ankistrodesmus	1	1000	
9	Scenedesmus	1	1000	
10	Sphaerocystis	1	1000	
11	Coelastrum	1	1000	
12	Synechococcus	3	3000	
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	25	25000	

ตารางที่ ข-26 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.8 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง PACI 1.8 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 9 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.02  
พีเอช 7.49 ความเป็นด่าง 101 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.040 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	7	7000	
2	Oscillatoria	4	4000	
3	Chroococcus	1	1000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Closterium	1	1000	
7	Oocystis	1	1000	
8	Sphaerocystis	2	2000	
9	Synechococcus	1	1000	
10	Actinastrum	1	1000	
11	Cyclotella	1	1000	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	22	22000	

ตารางที่ ข-27 ตารางเฉลี่ยปริมาณสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตและร้อยละการกำจัดสาหร่ายในน้ำผลิตของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

ชนิดของสาหร่าย	น้ำดิบ (ชนิด/ 100 มล.)	สารสร้างตะกอน						หมายเหตุ
		โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.4 mg/l		โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.6 mg/l		โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.8 mg/l		
		น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	
Chlorella	40000	15500	61.25	10000	75	6500	83.75	
Oscillatoria	33000	7500	77.27	4500	86.36	4000	87.88	
Chroococcus	5000	2500	50.00	2500	50	1500	70	
Sphaerocystis	5000	1500	70	500	90	1500	70	
Crucigenia	4000	2500	37.5	2000	50	2000	50	
Treubaria	3000	2500	16.67	1500	50	1500	50	
Closterium	3000	1500	50	1000	66.67	500	83.33	
Scenedesmus	3000	2000	33.33	1500	50	500	83.33	
Synechococcus	3000	1500	50	2500	16.67	2000	33.33	
Nitzschia	2000	2000	0	1500	25	500	75	
Oocystis	2000	1500	25	500	75	1000	50	
Mougeotia	1000	500	50	500	50		100	
Ankistrodesmus	1000	1000	0	1000	0	500	50	
Micractinum	1000	1000	0	500	50		100	
Chlamydomonad	1000		100	500	50		100	
Coelastrum		1000		500		500		ไม่พบในน้ำดิบ
Selenastrum		1000		1000				ไม่พบในน้ำดิบ
Merismopedia		500		500				ไม่พบในน้ำดิบ
Actinastrum		500		500		500		ไม่พบในน้ำดิบ
Botryococcus		500						ไม่พบในน้ำดิบ
Cyclotella				1500		500		ไม่พบในน้ำดิบ
Melosira				500				ไม่พบในน้ำดิบ
Roperia				500				ไม่พบในน้ำดิบ
<b>รวม</b>	<b>107000</b>	<b>46500</b>		<b>35500</b>		<b>23500</b>		

ตารางที่ ข-28 ผลการทำจาร์เทศน้ำคิบคลองประปาเพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่  
เหมาะสม

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย	
วันที่ 16 ธ.ค. 2552	40.9	7.24	107.2	321	0.006	1020	
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์							
พารามิเตอร์		1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)		6.23	5.31	5.02	4.07	3.49	3.21
พีเอช		7.2	7.17	7.15	7.14	7.09	7.05
ความเป็นด่าง		101	100	100.4	99.2	97.6	98.2
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)		-	-	360	210	150	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		-	-	-	-	-	-

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.2 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย	
วันที่ 16 ธ.ค. 2552	41.9	7.2	110.4	337	0.006	1020	
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์							
พารามิเตอร์		1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)		5.75	5.17	5.01	4.02	3.25	2.9
พีเอช		7.17	7.15	7.14	7.13	7.12	7.08
ความเป็นด่าง		101.6	103.8	100.6	102.2	99.8	102
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)		-	-	330	240	170	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		0.012	0.014	0.014	0.016	0.017	0.018

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.2 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย	
	41.40	7.22	108.8	329	0.006	1020	
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์							
พารามิเตอร์		1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)		5.99	5.24	5.02	4.05	3.37	3.06
พีเอช		7.19	7.16	7.15	7.14	7.11	7.07
ความเป็นด่าง		101.3	101.9	100.5	100.7	98.7	100.1
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)		-	-	345	225	160	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)		0.012	0.014	0.014	0.016	0.017	0.018

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.2 มก./ล.

ตารางที่ ข-29 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำดิบก่อนตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง น้ำดิบ (ACH) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 40.9  
 ทีเอช 7.24 ความเป็นค่าง 107.2 ความนำไฟฟ้า 321  
 อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.006 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	36	36000	
2	Oscillatoria	29	29000	
3	Chroococcus	4	4000	
4	Crucigenia	5	5000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	3	3000	
7	Closterium	2	2000	
8	Oocystis	3	3000	
9	Ankistrodesmus	3	3000	
10	Scenedesmus	4	4000	
11	Sphaerocystis	4	4000	
12	Monoraphidium	1	1000	
13	Cyclotella	1	1000	
14	Chlamydomonad	1	1000	
15	Synechococcus	4	4000	
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	102	102000	

ตารางที่ ข-30 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรต 2.0 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง ACH 2.0 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 5.02  
พีเอช 7.15 ความเป็นด่าง 100.4 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	12	12000	
2	Oscillatoria	7	7000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	3	3000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Ankistrodesmus	2	2000	
9	Synechococcus	4	4000	
10	Selenastrum	1	1000	
11	Mougeotia	1	1000	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	36	36000	

ตารางที่ ข-31 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรอกไซด์ 2.0 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง ACH 2.0 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 5.01  
พีเอช 7.14 ความเป็นด่าง 100.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.014 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	10	10000	
2	Oscillatoria	5	5000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	1	1000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	2	2000	
7	Closterium	1	1000	
8	Ankistrodesmus	1	1000	
9	Scenedesmus	2	2000	
10	Sphaerocystis	1	1000	
11	Synechococcus	1	1000	
12	Selenastrum	2	2000	
13	Monoraphidium	1	1000	
14	Cosmarium	1	1000	
15	Dictyosphaerium	1	1000	
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	33	33000	



ตารางที่ ข-32 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรต 2.2 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง ACH 2.2 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.07  
พีเอช 7.14 ความเป็นด่าง 99.2 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	5	5000	
2	Oscillatoria	3	3000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	1	1000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Ankistrodesmus	1	1000	
10	Scenedesmus	1	1000	
11	Synechococcus	2	2000	
12	Selenastrum	1	1000	
13	Micractinum	1	1000	
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	21	21000	

ตารางที่ ข-33 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมนํมกลอโร-ไฮเดรต 2.2 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง ACH 2.2 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 4.02  
 พีเอช 7.13 ความเป็นด่าง 102.2 ความนำไฟฟ้า -  
 อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.016 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	5	5000	
2	Oscillatoria	2	2000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Oocystis	1	1000	
9	Ankistrodesmus	1	1000	
10	Scenedesmus	1	1000	
11	Sphaerocystis	1	1000	
12	Mougeotia	1	1000	
13	Synechococcus	1	1000	
14	Selenastrum	2	2000	
15	Micractinum	1	1000	
16	Merismopedia	1	1000	
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	24	24000	

ตารางที่ ข-34 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรต 2.4 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง ACH 2.4 mg/l (1) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 3.49  
พีเอช 7.09 ความเป็นด่าง 97.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) - Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	4	4000	
2	Oscillatoria	3	3000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	1	1000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Synechococcus	1	1000	
9	Cosmarium	1	1000	
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	15	15000	

ตารางที่ ข-35 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรต 2.4 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง ACH 2.4 mg/l (2) วันที่เก็บ วันที่ 16 ธ.ค. 2552 ความขุ่น 3.25  
พีเอช 7.12 ความเป็นด่าง 99.8 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.017 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	3	3000	
2	Oscillatoria	2	2000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	1	1000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Closterium	1	1000	
8	Ankistrodesmus	1	1000	
9	Scenedesmus	1	1000	
10	Sphaerocystis	1	1000	
11	Synechococcus	2	2000	
12	Selenastrum	1	1000	
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	17	17000	

ตารางที่ ข-36 ตารางเฉลี่ยปริมาณสาหร่ายที่เหลือในน้ำผลิตและร้อยละการกำจัดสาหร่ายในน้ำผลิตของอะลูมิเนียมคลอไรด์

ชนิดของสาหร่าย	น้ำดิบ (ชนิด/ 100 มล.)	สารสร้างตะกอน						หมายเหตุ
		อะลูมิเนียมคลอไรด์ 2.0 mg/l		อะลูมิเนียมคลอไรด์ 2.2 mg/l		อะลูมิเนียมคลอไรด์ 2.4 mg/l		
		น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	น้ำผลิต (ชนิด/100 มล.)	ร้อยละ การกำจัด	
Chlorella	36000	11000	69.44	5000	86.11	3500	90.28	
Oscillatoria	29000	6000	79.31	2500	91.38	2500	91.38	
Crucigenia	5000	2000	60	1500	70	1000	80	
Chroococcus	4000	3000	25	2000	50	2000	50	
Sphaerocystis	4000	500	87.5	500	87.5	500	87.5	
Scenedesmus	4000	1000	75	1000	75	500	87.5	
Synechococcus	4000	2500	37.5	1500	62.5	1500	62.5	
Nitzschia	3000	1500	50	1000	66.67	1000	66.67	
Oocystis	3000		100	1000	66.67		100	
Ankistrodesmus	3000	1500	50	1000	66.67	500	83.33	
Treubaria	2000	1000	50	1000	50	1000	50	
Closterium	2000	1000	50	1000	50	1000	50	
Chlamydomonad	1000		100		100		100	
Monoraphidium	1000	500	50		100		100	
Cyclotella	1000		100		100		100	
Selenastrum		1500		1500				ไม่พบในน้ำดิบ
Mougeotia		500		500				ไม่พบในน้ำดิบ
Cosmarium		500				500		ไม่พบในน้ำดิบ
Dityosphaerium		500						ไม่พบในน้ำดิบ
Micractinum				1000				ไม่พบในน้ำดิบ
Merismopedia				500				ไม่พบในน้ำดิบ
Selenastrum						500		ไม่พบในน้ำดิบ
<b>รวม</b>	<b>102000</b>	<b>34500</b>		<b>22500</b>		<b>16000</b>		

ตารางที่ ข-37 ผลการทำจาร์ทดสอบน้ำดิบคลองประปาเพื่อกำจัดสาหร่ายโดยใช้สารสร้างตะกอนต่างๆ  
ร่วมกับโพลีเมอร์

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น	พีเอช	ความเป็นด่าง	ความนำไฟฟ้า	อะลูมิเนียมในน้ำ	ปริมาณสาหร่าย
วันที่ 16 ก.พ. 53	33	7.47	102.4	341	0.004	
	สารส้ม		โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์		อะลูมิเนียมคลอไรด์	
จาร์ทดสอบ	1	2	1	2	1	2
ความเข้มข้น (มก./ล.)	25	25	1.4	1.4	2.0	2.0
โพลีเมอร์ (มก./ล.)	(-) 0.01	(-) 0.01	(+) 0.01	(+) 0.01	(+) 0.01	(+) 0.01
ความขุ่น (เอ็นทียู)	4.03	4.07	3.91	3.99	4.23	4.4
พีเอช	7.4	7.43	7.58	7.51	7.36	7.35
ความเป็นด่าง	93.6	92.6	100.4	99.4	95.4	97.6
ปริมาณสาหร่าย (ยูนิต/100 มล.)	290	310	320	340	170	190
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.074	0.075	0.018	0.020	0.090	0.091

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-38 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 25 มก./ล.  
ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.01 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง Alum + An.PE (1) วันที่เก็บ วันที่ 16 ก.พ. 2553 ความขุ่น 4.03  
พีเอช 7.4 ความเป็นด่าง 93.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.074 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	9	9000	
2	Oscillatoria	6	6000	
3	Chroococcus	2	2000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Nitzchia	2	2000	
6	Scenedesmus	2	2000	
7	Sphaerocystis	1	1000	
8	Synechococcus	3	3000	
9	Selenastrum	1	1000	
10	Actinastrum	1	1000	
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	29	29000	

ตารางที่ ข-39 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารส้ม 25 มก./ล.  
ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.01 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง Alum + An.PE (2) วันที่เก็บ วันที่ 16 ก.พ. 2553 ความขุ่น 4.07  
พีเอช 7.43 ความเป็นด่าง 92.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.075 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	8	8000	
2	Oscillatoria	4	4000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	2	2000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	4	4000	
7	Oocystis	1	1000	
8	Scenedesmus	3	3000	
9	Synechococcus	2	2000	
10	Selenastrum	1	1000	
11	Actinastrum	1	1000	
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	31	31000	



ตารางที่ ข-40 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-  
คลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง PACI + Cat.PE (1) วันที่เก็บ วันที่ 16 ก.พ. 2553 ความขุ่น 3.91  
พีเอช 7.58 ความเป็นค่าง 100.4 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.018 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	9	9000	
2	Oscillatoria	6	6000	
3	Chroococcus	4	4000	
4	Crucigenia	3	3000	
5	Treubaria	1	1000	
6	Closterium	1	1000	
7	Oocystis	1	1000	
8	Scenedesmus	1	1000	
9	Coelastrum	2	2000	
10	Synechococcus	2	2000	
11	Chlamydomonad	1	1000	
12	Monoraphidium	1	1000	
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	32	32000	

ตารางที่ ข-41 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียม-คลอไรด์ 1.4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง PACl + Cat.PE (2) วันที่เก็บ วันที่ 16 ก.พ. 2553 ความขุ่น 3.99  
พีเอช 7.51 ความเป็นค่า 99.4 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.020 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	11	11000	
2	Oscillatoria	6	6000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Crucigenia	5	5000	
5	Treubaria	2	2000	
6	Nitzchia	1	1000	
7	Ankistrodesmus	1	1000	
8	Sphaerocystis	1	1000	
9	Coelastrum	1	1000	
10	Synechococcus	1	1000	
11	Selenastrum	1	1000	
12	Chlamydomonad	1	1000	
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	34	34000	

ตารางที่ ข-42 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรต 2 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง ACH + Cat.PE (1) วันที่เก็บ วันที่ 16 ก.พ. 2553 ความขุ่น 4.23  
พีเอช 7.36 ความเป็นค่าง 95.4 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.090 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	5	5000	
2	Oscillatoria	5	5000	
3	Chroococcus	1	1000	
4	Crucigenia	1	1000	
5	Nitzchia	1	1000	
6	Scenedesmus	1	1000	
7	Synechococcus	3	3000	
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	17	17000	

ตารางที่ ข-43 ตารางบันทึกการตรวจนับสาหร่ายของน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์  
ไฮดรต 2 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง ACH + Cat.PE (2) วันที่เก็บ วันที่ 16 ก.พ. 2553 ความขุ่น 4.4  
พีเอช 7.35 ความเป็นค่า 97.6 ความนำไฟฟ้า -  
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.) 0.091 Dillution factor X 1000

	ชนิด	นับ	จำนวน	หมายเหตุ
1	Chlorella	8	8000	
2	Oscillatoria	4	4000	
3	Chroococcus	3	3000	
4	Nitzchia	2	2000	
5	Synechococcus	2	2000	
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
	รวมทั้งสิ้น	19	19000	



ภาคผนวก ค  
มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-44 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก ปี 2006)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2006 (Guideline Value)
<b>1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological Quality)</b>		
แบคทีเรียชนิด อีโคไล ( E. coli )	พบ-ไม่พบ/100 ml	ไม่พบ/100 ml
<b>2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physical and Chemical Quality)</b>		
สี ปรากฏ (Appearance color)	True color unit	15
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	5
รส และ กลิ่น (Taste and odor)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
สารหนู (Arsenic)	mg/l	0.01
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/l	0.07
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
ปรอท (Inorganic Mercury)	mg/l	0.006
เซเลเนียม (Selenium)	mg/l	0.01
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/l	1.5
คลอไรด์ (Chloride)	mg/l	250
ทองแดง (Copper)	mg/l	2
เหล็ก (Iron)	mg/l	0.3
แมงกานีส (Manganese)	mg/l	0.4
อลูมิเนียม (Aluminums)	mg/l	0.1
โซเดียม (Sodium)	mg/l	200
ซัลเฟต (Sulfate)	mg/l	250
สังกะสี (Zinc)	mg/l	3
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide)	mg/l	0.05
ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	1,000
ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO <sub>3</sub> )	mg/l	50
ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (Nitrite as NO <sub>2</sub> )	mg/l	3
คลอรีนอิสระคงเหลือ (Free residual chlorine)	mg/l	> 0.2
ไตรคลอโรเอทีน (Trichloroethene)	mg/l	0.02
เตตราคลอโรเอทีน (Tetrachloroethene)	mg/l	0.04
ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)	mg/l	0.001

ตารางที่ ก-44 (ต่อ)มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2006 (Guideline Value)
<b>3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)</b>		
อัลดรินและดีลดริน (Aldrin/Dieldrin)	µg/l *	0.03
คลอเดน (Chlordane)	µg/l	0.2
ดีดีที (DDT)	µg/l	1
สอง,สี่-ดี (2,4-D)	µg/l	30
เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlor and Heptachlor epoxide)	µg/l	0.03
เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	µg/l	1
ลินเดน (Lindane)	µg/l	2
เมททอกซิกลอร์ (Methoxychlor)	µg/l	20
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	µg/l	9
<b>4. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes sum of the ratio1)</b>		
คลอโรฟอร์ม (Chloroform , CHCl <sub>3</sub> )	mg/l	0.3
โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , CHBrCl <sub>2</sub> )	mg/l	0.06
ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , CHBr <sub>2</sub> Cl)	mg/l	0.1
โบรโมฟอร์ม (Bromoform , CHBr <sub>3</sub> )	mg/l	0.1
<b>5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)</b>		
ความแรงรวมรังสีแอลฟา (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความแรงรวมรังสีเบต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

หมายเหตุ การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้

\* 1 mg = 1,000 µg

**Recommended minimum sample numbers for faecal indicator testing in distribution systems \*\***

Population	Total number of samples per year
<b>Point sources</b>	Progressive sampling of all sources over 3 to 5 year cycles (maximum)
<b>Piped supplies</b>	
< 5000	12
5000 - 100000	12 per 5,000 head of population
> 100000 - 500000	12 per 10,000 head of population plus an additional 120 samples
> 500000	12 per 100,000 head of population plus an additional 180 samples

\*\* Parameters such as chlorine, turbidity and pH should be tested more frequently as part of operational and verification monitoring.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเกศรินทร์ วรเวชวิทยา เกิดวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2549 และ เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยพักร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย