


การจัดความชุ่มชื้นจากน้ำผิวดินด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์



นางสาวสาวิตรี ตาสุดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TURBID REMOVAL FROM SURFACE WATER BY ALUMINUM CHLOROHYDRATE



Miss Sawitri Tasutin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

สาวิตรี ตาสุดิน : การกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินด้วยอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต (TURBID REMOVAL FROM SURFACE WATER BY ALUMINUM CHLOROHYDRATE)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 131 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์และน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้สารอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate; ACH) เป็นสารตกตะกอนในการผลิตน้ำประปาด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยทดลองหาค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้น ปริมาณอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารช่วยตกตะกอน

จากการศึกษาพบว่าค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนที่เหมาะสม คือ ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ 469 วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที ค่าเกรเดียนต์ของกวนช้าที่ 112 วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที การใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตเป็นสารตกตะกอนเพียงอย่างเดียวก็สามารถกำจัดความขุ่นจากน้ำจากคลองประปาที่ความขุ่นเริ่มต้น 26.6 และ 86.65 เอ็นทียู ให้ได้ตามมาตรฐานน้ำประปา (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) ที่ความเข้มข้นเพียง 2 และ 4 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.51 - 94.73 ตามลำดับ โดยไม่ต้องปรับพีเอชของน้ำและไม่ต้องใช้โพลิเมอร์ร่วมด้วย และตะกอนหนักที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำมากเพียง 0.1 และ 3.5 มล./ล. เมื่อนำน้ำใสส่วนบนไปวิเคราะห์หาอะลูมิเนียมในน้ำพบว่ามีความต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มเท่ากับ 10 และ 20 ไมโครกรัม/ล. และมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 0.06 และ 0.12 บาทต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม.

ผลการทดลองเปรียบเทียบสารตกตะกอนชนิดต่างๆ ได้แก่ สารส้ม อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง (modified PACI) เป็นสารตกตะกอนที่ความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปา 65.5 - 86.8 เอ็นทียู พบว่าสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดความขุ่นได้ตามมาตรฐานน้ำประปา ซึ่งปริมาณการใช้สารส้มมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ที่ 35, 4 และ 1.4 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพการกำจัดขุ่นร้อยละ 94.05, 94.73 และ 93.66 ตามลำดับ ข้อดีของการใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตและโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง คือ น้ำหลังตกตะกอนมีโลหะอะลูมิเนียมเหลือต่ำมากเท่ากับ 0.02 และ 0.055 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนสารส้มพบว่ามีความเข้มข้นในน้ำสูงถึง 0.115 มก./ล.

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....สาวิตรี ตาสุดิน.....
ปีการศึกษา.....2552.....ลายมือชื่ออ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

##5087206820 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : TURBID REMOVAL / CHEMICAL COAGULATION / VELOCITY GRADIENT / ALUMINIUM CHLOROHYDRATE

SAWITRI TASUTIN : TURBID REMOVAL FROM SURFACE WATER BY ALUMINUM CHLOROHYDRATE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 131 pp.

This study was investigated for factors that affect on turbidity removal efficiency from surface water using Aluminum chlorohydrate (ACH) as coagulant. The jar test methods were performed by varying velocity gradient, initial pH, ACH dosage and type of polyelectrolyte.

The results showed that optimum velocity gradient was 469 s^{-1} for 1 minute of rapid - mixing and 112 s^{-1} for 15 minute of slow - mixing and then settle for 30 minute. For raw canal water at turbidity of 26.6 and 86.65 NTU, The optimal dosage of ACH for turbidity removal were 2 and 4 mg/L, respectively. The turbidity of produced water met drinking water quality standard at below 5 NTU and achieved high turbidity removal efficiency at 85.51% and 94.73%, respectively. Sludge volume was 0.1 and 3.5 mg/L while residual aluminium concentration in treated water was low as 10 and 20 microgram/L, respectively. The chemical cost was low as 0.06 and 0.12 baht per 1 cu.m.

For turbidity removal experiment comparison among three difference type of coagulants namely: alum, ACH and modified polyaluminium chloride (modified PACl). The result showed that all coagulant could remove turbidity for raw canal water at turbidity of 65.5 - 86.65 NTU to meet drinking water quality standard at dosage of 35, 4 and 1.4 mg/L, respectively. The removal efficiency were 94.05, 94.73 and 93.66%, respectively. Moreover, it was found that the concentration of aluminium in treated water was 0.02 and 0.055 mg/L when using ACH and modified PACl. Aluminium in alum treated water was 0.115 mg/L.

Field of Study :..Environmental Science..... Student's Signature : *Savitri Tasutin*

Academic Year :.....2009..... Advisor's Signature : *Orathai Chavalparit*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยตานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล และ ดร.ชลาทิพย์ รัตสุข ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยรวมทั้งให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการฝ่ายโรงงานผลิตน้ำสามเสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยรวมทั้งให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึงข้อคิดเห็นและแนวทางในการแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับทุกๆ ความช่วยเหลือที่มีให้จนประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การผลิตน้ำประปา.....	3
2.1.1 แหล่งน้ำดิบ	3
2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำประปา แบ่งตามองค์ประกอบหรือแหล่งน้ำ.....	8
2.1.3 การผลิตน้ำประปา.....	11
2.2 อนุภาคคอลลอยด์.....	13
2.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์.....	15
2.2.2 Electric Double Layer Theory.....	16
2.2.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์.....	18
2.3 กระบวนการตกตะกอน (Coagulation).....	19
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตัวกันตกตะกอน.....	27
2.5 พารามิเตอร์ควบคุมการกวนผสม.....	28
2.6 การเลือกใช้สารเคมีในการตกตะกอน.....	30
2.6.1 การใช้สารส้มเป็นสารตะกอน.....	30
2.6.2 การใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารตะกอน.....	33
2.6.3 การใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮดรตเป็นสารตะกอน.....	36
2.6.4 เปรียบเทียบสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด.....	38
2.6.5 สารตกตะกอนอื่นๆ.....	39

2.7 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation Aid).....	40
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
2.8.1 กระบวนการตกตะกอนโดยการใช้สารเคมี.....	42
2.8.2 พารามิเตอร์ในการกวนผสม.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	46
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	46
3.2 สารเคมี.....	46
3.3 แผนการทดลอง.....	47
3.4 การดำเนินการวิจัย.....	47
3.4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน.....	48
3.4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสนโดยใช้อะลูมินัมคลอไรด์.....	57
3.4.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปาโดยใช้สารตกตะกอนแตกต่างกัน.....	59
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	61
4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน.....	61
4.1.1 การศึกษาผลของค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวน ระยะเวลาการกวน และเวลาในการตกตะกอน.....	61
4.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน.....	64
4.1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ด้วยอะลูมินัมคลอไรด์.....	72
4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสนโดยใช้อะลูมินัมคลอไรด์.....	75
4.2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปา.....	75
4.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปาโดยใช้สารตกตะกอนแตกต่างกัน.....	84
4.3.1 การเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่น.....	84
4.3.2 ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำผลิตและตะกอนจากระบบ.....	89
4.3.3 ค่าอัตราเร็วในการกรอง.....	90
4.3.4 ค่าใช้จ่าย.....	90
4.3.5 สรุป.....	91

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	93
5.1.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน.....	93
5.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปา.....	94
5.1.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	119
ภาคผนวก ค.....	127
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	131



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล..... 5
ตารางที่ 2.2	เปรียบเทียบคุณสมบัติสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด..... 38
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน... 48
ตารางที่ 3.2	ค่ากรดเดียนท์ความเร็วที่ใช้ในการทดลอง..... 49
ตารางที่ 3.3	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำจากคลอง ประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสน..... 57
ตารางที่ 4.1	สรุปผลการกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตที่สภาวะที่เหมาะสม..... 73
ตารางที่ 4.2	การตกตะกอนน้ำดิบในช่วงฤดูแล้งด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต..... 76
ตารางที่ 4.3	การตกตะกอนน้ำดิบในช่วงฤดูฝนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต..... 77
ตารางที่ 4.4	การตกตะกอนน้ำดิบในช่วงฤดูฝนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก..... 79
ตารางที่ 4.5	คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้สารส้มกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา..... 84
ตารางที่ 4.6	คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบกำจัดความขุ่นจาก น้ำดิบคลองประปา..... 85
ตารางที่ 4.7	คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลอง ประปา..... 86
ตารางที่ 4.8	คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก กำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา..... 86
ตารางที่ 4.9	คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งกำจัดความขุ่น จากน้ำดิบคลองประปา..... 87
ตารางที่ 4.10	คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวกกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา..... 87
ตารางที่ 4.11	สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้สารตกตะกอนแต่ละประเภท..... 91

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	ค่าความขุ่นของแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดเก็บน้ำพงษ์เพชร ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2550 - มิ.ย. 2552..... 4
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา..... 11
รูปที่ 2.3	การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ..... 14
รูปที่ 2.4	ที่มาของประจุไฟฟ้าของอนุภาคดินเหนียว..... 15
รูปที่ 2.5	โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory..... 17
รูปที่ 2.6	แรงระหว่างอนุภาคทั้งสอง..... 18
รูปที่ 2.7	แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ..... 19
รูปที่ 2.8	ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์..... 20
รูปที่ 2.9	การเปรียบเทียบปริมาณ โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์..... 20
รูปที่ 2.10	กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมด้วยโพลิเมอร์..... 24
รูปที่ 2.11	เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคต่างๆ..... 25
รูปที่ 2.12	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการเกิดกระบวนการตกตะกอน..... 26
รูปที่ 2.13	แสดงแบบจำลองวิถีทางอะลูมิเนียมในน้ำ..... 32
รูปที่ 2.14	โครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PACl..... 34
รูปที่ 2.15	โครงสร้างของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์..... 36
รูปที่ 3.1	อุปกรณ์จาร์เทสต์..... 47
รูปที่ 3.2	แผนผังการทดลองหาปริมาณสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน..... 51
รูปที่ 3.3	แผนการทดลองหาพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน..... 52
รูปที่ 3.4	แผนการทดลองหาปริมาณ โพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน..... 54
รูปที่ 3.5	แผนการทดลองหาปริมาณ โพลิเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน..... 56
รูปที่ 3.6	แผนผังการทดลองตกตะกอนน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์..... 58
รูปที่ 3.7	แผนการทดลองหาปริมาณสารตกตะกอนชนิดต่างๆ..... 60

รูปที่ 4.1	ค่าความชุ่มที่เหลือเมื่อกำจัดความชุ่มด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนเร็วต่างกัน.....	62
รูปที่ 4.2	ค่าความชุ่มที่เหลือเมื่อกำจัดความชุ่มด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนช้าต่างกัน.....	63
รูปที่ 4.3	ค่าความชุ่มที่เหลือเมื่อกำจัดความชุ่มด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เวลาของการตกตะกอนต่างกัน.....	64
รูปที่ 4.4	ความชุ่มน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์	65
รูปที่ 4.5	ร้อยละการกำจัดความชุ่มน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	66
รูปที่ 4.6	พีเอชของน้ำสังเคราะห์หลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	66
รูปที่ 4.7	ผลของพีเอชเริ่มต้นในการกำจัดความชุ่มจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	68
รูปที่ 4.8	ร้อยละการกำจัดความชุ่มจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	69
รูปที่ 4.9	พีเอชของน้ำสังเคราะห์หลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	69
รูปที่ 4.10	ผลความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความชุ่มน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน.....	70
รูปที่ 4.11	ร้อยละการกำจัดความชุ่มด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก.....	71
รูปที่ 4.12	ผลความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุลบในการกำจัดความชุ่มน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน.....	71
รูปที่ 4.13	ร้อยละการกำจัดความชุ่มด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ...	72
รูปที่ 4.14	สรุปผลการทดลองการกำจัดความชุ่มจากน้ำสังเคราะห์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นต่างๆ.....	73
รูปที่ 4.15	สรุปผลการทดลองการกำจัดความชุ่มจากน้ำสังเคราะห์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	74
รูปที่ 4.16	ประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มในน้ำดิบที่มีความชุ่มเริ่มต้น 26.6 เอ็นทียู ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	75
รูปที่ 4.17	ประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มในน้ำดิบที่มีความชุ่มเริ่มต้น 86.65 เอ็นทียู ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์.....	77

รูปที่ 4.18	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบที่มีความขุ่นเริ่มต้น 61.95 เอ็นทียู ด้วย อะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก.....	78
รูปที่ 4.19	ค่าความขุ่น พีเอชและอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ที่ความขุ่นของน้ำดิบต่างกัน.....	81
รูปที่ 4.20	ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ที่ความขุ่นของน้ำดิบ 61.4 - 62.5 เอ็นทียู.....	82
รูปที่ 4.21	ค่าความขุ่นหลังตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	83
รูปที่ 4.22	สรุปผลการทดลองการกำจัดความขุ่นด้วยสารตกตะกอนชนิดต่างๆ.....	92



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการนำทรัพยากรทางธรรมชาติมาใช้เพิ่มมากขึ้น น้ำถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม และยังมีแนวโน้มการใช้เพิ่มสูงขึ้น จากข้อมูลของการประปานครหลวง ในปี พ.ศ.2549 พบว่าปริมาณการใช้น้ำประปาของภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมประมาณ 73,400 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีและยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 98,800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ในปี พ.ศ. 2553 แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญมากในการผลิตน้ำประปาแต่ปัญหาสำคัญในการนำน้ำดิบมาผลิตคือ ความขุ่นของน้ำ ซึ่งความขุ่นของแหล่งน้ำดิบในช่วงฤดูน้ำน้อยจะอยู่ในช่วง 80 – 100 เอ็นทียู ส่วนในช่วงหน้าฝนปริมาณตะกอนในน้ำจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการชะเอาเศษตะกอนลงสู่แหล่งน้ำมาด้วย ความขุ่นของน้ำจะอยู่ในช่วง 200 – 300 เอ็นทียู (การประปานครหลวง, 2551)

ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาเริ่มจากกระบวนการสูบน้ำเข้าสู่ระบบการผลิต ขั้นแรกจะทำการกรองเอาเศษตะกอนและขยะออกก่อนด้วยการผ่านตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้นและวิเคราะห์หาอัตราการใช้สารเคมี ได้แก่ คลอรีน สารส้ม ปูนขาว โซดาไฟ และสารช่วยตกตะกอน น้ำดิบจากส่วนนี้จะเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อทำการลดความขุ่น จุลินทรีย์ แบคทีเรีย สาหร่ายและสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนขึ้นไป จากนั้นน้ำจากถังตกตะกอนจะเข้าสู่ถังกรองเพื่อทำการลดความขุ่น จุลินทรีย์ แบคทีเรีย โปรโตซัวและสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน มีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคต่างๆ และเติมปูนขาวกับโซดาไฟเพื่อปรับสภาพน้ำ จากนั้นน้ำจะถูกนำไปเก็บไว้ที่ถังเก็บน้ำประปาและส่งจ่ายไปยังสถานีสูบน้ำจ่ายน้ำประปา

สำหรับการผลิตน้ำประปาในประเทศไทยจะนิยมใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน ซึ่งพบว่าการใช้สารส้มนั้นมีข้อจำกัดที่สารส้มมีสภาพเป็นกรด ทำให้พีเอชของน้ำในระบบการผลิตลดลงรวมทั้งจะไปเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำและในอากาศตะกอน อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของผู้บริโภคและปัญหาโลหะในสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรตเป็นสาร

ตกตะกอนเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของน้ำ ได้แก่ ค่าพีเอช และความขุ่นเริ่มต้นของน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ควบคุมการกวนผสม เช่น ค่าเกรเดียนท์ความเร็ว เวลาในการกวนที่เหมาะสมของการกวนเร็ว กวนช้า และเวลาในการตกตะกอนด้วยสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินโดยการตกตะกอนทางเคมี
3. เพื่อศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นและความขุ่นเริ่มต้นของน้ำที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์
4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินโดยใช้สารตกตะกอนต่างกัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาการกำจัดความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน และน้ำดิบจากคลองประปา ภายในห้องปฏิบัติการโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ด้วยวิธีจาร์เทสต์
2. สารตกตะกอนที่ใช้คือ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ สารส้ม โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง และสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด ได้แก่ โพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีเมอร์ประจุลบ
3. พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้แก่ ความขุ่น ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง ตะกอนหนัก อัตราการกรอง ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำและตะกอน
4. พารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตกตะกอน ชนิดและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ ค่าพีเอชเริ่มต้น ความขุ่นของน้ำเริ่มต้น ค่าเกรเดียนท์ความเร็วและระยะเวลาในการกวน และเวลาในการตกตะกอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการประยุกต์ใช้กำจัดความขุ่นของน้ำดิบในการผลิตน้ำประปาหรือสำหรับกระบวนการผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรมที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตน้ำประปา

2.1.1 แหล่งน้ำดิบ

ในการผลิตน้ำประปาให้ได้คุณภาพสูง แหล่งน้ำดิบเป็นสิ่งสำคัญ การเลือกแหล่งน้ำดิบที่มีความสกปรกหรือมลทินน้อยที่สุดจะทำให้สามารถผลิตน้ำประปาได้ในราคาประหยัด สำหรับแหล่งน้ำดิบในการผลิตประปามี 2 แหล่ง คือ

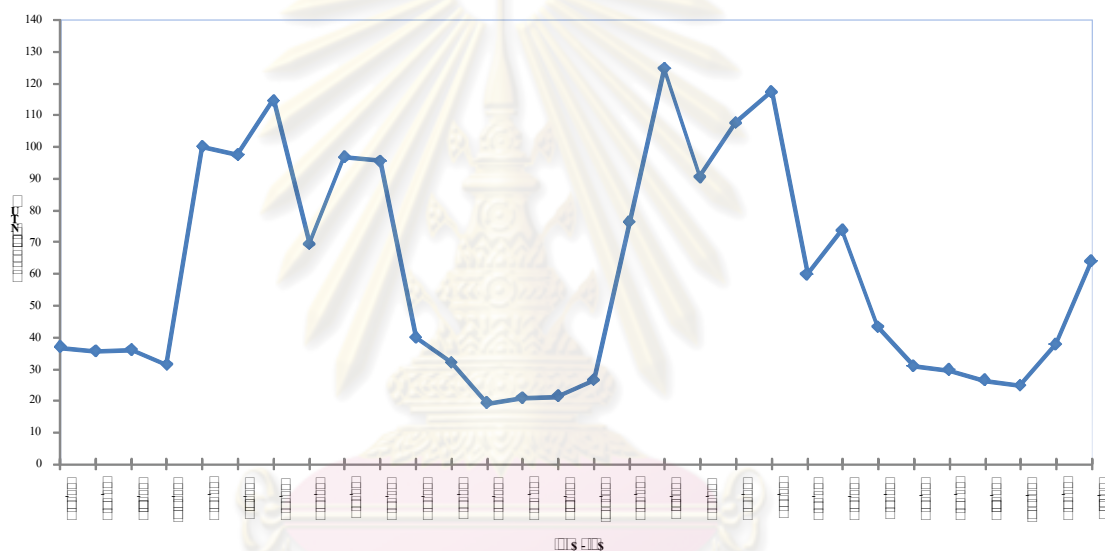
1.) น้ำผิวดิน หมายถึงน้ำจากแม่น้ำลำคลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หนองและบึง เนื่องจากน้ำผิวดินมักมีแหล่งกำเนิดจากน้ำใต้ดิน ดังนั้นลักษณะสมบัติของน้ำจึงขึ้นอยู่กับแหล่งเดิมไม่มากนัก การไหลนองบนพื้นดินทำให้น้ำผิวดินได้รับความสกปรกจากสิ่งแวดล้อม อาจมีความขุ่นและสารอินทรีย์ในระดับสูงมาก ปริมาณเกลือแร่ในน้ำอาจสูงหรือต่ำก็ได้ นอกจากนี้น้ำฝนยังชะล้างสารพิษต่างๆ จากบริเวณเกษตรกรรม สารพิษเหล่านี้ ได้แก่ โลหะหนัก ไนเตรต ฟอสฟอรัส ยาฆ่าแมลง ฯลฯ มาให้กับน้ำผิวดิน อ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบมักตั้งอยู่ในบริเวณที่ต่ำๆ ซึ่งเป็นที่สะสมน้ำผิวดินจากแหล่งต่างๆ การที่น้ำถูกขังอยู่นิ่งเป็นเวลานานๆ จึงมีปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งกายภาพ เคมี และชีวเคมีเกิดขึ้นตลอดทั้งชั้นน้ำ สารแขวนลอยเกิดการตกตะกอนและจมลงสู่ก้นอ่าง สาหร่ายเซลล์หรือจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากมีอาหารสมบูรณ์อยู่ในน้ำ การหมักแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นที่ก้นอ่างและอาจก่อผลเสียต่างๆ เช่น ทำให้เหม็นและแมงกานีสละลายกลับคืนสู่น้ำ นอกจากนี้ความลึกของอ่างเก็บน้ำทำให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำตามระดับอุณหภูมิซึ่งแตกต่างกัน และทำให้เกิดการพลิกตัว (Turnover) ของน้ำ เป็นผลให้น้ำชั้นล่างเคลื่อนที่ขึ้นข้างบนและน้ำชั้นบนจมตัวลงข้างล่าง

น้ำผิวดินถือเป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญมากในการผลิตน้ำประปาเพราะมักมีปริมาณมากกว่าแหล่งน้ำอื่น และสะดวกต่อการนำมาใช้ประโยชน์ แหล่งน้ำดิบที่การประปานครหลวงนำมาผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน ซึ่งเป็นลุ่มน้ำหลักที่ใช้เพื่อ

การบริโภคอุปโภค โดยเฉพาะสำหรับประชาชนในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และ สมุทรปราการ

สำหรับคุณภาพน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาจะพบปัญหาด้านความขุ่น ในช่วงฤดูฝน ความขุ่นของน้ำจะสูง เนื่องจากน้ำฝนจะชะล้างเอาเศษดิน เศษตะกอนลงสู่แม่น้ำ นอกจากนั้นจะพบว่าปริมาณสารอินทรีย์และสีในน้ำดิบมีค่าสูง ค่าความเป็นด่างและค่าความนำไฟฟ้าจะต่ำ ส่วนในช่วงฤดูแล้งจะพบว่าค่าความขุ่นในน้ำต่ำ ค่าความนำไฟฟ้าและปริมาณสารหยาบในน้ำดิบสูง ซึ่งน้ำตัวอย่างน้ำดิบมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำสำแล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และตารางที่

2.1



รูปที่ 2.1 ค่าความขุ่นของแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดเก็บน้ำพงษ์เพชร ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2550 - มิ.ย. 2552 (การประปานครหลวง, 2552)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล

พารามิเตอร์	หน่วย	ต.ค. 51	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	พ.ค. 52	มิ.ย. 52	มาตรฐาน น้ำผิวดิน
อุณหภูมิ	องศา เซลเซียส	30.0	29.5	25.8	24.3	25.8	30.5	31.2	32.1	30.6	-
สีจริง	แพลตินัม- โคบอลต์	23.0	19.0	18.0	16.0	10.0	8.0	2.0	7.0	13.0	-
กลิ่น		ดินเล็กน้อย	ดินเล็กน้อย	ดินแรง	ดินแรง	ดินเล็กน้อย	ดินแรง	ดินเล็กน้อย	ดินเล็กน้อย	ดินเล็กน้อย	-
ความขุ่น	เอ็นทียู	71	128	38	24	24	26	13	19	54	-
ความเป็นกรด-ด่าง		7.82	7.46	7.40	7.42	7.21	7.81	7.42	7.40	7.34	5.0-9.0
ความนำไฟฟ้า	ไมโครโมห์/ซม.	221	181	238	288	296	314	317	366	284	-
ความเป็นด่างทั้งหมด	มก./ล.	80	74	92	112	109	101	98	100	96	-
ความเป็นด่างฟีนอล์ฟทาไลน์	มก./ล.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
ปริมาณมวลสารทั้งหมด	มก./ล.	195	214	180	200	207	217	210	250	226	-
สารละลาย	มก./ล.	133	109	143	173	178	188	190	220	170	-
สารแขวนลอย	มก./ล.	62	105	37	27	29	29	20	30	56	-
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ล.	72	60	80	102	104	100	96	108	98	-
ความกระด้างชั่วคราว	มก./ล.	72	60	80	102	104	100	96	100	96	-
ความกระด้างถาวร	มก./ล.	0	0	0	0	0	0	0	8	2	-
คลอไรด์	มก./ล.	3	3	9	14	15	14	11	13	16	-
ซัลเฟต	มก./ล.	14	2	2	3	9	20	25	44	19	-
ออกซิเจน คอนซุม	มก./ล.	4.24	4.72	4.64	5.36	3.60	3.04	3.12	3.6	4.64	-

ที่มา: การประปานครหลวง, 2552

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ต.ค. 51	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	พ.ค. 52	มิ.ย. 52	มาตรฐาน น้ำผิวดิน
แอมโมเนีย อิสระ- ไนโตรเจน	มก./ล.	0.080	0.000	0.000	0.000	0.050	0.000	0.000	0.030	0.040	0.500
แอมโมเนีย อัลบูมินอย- ไนโตรเจน	มก./ล.	0.270	0.190	0.260	0.260	0.190	0.100	0.11	0.19	0.24	-
ไนเตรท- ไนโตรเจน	มก./ล.	0.260	0.240	0.320	0.360	0.370	0.470	0.456	0.357	0.57	5.0
ไนไตรท์- ไนโตรเจน	มก./ล.	0.000	0.000	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
ไนโตรเจน ทั้งหมด- ไนโตรเจน	มก./ล.	1.576	0.761	0.735	0.883	0.408	0.832	0.7909	0.7322	0.86	-
ฟอสฟอรัส ทั้งหมด	มก./ล.	0.073	0.090	0.075	0.042	0.014	0.054	0.0504	0.052	0.04	-
แคลเซียม	มก./ล.	20.8	19.2	23.2	29.6	28.8	29.6	28.8	30.4	29.60	-
เหล็ก	มก./ล.	1.51	1.50	0.86	0.50	0.39	0.47	0.18	0.44	1.16	-
ฟลูออไรด์	มก./ล.	0.18	0.18	0.30	0.27	0.26	0.20	0.23	0.28	0.27	-
แมกนีสิ	มก./ล.	0.10	0.19	0.13	0.07	0.08	0.06	0.03	0.02	0.06	1.0
แมกนีเซียม	มก./ล.	4.80	2.88	5.28	6.72	7.68	6.24	5.76	7.68	5.76	-
ปรอท	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002
อาร์เซนิก	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
ทองแดง	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	0.1
สังกะสี	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ตะกั่ว	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	0.005	-	0.05
โครเมียม	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	-	0.05
คลอไรด์	มก./ล.	-	-	-	-	-	-	-	0.00002	-	0.005
ที.โอ.ซี.	มก./ล.	4.20	3.90	6.00	5.90	4.80	3.20	3.80	3.50	5.20	-

ที่มา: การประปานครหลวง, 2552

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำดิบหน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ต.ค. 51	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	พ.ค. 52	มิ.ย. 52	มาตรฐานน้ำผิวดิน
ดี.ไอ.	มก./ล.	4.19	4.24	3.80	4.30	4.01	4.50	3.40	3.40	3.20	4.0
บี.ไอ.ดี.	มก./ล.	1.40	0.90	0.90	0.60	0.90	1.20	0.90	0.80	0.80	2.0
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN/100 มล.	400	230	17,000	1,700	1,100	3,000	11,000	8,000	17,000	20,000
ฟิโคลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN/100 มล.	200	20	3,300	200	800	3,000	2,600	2,200	17,000	4,000
สาหร่ายทั้งหมด	ยูนิต/100 มล.	1,200	800	1,100	560	160	2,900	3,200	9,760	3,840	-

ที่มา: การประปานครหลวง, 2552

ปัญหาด้านอื่นของน้ำผิวดินในการนำมาผลิตน้ำประปาได้แก่

- ปัญหาสาหร่าย เป็นปัญหาจากสภาพของอ่างเก็บน้ำของการประปาหรือแม่น้ำ มีสภาพค่อนข้างนิ่งหรือไหลเอื่อยๆ อีกทั้งในน้ำมีธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากพอ เมื่อได้รับแสงแดดจึงก่อให้เกิดสาหร่ายขึ้นได้ นับว่าเป็นปัญหาสำคัญของการผลิตน้ำประปาเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันของหน้าทรายกรองเร็วขึ้น และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นของสาหร่าย

- การปนเปื้อนในแหล่งน้ำที่นี้เกิดจากสถานะแหล่งน้ำอยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรม การเลี้ยงสุกร การเลี้ยงกุ้ง และชุมชนมีการปล่อยสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2.) น้ำบาดาล หมายถึงน้ำที่ไหลซึมลงไปได้ดินจะซึมผ่านชั้นต่างๆ ของดินจนถึงชั้นดินซึ่งซึมผ่านไม่ได้ น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำดิบที่จะต้องพิจารณาถัดจากน้ำผิวดิน น้ำบาดาลบางแห่งก็อยู่ตื้น บางแห่งก็อยู่ลึกทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศ น้ำบาดาลจะเกิดอยู่ในชั้นหินที่เป็น โชนอิมตัวด้วยน้ำ ซึ่งประกอบด้วยชั้นกรวด ทราย ชั้นหินเนื้อพรุน ในที่ว่าง รอยแตก หรือโพรงในชั้นหินอย่างใดอย่างหนึ่ง และชั้นน้ำบาดาลเหล่านี้จะรองรับด้วยหินเนื้อแน่น ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านลงไปข้างล่างอีกต่อไป อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าน้ำบาดาลจะไม่ไหลซึมลงไปข้างล่างแต่น้ำบาดาลจะมีการเคลื่อนไหวและไหลอยู่ตลอดเวลา การไหลของน้ำบาดาลมักมีทิศทางไหล

เหมือนแม่น้ำในลำธาร กล่าวคือ จะไหลไปสู่ที่ซึ่งมีระดับต่ำซึ่งมีทะเลเป็นจุดสุดท้าย ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและชั้นต่างๆ ของดินในชั้นลึกๆ ที่สามารถกักและเก็บน้ำได้

น้ำบาดาลมักมีความขุ่นต่ำ ปราศจากสีและสารอินทรีย์ ปริมาณสารละลาย (TDS) จะมีปริมาณสูง น้ำบาดาลมักไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ แต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากเกิดออกซิเดชันใต้ดิน ทำให้มีการใช้ออกซิเจนและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ เหล็กและแมงกานีสพบได้ง่ายในน้ำใต้ดิน ซึ่งอิมพัลด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาข้างบน และสัมผัสอากาศเหล็กและแมงกานีสจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในอากาศ ทำให้เกิดตกผลึกสีแดงๆ เหลืองๆ หรือสีคล้ำ การตกผลึกอาจเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ถ้าพีเอชของน้ำสูงเพียงพอ ทำให้น้ำบาดาลเมื่อแรกสูบน้ำขึ้นมาใสมากกลายเป็นน้ำขุ่น

ข้อแตกต่างระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล คือลักษณะสมบัติของน้ำผิวดินจะแปรปรวนไปตามฤดูกาลมากกว่าของน้ำใต้ดิน โดยปกติน้ำผิวดินจะมีคุณภาพต่ำในฤดูร้อนและฤดูฝน ตัวอย่างเช่น ในฤดูฝนน้ำฝนชะพาฝุ่นละอองบนพื้นดิน ไปลงในลำน้ำต่างๆ ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองมีความขุ่นสูงมาก การแปรปรวนของคุณภาพน้ำบาดาลก็มีเช่นกัน แต่ไม่มากเท่าของน้ำผิวดิน แหล่งน้ำบาดาลบางแห่งมีคุณภาพแย่ลงเนื่องจากการซึมของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล หรือผลจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้มากและเร็วเกินไป

2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำประปา แบ่งตามองค์ประกอบหรือแหล่งน้ำ (มันลิน, 2542ข)

1) การตกตะกอนทางเคมี (Coagulation) เป็นกระบวนการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก คอลลอยด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1 - 1 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถแยกตัวออกจากรน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติเนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็กเกินไป หลักการของกระบวนการตกตะกอน คือ การเติมสารสร้างตะกอน (Coagulant) ลงไปในน้ำเพื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมาก และสามารถตกตะกอนลงมาได้รวดเร็ว สารสร้างตะกอนจะทำหน้าที่เหมือนตัวประสานให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมตัวกันเป็นฟล็อก

ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการตกตะกอนมี 2 ส่วน คือ ถังกวนเร็ว และถังกวนช้า ถังกวนเร็วเป็นที่เติมสารเคมี สารเคมีและน้ำจะผสมกันทันทีอย่างรวดเร็ว ส่วนถังกวนช้าเป็นที่สำหรับกระบวนการสร้างฟล็อก (Flocculation) ที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์

เพื่อส่งไปตกตะกอนในถังตกตะกอน นอกจากนี้ยังสามารถเติมสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) เป็นสารเคมีประเภทโพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) ซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล โดยทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคหรือฟล็อก ให้เกิดเป็นฟล็อกขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนมีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ โพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) โพลิเมอร์ประจุลบ (Anionic polymer) โพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ (Nonionic polymer)

2.) การใช้เมมเบรน (Membrane processes) หมายถึงกระบวนการต่างๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Semi-Permeable Membrane) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำหรือของเหลว กระบวนการเมมเบรนที่สำคัญมี 3 แบบ คือ Electrodialysis (ED) Reverse Osmosis (RO) และ Ultrafiltration (UF) ความแตกต่างของกระบวนการทั้งสามประเภทอยู่ที่ความสามารถในการแยกสารละลายที่มีขนาดต่างๆ และแรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการแยกสารประกอบและน้ำออกจากกัน ED ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแยกสารประกอบซึ่งแตกตัวเป็นไอออนได้ออกจากน้ำแต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ ส่วน RO และ UF ใช้แรงดันในการแยกสารต่างๆ ออกจากน้ำ RO สามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ เกือบทุกชนิดออกมาได้ แต่ UF มีความสามารถดีกว่า RO เพราะสามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เท่านั้น อย่างไรก็ตาม UF มักใช้แรงดันประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือน้อยกว่า ส่วน RO มักใช้แรงดันตั้งแต่ 300 - 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

เยื่อเมมเบรนของกระบวนการทั้งสามมีหน้าที่และขีดความสามารถไม่เท่ากัน กล่าวคือ แผ่นเมมเบรน RO สร้างขึ้นเพื่อให้น้ำไหลผ่านเท่านั้นและไม่ตั้งใจให้สารอื่นๆ ไหลผ่านได้ แผ่นเมมเบรนสำหรับ UF นั้นก็ได้เฉพาะสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 500 และยอมให้สารอื่นๆ รวมทั้งน้ำไหลผ่าน แผ่นเมมเบรนสำหรับ ED มี 2 ชนิด คือแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งยอมให้เฉพาะไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันไหลผ่าน โมเลกุลของน้ำไหลผ่านยาก

ในปัจจุบันความจำเป็นที่ต้องใช้น้ำสะอาดที่มีปริมาณสารละลายต่ำและความสกปรกที่เพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำดิบทำให้กระบวนการเมมเบรนต่างๆ มีความสำคัญเพิ่มขึ้นและกลายเป็นระบบที่จำเป็น เนื่องจากระบบ RO นั้นมีขีดความสามารถกว้างกว่า UF และ ED จึงมีการนำ RO ไปใช้ในการผลิตน้ำสะอาดมากกว่าระบบเมมเบรนแบบอื่น

RO กำจัดเกลือและสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ด้วยกลไกที่แตกต่างจากระบบอื่น โดยเมมเบรนจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่าน ไอออนต่างๆ ของเกลือถูกเมมเบรนผลักดันออกไปจึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ ส่วนการกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์ออกจากน้ำจะทำโดยวิธีการคัดค้ำง (sieve) โมเลกุลขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกจากน้ำเพราะไม่สามารถลอดผ่านรูบนเมมเบรน แต่โมเลกุลขนาดเล็กสามารถลอดรูและทะลุออกไปจากเมมเบรนได้

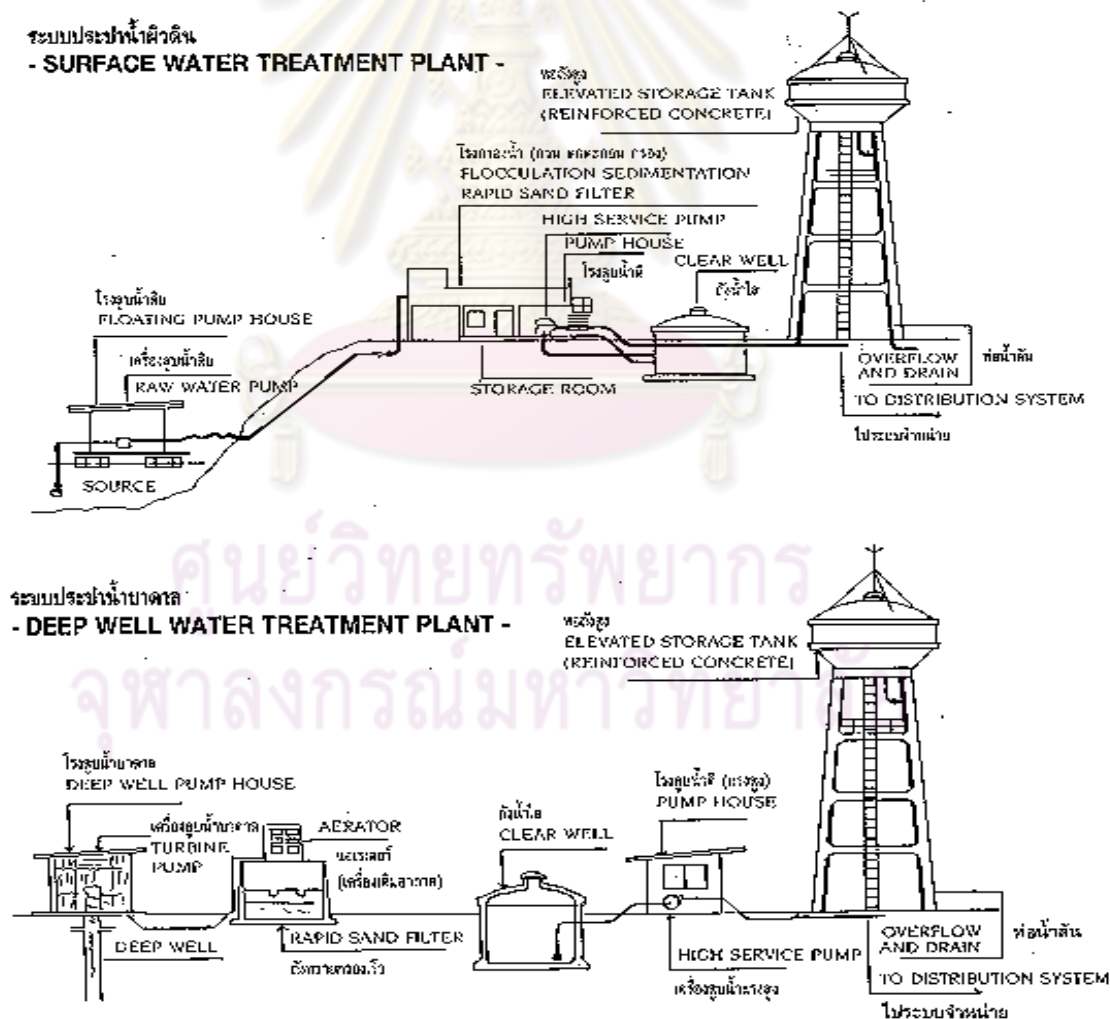
3.) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไอออนที่อยู่ในภาคของแข็งกับภาคของเหลว ซึ่งไอออนที่อยู่ในภาคของแข็งประจุที่ไม่ดีแน่น สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ซึ่งเกิดจากแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) บนผิวของเรซิน (Resin) และเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุเหมือนกันในสารละลายที่ไหลผ่านเรซิน โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซินไม่เท่ากัน หรือการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างของแข็งกับของเหลว โดยไม่เกี่ยวข้องกับอนุภาคในโครงสร้างทางกายภาพของแข็งแต่อย่างใด การแลกเปลี่ยนไอออนสามารถกำจัดไอออนประจุบวก (Cation) และไอออนประจุลบ (Anion) จากน้ำได้ ในปัจจุบันการแลกเปลี่ยนไอออนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (Zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ซึ่งเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นที่นิยมเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่า น้ำจะไหลผ่านถังบรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ไอออนประจุบวกในน้ำจะแลกเปลี่ยนกับไอออนของไฮโดรเจน (H^+) หรือไอออนของโซเดียม (Na^+) ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ได้แก่ เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin) และเรซินกรดอ่อน (Weak Acid Cation Resin) ส่วนไอออนประจุลบในน้ำจะถูกแลกเปลี่ยนกับไอออนของไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบด่างแก่ (Strong Base Anion Resin) เรซินทุกชนิดเมื่อใช้ไปในระยะเวลาหนึ่งจะหมดประสิทธิภาพ แต่สามารถเรียกประสิทธิภาพกลับคืนมาได้อีกโดยทำการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ซึ่งเรซินแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพแตกต่างกัน

4.) การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมัน ปฏิกิริยาการนี้จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Adsorbent

การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารอาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพหรือด้วยแรงเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน โดยทั่วไปการเกาะติดผิวในระบบประปามักถือเป็นกระบวนการทางกายภาพ เพราะโมเลกุลถูกดูดให้เกาะบนผิวของของแข็งโดยแรงกายภาพ และมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นเล็กน้อย การดูดติดผิวมีบทบาทสำคัญในระบบผลิตน้ำประปาเนื่องจากสามารถกำจัดสารมลทินที่มีขนาดเล็กจนถึงขั้น โมเลกุล ซึ่งไม่อาจกำจัดได้ด้วยวิธีตกตะกอนหรือการกรองแบบธรรมดา

2.1.3 การผลิตน้ำประปา

ขั้นตอนและกรรมวิธีในการผลิตน้ำประปา (ดังรูปที่ 2.1) โดยทั่วไปเป็นไปตามหลักเกณฑ์การผลิตน้ำของการประปานครหลวง คือ การใช้สารเคมี เป็นตัวปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบและในการกำจัดตะกอนผ่านกระบวนการกรองน้ำให้ใสขึ้น และฆ่าเชื้อโรคโดยใช้คลอรีน เพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำดื่ม โดยแบ่งขั้นตอนในการผลิตที่สำคัญออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา (การประปาส่วนภูมิภาค, 2552)

1.) การสูบน้ำ

การผลิตน้ำประปา เริ่มจากโรงสูบน้ำแรงต่ำทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งต้องผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบก่อนเข้าสู่ระบบการผลิต ภายหลังจากสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำ น้ำดิบที่ไหลมาตามคลองประปาจะสัมผัสอากาศและแสงแดด และจะตกตะกอนตามธรรมชาติทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นและระหว่างนั้นจะมีการกำจัดสวะ เศษไม้ สาหร่าย ถูกลพลาสติก และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่ลอยมากับน้ำดิบโดยที่หน้าโรงสูบน้ำดิบจะมีตะแกรงหยาบ (Trash Rack) และตะแกรงละเอียด (Fine Screen) ดักเก็บและป้องกันไม่ให้วัสดุที่ไม่ต้องการเหล่านี้เข้าไปเป็นอันตรายหรืออุดตันอุปกรณ์เครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์ในระบบการผลิตน้ำได้

2.) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบน้ำเข้ามาแล้ว จะถูกผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนมากับน้ำในขั้นตอนนี้ก่อน

3.) การตกตะกอน

เมื่อเติมสารเคมีในน้ำดิบแล้ว ตะกอนในน้ำดิบจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีรวมตัวกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ไหลเข้าถังตกตะกอน ซึ่งใช้ระบบทำให้น้ำขึ้นลงเป็นจังหวะ (Pulsator) ทำให้ตะกอนหนักตกสู่พื้นล่างของถังตกตะกอนและน้ำส่วนบนจะไหลเข้ารางรับน้ำไปยังบ่อกรองน้ำ ส่วนตะกอนหนักที่อยู่พื้นล่างจะถูกระบายออกไปเก็บไว้ในบ่อตากตะกอน เพื่อบรรจุกำจัดต่อไป

4.) การกรอง

น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วยังคงมีตะกอนละเอียดแขวนลอยอยู่บางส่วน (ความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู) จะไหลเข้าบ่อกรองน้ำซึ่งมีทรายเป็นสารกรองเพื่อกำจัดเอาตะกอนที่ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง น้ำที่ผ่านการกรองขั้นตอนนี้จะมีความใสมาก โดยมีความขุ่นไม่เกิน 2 เอ็นทียู แต่เนื่องจากบ่อกรองที่ใช้เป็นชนิดอัตราการกรองเร็วเมื่อใช้งานไปได้ประมาณ 24 ชั่วโมง จะต้องมีการล้างโดยการพ่นลมและน้ำย้อนขึ้นมาจากใต้บ่อกรองเพื่อให้ทรายขยายตัว (Back wash) และให้ตะกอนที่ตกค้างอยู่

บนผิวหน้าทรายไหลตามน้ำออกไปกลับสู่กระบวนการผลิตอีกครั้ง ซึ่งน้ำส่วนนี้จะมีความขุ่นไม่มาก จะช่วยลดการสูญเสียน้ำในระบบการผลิตได้ด้วย

5.) การฆ่าเชื้อโรคและควบคุมความเป็นกรด – ด่าง

น้ำที่ออกจากบ่อกรองน้ำก่อนที่จะนำไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำใส อาจยังมีแบคทีเรียหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการฆ่าเชื้อโรคเพื่อให้ความปลอดภัยสามารถอุปโภคและบริโภคได้ โดยจะใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรคและเติมน้ำปูนขาวเพื่อปรับสภาพภาวะความเป็นกรด – ด่าง ให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

6.) การควบคุมคุณภาพน้ำประปา

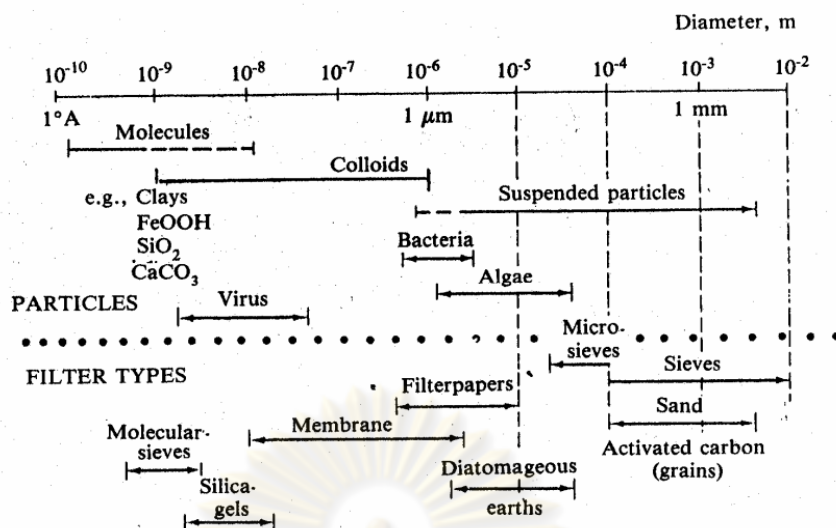
ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

7.) การสูบน้ำประปา

น้ำประปาที่ได้ผ่านกรรมวิธีการผลิตข้างต้น ซึ่งจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำใสไปตรวจสอบวิเคราะห์อยู่ตลอดเวลา เพื่อประกันว่าจะได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยและจะถูกสูบน้ำจากถังเก็บน้ำใสเข้าระบบท่อประปา เพื่อจ่ายให้กับประชาชนในเขตบริการของการประปานครหลวงต่อไป

2.2 อนุภาคคอลลอยด์

ความขุ่นหรือสารแขวนลอย เป็นปัญหาสำคัญของกระบวนการผลิตน้ำประปา อีกทั้งยังเป็นสาเหตุทำให้ต้นทุนการผลิตด้านสารเคมีสูง ความยากง่ายในการกำจัดความขุ่นจะขึ้นกับขนาดเป็นสำคัญ ความขุ่นที่เกิดจากขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ย่อมสามารถกำจัดได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ความขุ่นที่สร้างปัญหาเกี่ยวกับการผลิตน้ำประปามักเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเรียกว่า อนุภาคคอลลอยด์ (Colloidal Particle) ขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} มม. (1 นาโนเมตร) จนถึง 10^{-3} มม. (1 ไมครอน)



รูปที่ 2.3 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ (Benfield, Judkins and Weand, 1982)

การที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานๆ โดยไม่ตกตะกอน เรียกว่าเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง ระบบคอลลอยด์ หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลางซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียวกัน (Continuous Medium) อนุภาคต่างๆ นั้นเรียกว่า Dispersed Phase ส่วนสารตัวกลางเรียกว่า Dispersing Phase หรือ Dispersed Medium ระบบคอลลอยด์อาจเกิดขึ้นจากการรวมตัวของสารทั้ง 3 สถานะ

ลักษณะที่สำคัญที่สุดของระบบคอลลอยด์ คือ บทบาทของผิวสัมผัสระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ขนาดที่เล็กมาของ Dispersed Phase ทำให้น้ำหนักไม่มีความสำคัญ เทียบเท่ากับพื้นที่ผิวของสาร

ระบบคอลลอยด์ จำแนกตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังอ่อน ระบบเรียกว่า Hydrophobic แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังแรง ระบบเรียกว่า Hydrophilic ในกรณีที่ Dispersing Phase เป็นน้ำ ศัพท์จะใช้ Hydrophobic และ Hydrophilic แทน คอลลอยด์แบบ Hydrophobic สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายกว่าคอลลอยด์แบบ Hydrophilic เพราะคอลลอยด์แบบ Hydrophilic มีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ จึงต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่างๆ เกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนเพราะโมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคต่างๆ เข้าใกล้และจับตัวกัน

2.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

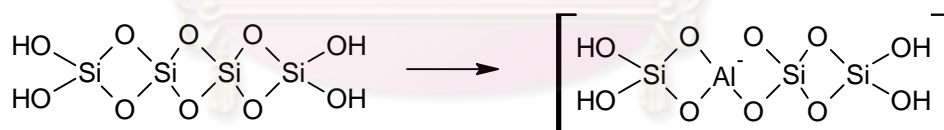
สิ่งที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีความแตกต่างจากตะกอนแขวนลอย อะตอม และโมเลกุลขนาดเล็ก คือ ขนาดและคุณสมบัติทางไฟฟ้า อนุภาคคอลลอยด์อาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่มักพบในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมักเป็นประจุลบและเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก (อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) ตัวอย่างของอนุภาคประจุลบในน้ำ คือ ความขุ่นในน้ำผิวดิน ซึ่งส่วนมากเป็นอนุภาคดินเหนียวชนิดต่างๆ อนุภาคประจุบวกมักเป็นสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก

การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน จึงกล่าวได้ว่า ประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ

อนุภาคคอลลอยด์ได้ประจุไฟฟ้ามาจากหลายทาง ดังต่อไปนี้

1.) ความไม่บริสุทธิ์ของผลึกสาร

ประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์อาจได้มาจากการแลกเปลี่ยนอะตอมของผลึกอนุภาคกับอะตอมจากภายนอกซึ่งมีประจุไม่เท่ากัน เช่น เมื่อ Al^{3+} แลกที่กับ Si^{4+} ซึ่งอยู่ในโครงสร้างผลึกของดินเหนียว (ภาพที่ 2.3) ทำให้อนุภาคดินเหนียวมีประจุบวกลดลง จึงแสดงอำนาจของประจุลบ ประจุลบของความขุ่นในน้ำผิวดินมีกำเนิดมาจากวิธีนี้



รูปที่ 2.4 ที่มาของประจุไฟฟ้าของอนุภาคดินเหนียว (Benefield et al, 1982)

2.) ประจุไฟฟ้าของไอออนที่ถูกดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์

ฟองก๊าซ ละอองน้ำมัน หรืออนุภาคคอลลอยด์อีกหลายชนิดได้ประจุไฟฟ้าบนผิวเนื่องจากมันสามารถเลือกดูดไอออนบางชนิดมาติดบนผิวได้ ไอออนที่ถูกดูดติด เรียกว่า Peptizing Ions อนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ในน้ำมักชอบดูดไอออนลบมากกว่าไอออนบวก เพราะไอออนบวกจะมีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ ทำให้ไอออนบวกไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ แนวคิดเท่ากับไอออนลบ โมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางการจับตัวระหว่างไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยเหตุนี้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำจึงมักมีประจุลบมากกว่าประจุบวก

3.) การละลายตัวของไอออน

อนุภาคคอลลอยด์บางชนิดจะมีประจุไฟฟ้า ถ้าไอออนต่างชนิดที่ประกอบกันเป็นอนุภาคละลายน้ำได้ไม่เท่ากัน

4.) การแตกตัวเป็นไอออนของ Functional Group

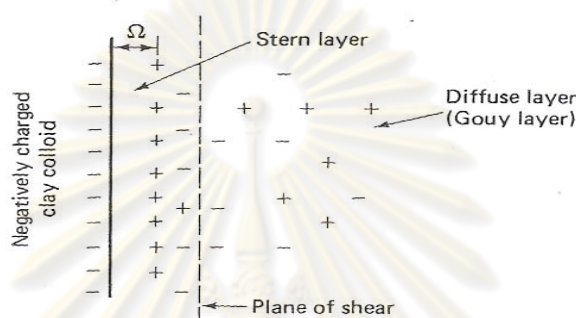
อนุภาคคอลลอยด์จำนวนมากได้ประจุไฟฟ้า เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของ Functional Group บนผิวอนุภาค เช่น โปรตีนได้ประจุไฟฟ้ามาจากการแตกตัวเป็นไอออนของหมู่กรดอะมิโน (Amino Group) หรือหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ซึ่งขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ เมื่อน้ำมีพีเอชต่ำ โปรตีนจะมีประจุบวก และจะมีประจุลบเมื่อพีเอชสูง โปรตีนอาจไม่มีประจุไฟฟ้าเลยที่ระดับพีเอชระหว่างค่าสูงและต่ำ ระดับพีเอชนี้เรียกว่า Isoelectric pH

2.2.2 Electric Double Layer Theory

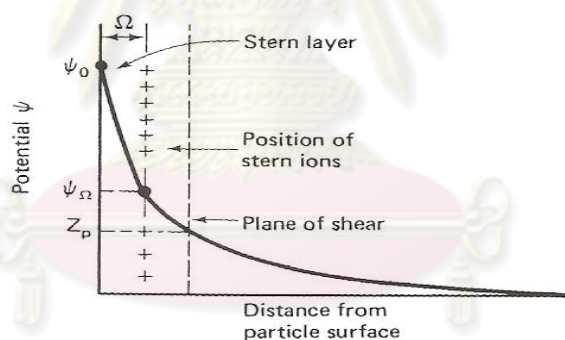
ความแตกต่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกและแบบไฮโดรฟิลิก คือ เสถียรภาพของคอลลอยด์แบบแรกเป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างไอออนชนิดเดียวกัน ส่วนเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบหลังเกิดขึ้นเนื่องจากแรงผลักระหว่างโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค ความแตกต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญมากต่อกลไกในการทำลายเสถียรภาพ เนื่องจากวิศวกรรมประปาเกี่ยวข้องกับคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกเป็นส่วนใหญ่

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ คือ Electric Double Layer Theory ซึ่งผู้คิดสร้างคือ Helmholtz (1853 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก) และพัฒนาให้สมบูรณ์ขึ้นโดย Gouy (1910 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก), Chapman (1913 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก) และ Stern (1924 อ้างถึงใน มั่นสิน, 2542ก) เมื่อพิจารณาอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบ เนื่องจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ไอออนบวกที่อยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาหาได้ จึงทำให้ไอออนประจุบวกมาแออัดกันอยู่ใกล้ผิวอนุภาคคอลลอยด์ ไอออนบวกนี้เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นของไอออนบวกจะสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาค ทั้งนี้เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (Nernst Potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป (รูปที่ 2.5a) ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ทำการกระจายตัวของไอออนบวกและลบเป็นไปจามปกติตามทฤษฎี Double Layer เชื่อว่า ไอออนบวกชั้นในที่สุดไม่สามารถ

เข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะไอออนบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของไอออนที่อยู่ใกล้ที่สุดคล้ายมีเปลือกทรงกลมบางซึ่งมีความหนาเท่ากับ Ω กั้นขวางอยู่ เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า Stern Layer และถือว่าเป็นชั้นในของทฤษฎีนี้ ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกชั้นในมีค่าเท่ากับ Stern Potential ส่วนเปลือกชั้นนอกมีชื่อเรียกว่า Diffuse Layer (ชั้นกระจาย) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์)



(a) Distribution of charges in the vicinity of a colloidal particle



(b) Distribution of potential in the electrical double-layer

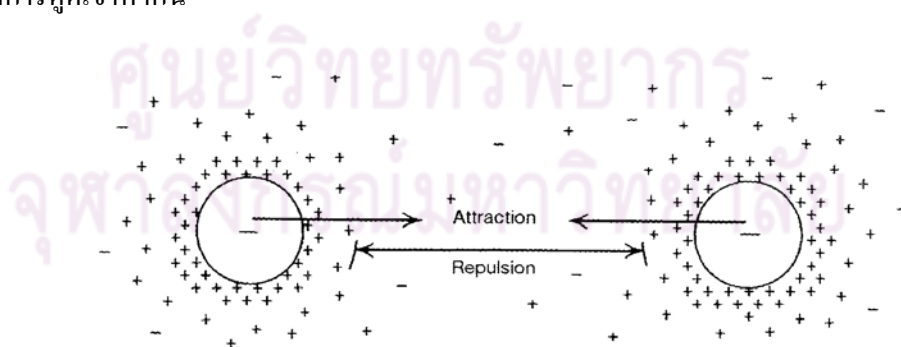
รูปที่ 2.5 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory (Benfield et al, 1982)

ศักย์ไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ หรือ Nernst Potential ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าที่จุดอื่นซึ่งไม่ใช่ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ทั้งนี้ได้โดยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า (Electrophoretic Mobility) และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ เรียกว่า ซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential; Z_p) ซีตาโพเทนเชียล หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวนอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ผิวนอกที่สุดนี้ เรียกว่า Plane of Shear (รูปที่ 2.5) ตำแหน่งที่แน่นอนของ Plane of Shear ไม่เป็นที่ทราบแน่นอน เชื่อกันว่าอยู่

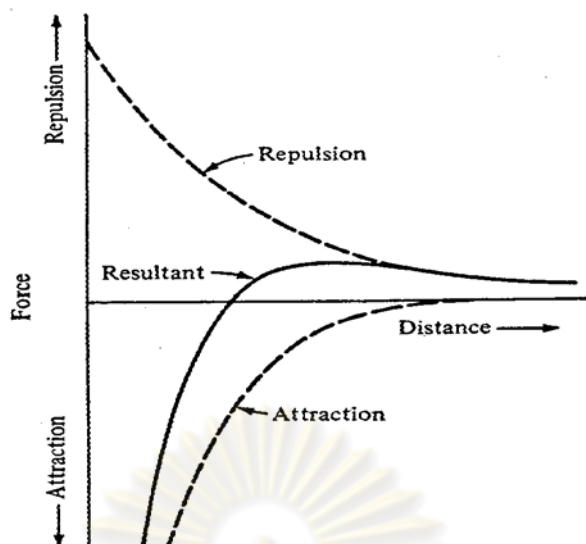
นอก Stern Layer แต่ยังคงอยู่ใน Diffuse Layer อย่างแน่นอน บทบาทของซีตาโพเทนเชียลมีมากกว่า ศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซีตาโพเทนเชียล ใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกระดับของเสถียรภาพของ คอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง (มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูงมาก) จะมีค่าซีตา โพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้ามระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีซีตาโพเทนเชียลต่ำ และทำให้รวมตัวกันเป็นฟล็อกได้ง่าย

2.2.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์อาจมีเสถียรภาพหรือไม่ก็ได้ อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพเมื่อสามารถ ดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอน ภายในเวลาสั้น เมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ ตกตะกอนและแยกตัวออกจากรุ่นน้ำก็ถือว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลายและไม่มีเสถียรภาพอีก ต่อไป ด้วยเหตุนี้เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรง ผลักจะต้องสูงกว่าแรงดึงดูดจึงจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลัก อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เสีย เสถียรภาพได้ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า van der Waals Force เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่อ อนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพ เทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิด ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าแรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้ กันมากๆ โดยปกติแล้วแรงผลักซึ่งเกิดจากซีตาโพเทนเชียลไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้ จนเกิดการดูดเข้าหากัน



รูปที่ 2.6 แรงระหว่างอนุภาคทั้งสอง (Hammer and Hammer Jr., 1996)



รูปที่ 2.7 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ (Rich, 1973)

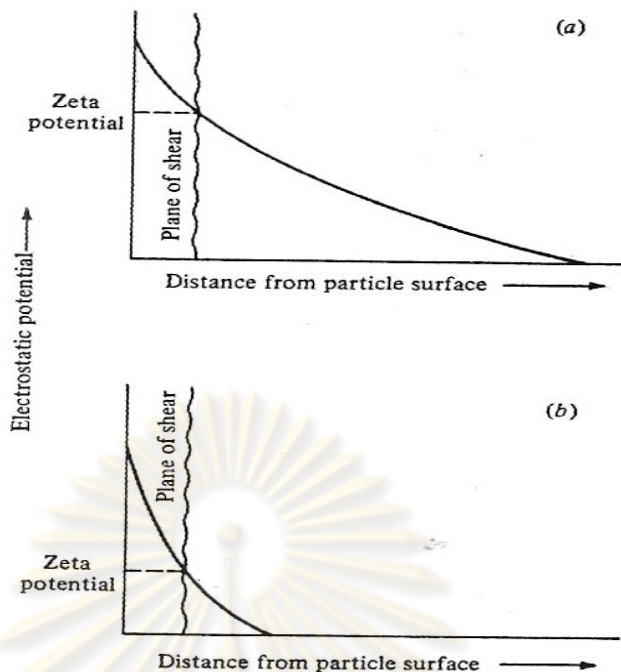
2.3 กระบวนการตกตะกอน (Coagulation)

กระบวนการตกตะกอน (Coagulation) คือ การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เกิดการรวมตัวกันและจับกันเป็นฟล็อก (มันสิน, 2542ก) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

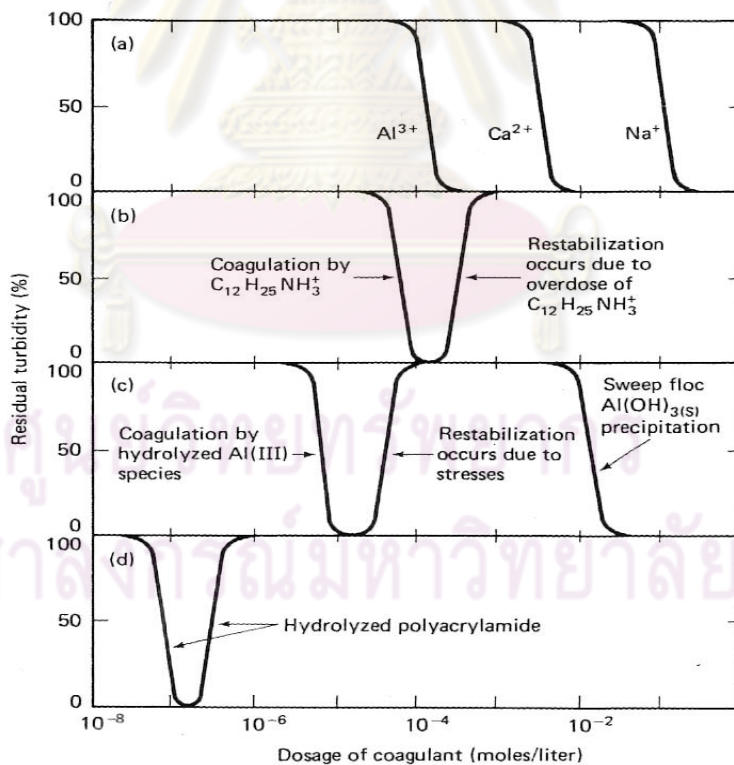
1. การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ ขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยอาศัยกลไกที่สำคัญ 4 แบบ ดังนี้

1.1 โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค เป็นการเพิ่มจำนวน Counter Ion ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย (รูปที่ 2.8) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ไอออนต่างๆ มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจาย (ซึ่งเท่ากับลดซีตาโพเทนเชียล) ไม่เท่ากัน ปรากฏว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ (Valence) 1, 2 และ 3 มีอำนาจดังกล่าวเป็นสัดส่วน 1: 10: 1,000 ตามลำดับ เช่น Al^{3+} จะให้ผลดีกว่า Ca^{2+} ถึง 1,000 เท่า (รูปที่ 2.9) ข้อสังเกตที่ควรตระหนักคือ



รูปที่ 2.8 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์ (a) ก่อนเติมไอออน (b) หลังจากการเติมไอออนแล้ว (Rich, 1973)



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบปริมาณ โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทำละลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (Benefield et al, 1982)

ไอออนบวกต่างๆ ดังกล่าวไม่ได้ดำรงอยู่อย่างอิสระ เนื่องจากไอออนบวกเหล่านี้ มักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ เช่น Al^{3+} มีน้ำ 6 โมเลกุลจับกันอยู่ การที่ Al^{3+} หรือโลหะอื่นๆ มีน้ำจับรวมอยู่ด้วยเป็นข้อเสียเพราะว่าทำให้ไอออนบวก (ของโลหะ) ไม่สามารถดูดติดที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ โมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนเกาะป้องกันการสัมผัสโดยตรง ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับไอออนบวก ไอออนบวกต่างๆ จึงออกันอยู่ในชั้นกระจายและไม่สามารถทำลายประจุบของอนุภาคคอลลอยด์ได้ดีเท่าที่ควร การลดโมเลกุลของน้ำในสารประกอบคอมเพล็กซ์ช่วยให้ไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น เช่น $Al(OH)(H_2O)_5^{+2}$ หรือ $Al(OH)_2(H_2O)_4^+$ สามารถเกาะติดบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่ $Al(H_2O)_6^{+3}$ ไม่สามารถกระทำได้ด้วยเหตุนี้ รูปที่ 2.9 (c) จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า $Al(OH)^{+2}$ หรือ $Al(OH)_2^+$ หรือสารคอมเพล็กซ์อื่นๆ สลับเปลี่ยนน้อยกว่า Al^{3+} ในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่างๆ มีข้อที่น่าสนใจดังนี้

(1) ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์

(2) ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้อนุภาคคอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวกได้ (Charge Reversal) ดังรูปที่ 2.9 (a)

1.2 โดยการทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์

สารเคมีบางหมู่สามารถดูดติด (adsorbed) บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ถ้าสารเหล่านั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนี้แตกต่างจากกลไกแบบแรก 3 ประการ ดังนี้

(1) กลไกแบบดูดติดผิวต้องการไอออนต่างชนิดน้อยกว่ากลไกแบบแรก เนื่องจากไอออนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้

(2) การทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดติดผิว เป็นแบบสโตยชิโอเมตริก (Stoichiometric) กล่าวคือ ปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้เพิ่มหรือลดตามการ

เพิ่มหรือลดของปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่เป็นสโตยชิโอเมตริก

(3) กลไกแบบคูดิตตีฟสามารถเปลี่ยนประจุของอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิม (Charge Reversal) ทั้งนี้โดยการใช้โคแอกกูแลนต์มากเกินไปเสถียรภาพของคอลลอยด์จะฟื้นขึ้นมาใหม่เนื่องจากมีการเปลี่ยนประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น กลไกแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนประจุเป็นตรงกันข้าม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าจำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกกำจัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์เสมอ โคแอกกูแลนต์ที่เติมมากเกินไปจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้นไม่ว่าจะเติมโคแอกกูแลนต์มากเท่าใดการเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้าม จะไม่สามารถเกิดขึ้นถ้าโคแอกกูแลนต์ไม่สามารถคูดิตตีฟของอนุภาคคอลลอยด์ ข้อที่ควรสังเกตเกี่ยวกับ Charge Reversal ของกลไกแบบคูดิตตีฟคือ การที่ไอออนต่างประจุสามารถคูดิตตีฟของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม แสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออนต่างประจุกับอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้

1.3 การห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น

ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปลงในน้ำในปริมาณที่เพียงพอจะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวรวมกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ อาจถือว่าการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้

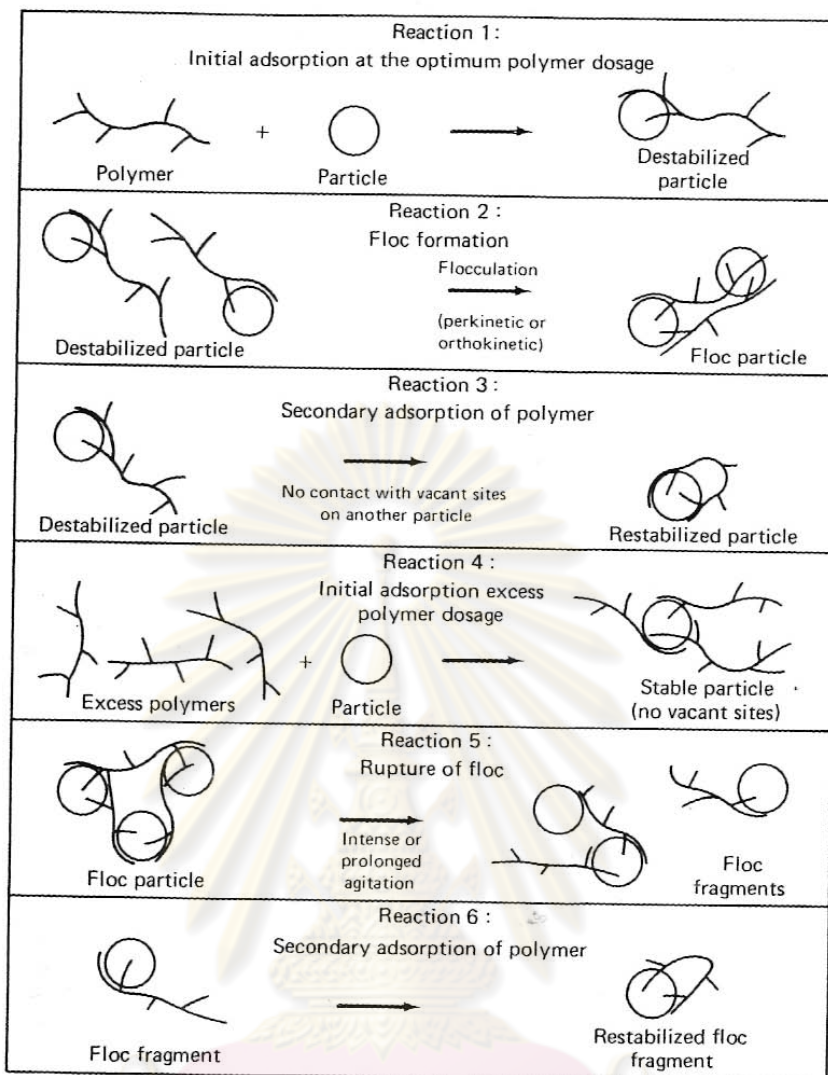
กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมแปรผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดการตกตะกอนได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่า เหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม การตกตะกอนอาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆ สำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก

เนื่องจากกลไกแบบนี้ไม่จำเป็นต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ การตกตะกอนจึงไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นในขณะที่ซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามพีเอชมีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกแบบนี้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความสามารถในการตกผลึกของสารต่างๆ โคนแอกกูแลนต์แต่ละตัวจะมีระดับพีเอชที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

1.4 การใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์

กลไกลักษณะนี้อธิบายได้โดยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging (รูปที่ 2.10) กล่าวคือ สารโพลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง ซึ่งการเกาะติดนี้อาจเป็นผลมาจากประจุที่ต่างกันของโพลิเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์ หรือเป็นแรงทางปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุต่างกันของโพลิเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลิเมอร์เกาะติดโดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่นๆ ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized particle) อนุภาคนี้สามารถจับกับอนุภาคอื่นๆ ได้ โดยอาศัยโพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ในกรณีที่ปลายอิสระของโพลิเมอร์ไม่มีที่เกาะจับอนุภาคอื่นๆ ปลายอิสระจะจับอนุภาคเดิมทำให้ไม่มีปลายอิสระจับอนุภาคอื่นและตำแหน่งว่างบนพื้นผิวลดลง เรียกว่า อนุภาคมีเสถียรภาพกลับคืน (Restabilized particle) กรณีใช้สารโพลิเมอร์มากเกินไปจะเกิดผลเสียเพราะโพลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีตำแหน่งว่างบนพื้นผิวอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคๆ การกวนที่รุนแรงหรือนานเกินไปจะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วกลับแตกออกเป็นส่วนๆ และทำให้ปลายอิสระของโพลิเมอร์เกาะจับบนอนุภาคเดิม อนุภาคคอลลอยด์จึงคืนเสถียรภาพอีกครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



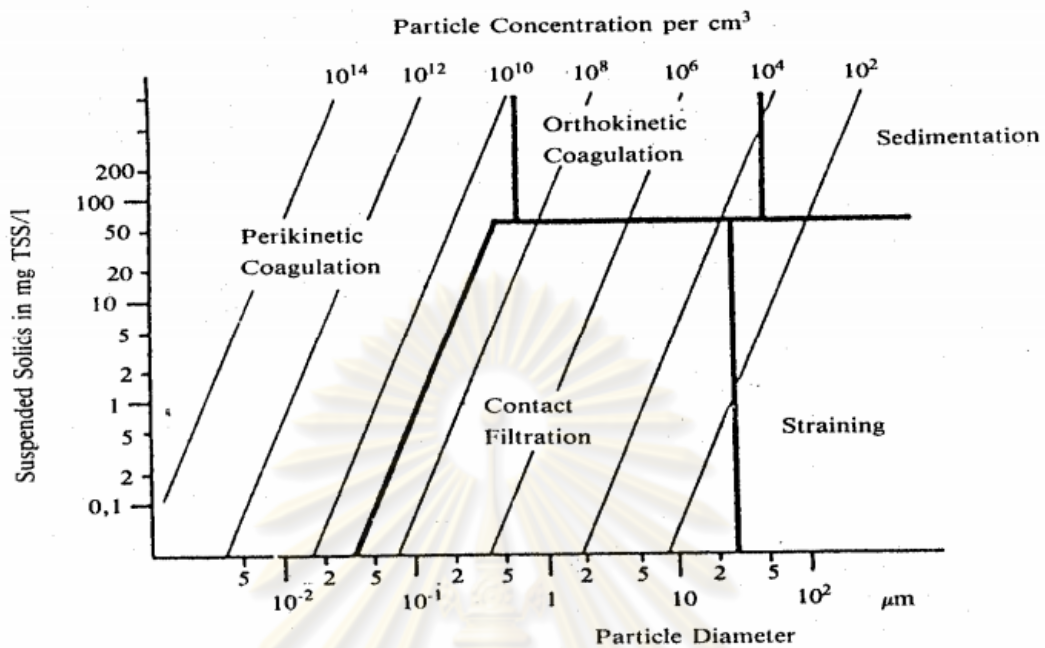
รูปที่ 2.10 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบเชื่อมด้วยโพลิเมอร์

(Benfield et al, 1982)

2. ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากกระทบกัน หรือสัมผัสให้มากที่สุด (Transport of colloidal particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้วการสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดได้ง่ายขึ้น และหลังการสัมผัสควรเกาะติดกันแน่นเป็นกลุ่มก้อน เรียกว่าฟล็อก (Floc) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีวิธีดังนี้

2.1 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราการเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่เร็วจนเกินไป เพราะจะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือฟล็อกกุเลชัน เรียกว่า ถังกวนช้า และเทคนิคการ

สร้างสัมพัทธ์เรียกว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟล็อกแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.



รูปที่ 2.11 เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคต่างๆ (มันสิน, 2542ก)

2.2 การสัมพัทธ์ของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิจึงขึ้นกับอุณหภูมิด้วย เทคนิคนี้เรียกว่า Perikinetic Flocculation

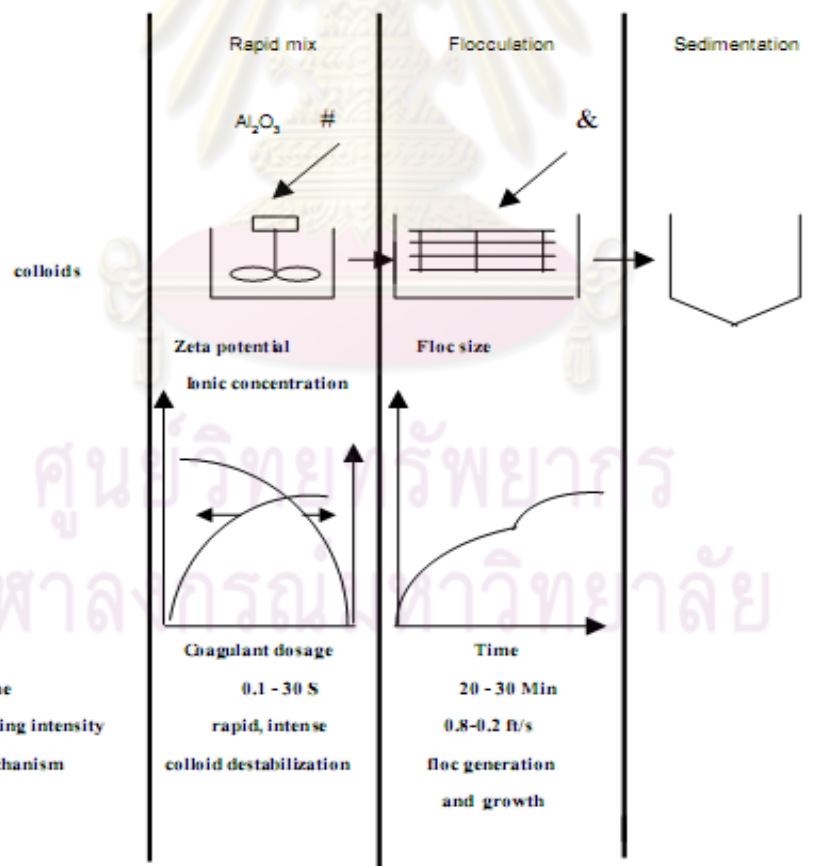
2.3 การสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกกุเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกกุเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล. ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟล็อกกุเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อกกุเลชันอีกในระหว่างการตกตะกอน

2.4 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟล็อกกุเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมพัทธ์แบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมพัทธ์น้อย วิธีแก้ไขกระทำได้ดังนี้

(1) ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองช่วยเพิ่มอัตราการสัมผัสให้และยังบังคับให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อกกุเลชันเช่นนี้ เรียกว่า กรองสัมผัส (Contract Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล. การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟล็อกกุเลชันไม่ดีเท่าชั้นทราย

(2) ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป่าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งคือ เอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคคอลลอยด์จากนั้นจึงสร้างสัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ

2.5 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย



- alkalinity alum or iron silica cation polyelectrolyte
 & - anion or nonionic polyelectrolyte

รูปที่ 2.12 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการเกิดกระบวนการตกตะกอน (โอภาส, 2546)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตัวกันตกตะกอน

ในกระบวนการสร้างและรวมตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังนี้

1.) ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ

เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ หรือเป็นคอลลอยด์ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีโอกาสถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าประเภทที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) หากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม

2.) อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิลดลง ความหนืด (Viscosity) ของน้ำจะเพิ่มขึ้น เพราะมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนืดของน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าพีเอชก็จะเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลมากในกรณีที่ใช้สารเคมีสร้างตะกอนในปริมาณต่ำ และเมื่ออุณหภูมิลดลง การเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของสารเคมีในน้ำย่อมลดลงไปด้วย

3.) ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างตะกอนจะสมบูรณ์ ต้องอาศัยส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำที่สำคัญ ได้แก่ สภาพความเป็นด่างในน้ำ (Alkalinity) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอช เพื่อให้ปฏิกิริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.) พีเอชที่เหมาะสม

สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชต่างๆ กัน การเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำที่ไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้เปลืองสารเคมีที่ใช้แล้ว ยังจะทำให้คุณภาพน้ำไม่ดีเท่าที่ควรและการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ไม่มีประสิทธิภาพ

5.) ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอนและรวมตะกอน

สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมสำหรับทำลายอนุภาคคอลลอยด์แต่ละชนิดได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ความเร็วของการตกตะกอน ความยากง่ายในการใช้งาน รวมทั้งราคาด้วย

6.) เกลือของสารละลาย

ในน้ำเสียมักจะพบเกลืออนินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อช่วงพีเอชที่เหมาะสม ก็จะทำให้ช่วงกว้างขึ้น และปริมาณสารช่วยสร้างตะกอนจะใช้มากขึ้น

7.) ระดับความขุ่นในน้ำ

หมายถึงปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำ โดยน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์จำนวนมากจะใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณมีน้อยกว่า อีกทั้งยังตกตะกอนได้ดีกว่าเนื่องจากมีเป่าสัมผัสมากกว่าน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยกว่า

8.) เวลาและความแรงในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว

การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรวดเร็วด้วยเวลาอันสั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคคอลลอยด์ได้ทั่วถึงและยังเป็นการช่วยประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นถ้าใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อให้มีโอกาสลอยมาสัมผัสซึ่งกันและกันได้มากที่สุด โดยทั่วไปการกวนเร็วใช้เวลา 30 - 90 วินาที ส่วนการกวนช้าใช้เวลาประมาณ 30 - 60 นาที

2.5 พารามิเตอร์ควบคุมการกวนผสม

พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์กวนน้ำของถังกวนเร็วคือ ค่าเกรเดียนท์ความเร็ว (Velocity Gradient) ซึ่งนิยมใช้ G เป็นสัญลักษณ์แทน ค่าเกรเดียนท์ความเร็ว หมายถึงความปั่นป่วนของน้ำ น้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับความปั่นป่วนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมๆ กันทุกจุด ในทางตรงกันข้าม น้ำในถังกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำมากกว่า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดก้อนฟล็อกที่เกิดขึ้นเกิดการแตกแยก การเคลื่อนไหวของน้ำในถังกวนช้ามีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างอนุภาคและจับติดกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ถังกวนเร็วจะมีค่า G ไม่ต่ำกว่า 300 วินาที⁻¹ แต่ถังกวนช้าก็มีค่า G ไม่เกิน 60 - 100 วินาที⁻¹

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งได้แก่ เวลาผสม (T) ซึ่งหมายถึงเวลาสัมผัสระหว่างสารเคมีและความขุ่น เนื่องจากปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดขึ้นเร็วมาก ถังกวนเร็วจึงต้องการเวลา

ผสมเพียง 1 นาที หรือน้อยกว่า ในทางปฏิบัติมักถือว่าเวลาผสมเป็นเวลาที่น้ำอาศัยอยู่ในถังหรืออุปกรณ์กวนเร็ว ซึ่งหมายถึงเวลากักน้ำ (Detention time) นั้นเอง

พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนในระดับ G คำนวณได้จากสมการของแคมท์และสไตน์ ดังนี้

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

โดยที่ G = ค่าเกรเดียนต์ความเร็วหรือระดับความปั่นป่วนมีหน่วยต่อวินาที

P = พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วนมีหน่วยฟุต-ปอนด์ต่อวินาที

μ = ความหนืดของน้ำมีหน่วยปอนด์-วินาทีต่อตร.ฟุต

V = ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็วมีหน่วยลบ.ฟุต

ในกรณีที่ใช้เครื่องกวนน้ำแบบธรรมดาที่ใช้ใบพัด ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและขนาดของใบพัดรวมทั้งจำนวนรอบที่หมุน มีดังนี้

$$P = k\rho N^3 D^5/g$$

โดยที่ k = ค่าคงที่

ρ = ความหนาแน่นของน้ำมีหน่วยปอนด์ต่อลบ.ฟุต

N = จำนวนรอบของใบพัดต่อวินาที

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีหน่วยฟุต

สำหรับการออกแบบถังกวนช้าเหมือนกับที่ใช้ในการออกแบบถังกวนเร็วที่ได้กล่าวไปแล้ว สิ่งที่แตกต่างกันอยู่ที่ระดับของพารามิเตอร์เท่านั้น ถังกวนช้าต้องการความปั่นป่วนต่ำ แต่ต้องการเวลาสัมผัสหรือเวลารวมตะกอนนาน ความต้องการเช่นนี้เป็นตรงกันข้ามกับของถังกวนเร็ว

เพื่อให้ฟล็อกคูเลชันเกิดขึ้น ได้ผลดีที่สุด เวลารวมตะกอนหรือเวลาสัมผัสควรมีค่าประมาณ 20 - 30 นาที การใช้เวลารวมตะกอนนานกว่านั้นไม่เป็นการประหยัด ระดับที่เหมาะสมที่สุดของความปั่นป่วนหรือ G ขึ้นอยู่กับค่าของ T ตามสมการดังต่อไปนี้

$$(G^*)^{2.8} T = K$$

โดยที่ G* = ระดับเกรเดียนต์ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดมีหน่วยต่อวินาที

T = เวลารวมตะกอน ซึ่งเท่ากับเวลากักน้ำของถังกวนช้ามีหน่วยนาที

K = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารตกตะกอนที่ใช้

G* หรือค่าเกรเดียนต์ความเร็วที่เหมาะสมที่สุด หมายถึงค่า G ที่ทำให้เกิดฟล็อกคูเลชันแล้วมีความปั่นเหลือน้อยที่สุด G* ควรอยู่ระหว่าง 20 - 50 วินาที⁻¹

2.6 การเลือกใช้สารเคมีในการตกตะกอน

สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนมีด้วยกันหลายชนิด แต่ชนิดที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา ได้แก่ สารส้ม เพอริคลอไรด์ (FeCl_3) อะลูมินัมคลอไรด์ (ACH) โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ (PACl) เป็นต้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสม สำหรับการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกสารเคมีในการตกตะกอน ในกระบวนการผลิตน้ำประปาจึงต้องมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของสารเคมีแต่ละชนิด โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test) หรือโดยวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential) ซึ่งวิธีจาร์เทสต์จะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและใช้กันมานานแล้ว ในการศึกษาจะคำนึงถึงปริมาณสารเคมีที่ใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ความเร็วของการตกตะกอน ความยากง่ายในการใช้งานและค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้สารเคมีแต่ละชนิด

2.6.1 การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน

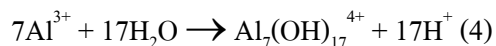
สารส้ม (Alum) หรืออะลูมินียมซัลเฟต เป็นเกลืออะลูมิเนียม ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตน้ำประปา มีขายทั้งแบบเป็นสารละลาย เป็นผงและเป็นเม็ด มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีครีม สารส้มละลายน้ำได้ดีเมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อนเหล็กหรือคอนกรีตได้ ถ้าที่ใช้ละลายสารก่อนเติมลงในน้ำควรใช้ถังพลาสติก หรือแอสตันเนส เมื่อเกลืออะลูมิเนียมอยู่ในน้ำจะไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วไปเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนต่างๆ พิเศษของสารละลายในขณะเริ่มต้นมีความสำคัญมากเพราะจะเป็นตัวกำหนดว่าอะลูมิเนียมเชิงซ้อนตัวใดจะเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในน้ำนั้น

สารส้มมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งโดยปกติ X มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้ออออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยา



อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จะถูกล้อมรอบด้วย 6 โมเลกุลของน้ำได้ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมไอออนจะเกิดขึ้นทันที ตามสมการดังนี้

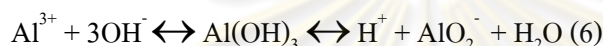




ในกรณีที่มีความเข้มข้นของสารสัมพันธ์สูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไป จนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ดังปฏิกิริยา



$\text{Al}(\text{OH})_3$ มีคุณสมบัติในการเป็น amphoteric คือ สามารถละลายได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรด และด่าง ดังปฏิกิริยา

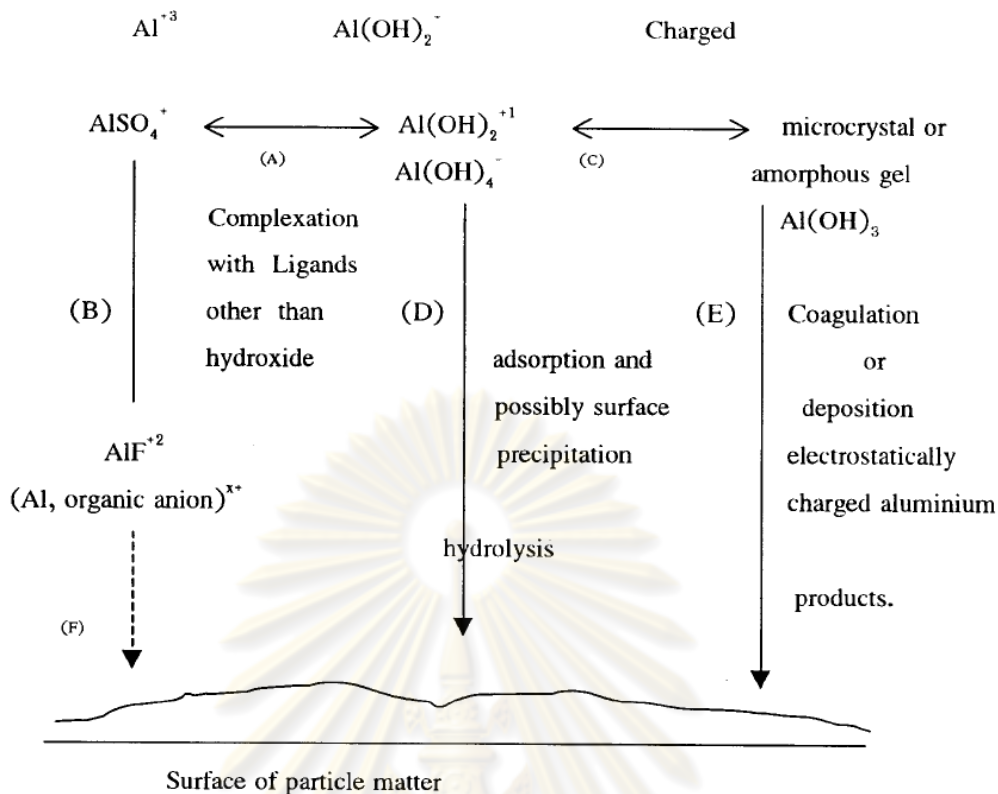


Insoluble $\text{Al}(\text{OH})_3$ สามารถอยู่ในสมดุลกับ Al^{3+} กับ OH^- หรือ H^+ กับ AlO_2^- (meta-aluminate ion) และในสภาวะสารละลายอิ่มตัว ผลคูณของความเข้มข้นของ Al^{3+} และ OH^- ($[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3$) จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ และผลคูณของความเข้มข้นของ H^+ และ AlO_2^- ($[\text{H}^+][\text{AlO}_2^-]$) จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ผลคูณการละลาย (K_{sp}) ของ $\text{HAl}_2\text{H}_2\text{O}$

การเติมกรดแก่จะทำให้ H^+ ซึ่งจะรวมกับ OH^- ได้เป็น H_2O ทำให้ $[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3$ น้อยกว่าค่า K_{sp} ของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $\text{Al}(\text{OH})_3$ จะละลาย

ถ้าเติมด่างแก่จะทำให้ OH^- ซึ่งจะรวมกับ H^+ ได้เป็น $[\text{H}^+][\text{AlO}_2^-]$ น้อยกว่าค่า K_{sp} ของ $\text{HAl}_2\text{H}_2\text{O}$ (meta-aluminate acid) และ $\text{Al}(\text{OH})_3$ จะละลาย

ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดซับฟิวอนภาคอลลอยด์ คือ สารประกอบเชิงซ้อนซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจากอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์กับตะกอนของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่ง Driscoll และ Letterman (1988) ได้เสนอแบบจำลองในการเกิดสารประกอบอะลูมิเนียม ดังในรูปที่ 2.11 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำ ชนิดของสารประกอบอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับสภาพของสารละลาย เช่น ความเข้มข้นของเกลืออะลูมิเนียมที่ใส่ลงไป อุณหภูมิ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ รวมทั้งพื้นที่ผิวอนุภาค



รูปที่ 2.13 แสดงแบบจำลองวิถีทางอะลูมิเนียมในน้ำ (วิโรจน์, 2544)

สารประกอบเชิงซ้อนอาจจะมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำดังกล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (zero point of charge) ของตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$, $Al(OH)_5^{2-}$ ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้าของตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการตกตะกอนจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนประจุบวก เช่น $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_{17}^{4+}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$

สารส้มที่เติมลงในน้ำ ทำให้เกิดกลไกของการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไก ดังนี้

1. กลไกการดูดติดผิวและการทำลายประจุ (Adsorption and charge neutralization)

กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวกทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้กับอนุภาครวมตัวจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกนี้มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ซึ่งจะควบคุมการทำงานได้ดีนั้นยาก

เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำไปการตกตะกอนจะไม่เกิด แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก แต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย

2.) กลไกแบบกวาด (Sweep coagulation)

กลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบกวาดของสารส้มเกิดขึ้นในกรณีความเข้มข้นของสารส้มมากเกินไปจนปฏิกิริยาดำเนินไปได้ผลึกของ $Al(OH)_3$ กลไกแบบนี้จะเกิดดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณสารส้มมากเกินไป จนทำให้ผลคูณของ Al^{3+} และ OH^- ($[Al^{3+}][OH^-]^3$) มีค่าเกินกว่า K_{sp} และพีเอชของน้ำควรอยู่ในช่วง 6 – 7.5 ซึ่งทำให้ผลึก $Al(OH)_3$ มีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้าในลักษณะดังกล่าว $Al(OH)_3$ และอนุภาคคอลลอยด์จะรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

3.) กลไกการตกตะกอนแบบรวม (Combination coagulation)

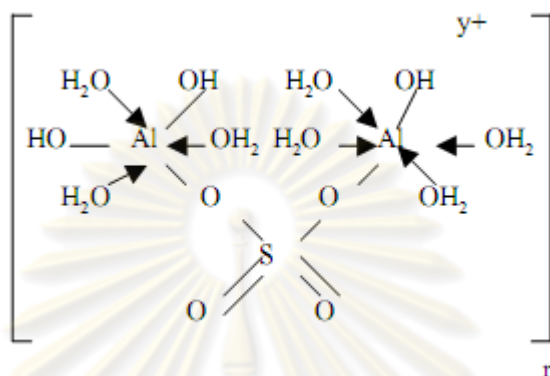
กลไกการตกตะกอนแบบรวมเป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัดสภาวะดังกล่าวจัดเป็นกลไกแบบรวมซึ่งจะเกิดขึ้น เมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด

2.6.2 การใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride; PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ถูกเตรียมขึ้นโดยอะลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$

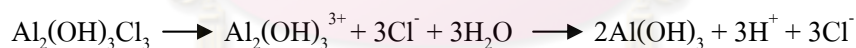
เมื่อโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แตกตัวจะได้อะลูมิเนียมที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออน จึงเกิดการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $Al_3(OH)_{34}^{+5}$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_6(OH)_{15}^{+3}$ เป็นต้น ซึ่งมีอะลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า polymeric hydroxo complex อันมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์เสียเสถียรภาพแล้วทำให้เกิดการ

รวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นแล้วตกตะกอนลงมา ในกระบวนการฟล็อกนั้น พีเอชของน้ำมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกเกิดขึ้นมากจะทำให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ นอกจากอะลูมิเนียมจะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ อะลูมิเนียมยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในน้ำกลายเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$



รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของ Lapofloc PACI (วิโรจน์, 2544)

เมื่อ PACI ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนหลายชนิด ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ $[\text{Al}_3\text{O}_4(\text{OH})_{24}]^{7-}$ หรือ Al^{3+} ซึ่งการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนตัวนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของด่างกับสารละลายอะลูมิเนียม ชนิดและความเข้มข้นของด่าง ความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์และอุณหภูมิ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ปริมาณของด่างที่เติมลงไปและระดับความเป็นกลาง (Kaeding, 1992)



เมื่อนำโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มาใช้เป็นสารตกตะกอนแทนสารส้มพบว่า

1.) ใช้ได้กับน้ำในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5.5 หรือที่พีเอชมากกว่า 7 (Dempsey, 1985 ; Kaeding, 1992 ; Packham และ Ratnayaka 1992 ; Povillot และ Suty, 1992)

2.) น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะมีความขุ่นอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ head loss ของระบบการกรองอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม (Kaeding, 1992)

3.) ใช้ได้กับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้ (Simson และคณะ, 1988 ; Povillot และ Suty, 1992)

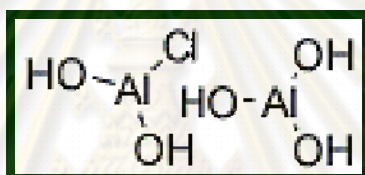
- 4.) ทำให้เกิดการรวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็ว และมีความแข็งแรงกว่าและตกตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้ม (Nilsson, 1992 ; Packham และ Ratnayaka 1992)
- 5.) เมื่อใช้ PACI เป็นสารสร้างตะกอนจะไม่มีควมจำเป็นต้องใช้สารช่วยตกตะกอน (Coagulant aid) (Packham และ Ratnayaka 1992 ; Povillot และ Suty, 1992)
- 6.) ภายหลังกการบำบัดแล้วน้ำที่ได้จะมีพีเอชไม่ต่ำมากเหมือนกับการใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน (Simson และคณะ, 1988)
- 7.) การนำ PACI มาใช้เป็นสารตกตะกอนในกระบวนการบำบัดนั้นไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ (Viraraghavan และ Wimmer, 1988) รวมทั้งไม่ต้องเปลี่ยนแปลงจุดที่จะใส่สารตกตะกอนเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำเลย (Kaeding, 1992)
- 8.) ทำให้อะลูมิเนียมตกค้างในน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มแล้วพบว่า PACI จะทำให้อะลูมิเนียมตกค้างในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมิเนียมละลายกลับออกมาจาก PACI ในปริมาณน้อยกว่านั่นเอง (Simson และคณะ, 1988 ; Kaeding, 1992 ; Povillot และ Suty, 1992)
- 9.) ทำให้ปริมาตรของ sludge ในปริมาณมากกว่าการใช้สารส้ม แต่เมื่อคิดในน้ำหนักแห้ง (dry weight) แล้วจะมีน้ำหนักน้อยกว่าการใช้สารส้ม (Kaeding, 1992) และในประเทศญี่ปุ่นได้นำเอา sludge ที่แห้งแล้วไปถมที่ (land fill) หรือใช้เป็นตัวช่วยบำรุงดิน (soil conditioner) และอาจนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ (Kawamura และ Trussell, 1991)
- 10.) สามารถนำมาใช้กับน้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำและความขุ่นสูงได้ อีกทั้งยังใช้ PACI ในปริมาณที่น้อยกว่าสารส้ม (Kawamura และ Trussell, 1991)
- 11.) Dempsey และคณะ (1985) ทำการทดลองและรายงานว่าที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำๆ ถึงปานกลางพบว่า PACI เป็นสารตกตะกอนที่ดีกว่าสารส้ม (โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5 หรือพีเอชมากกว่า 7)
- 12.) Viraraghavan และ Wimmer (1988) ได้ทำการทดลองหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมของสารส้ม และ PACI ที่อุณหภูมิ 7, 10 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าในการกำจัดความขุ่นนั้น PACI มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ 1/3 ถึง 2/3 ของปริมาณสารส้ม และ PACI สามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าการใช้สารส้มร้อยละ 20 ในทุกๆ อุณหภูมิที่ทดสอบซึ่งประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่ได้มีการเพิ่มสาร โพลีเมอร์เพื่อใช้เป็นตัวช่วยตกตะกอนและสามารถใช้

PACI ได้ในช่วงของอุณหภูมิที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำในภายหลังด้วย

13.) Hundt และ O'Melia (1988) ทำการทดลองพบว่า PACI สามารถกำจัด fulvic acid ที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่ำได้ดีกว่าการใช้สารส้มและ PACI มีความเหมาะสมที่จะใช้กับน้ำที่มีสารอินทรีย์และพีเอชต่ำ เพราะทำให้ใช้ PACI ในปริมาณที่น้อยกว่าสารตกตะกอนที่เป็นอะลูมิเนียมอื่นๆ

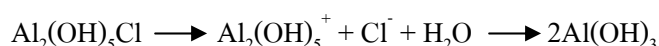
14.) แม้ว่า PACI จะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารตกตะกอน แต่ก็ยังมีราคาแพงกว่าสารส้มถึง 2.5 – 3 เท่า แม้ว่าจะช่วยประหยัดในเรื่องของการปรับพีเอชและโพลิเมอร์ที่จะต้องเติมลงไปก็ตาม (Viraraghavan และ Wimmer, 1988)

2.6.3 การใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตเป็นสารตกตะกอน



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต (ChemicalBook Inc, 2008)

อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate; ACH) เป็นเกลือชนิดหนึ่งมีสูตรทางเคมีว่า $Al_2(OH)_5Cl$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 174.45 การสังเคราะห์ทำได้โดยการทำปฏิกิริยาของอะลูมิเนียมกับกรดไฮโดรคลอริก อะลูมิเนียมที่ใช้ได้แก่ aluminium metal, alumina trihydrate, aluminium chloride, aluminium sulfate คุณสมบัติที่สำคัญของอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต คือ ในโครงสร้างของอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตมีอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 23% พีเอชของสารละลายประมาณ 3.5 – 4.5 และมีค่า basicity (ค่าเฉลี่ยของ OH^-/Al^{3+}) เท่ากับ 83% จึงทำให้ในโครงสร้างมีประจุบวกมากกว่าสารส้มหรือสารตกตะกอนชนิดอื่นๆ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต แสดงดังนี้



เนื่องจากในโครงสร้างของอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตมีประจุบวกมากกว่าสารตกตะกอนชนิดอื่นๆ จึงทำให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าสารชนิดอื่น คือ ปริมาณการใช้ในการตกตะกอนจะใช้ปริมาณ

สารน้อยกว่า หลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์จะทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นอกจากนั้นช่วงพีเอชของน้ำสำหรับการบำบัดยังสามารถใช้ได้ในช่วงกว้าง คือ 5 - 9

ในทางอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมคลอไรด์นอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นสารตกตะกอนแล้วยังมีคุณสมบัติสามารถบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำได้ทั้งหมดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) โลหะ (Metal) ฟอสเฟต (Phosphate) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD) และทีโอซี (total organic carbon; TOC) ได้อีกด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.4 เปรียบเทียบสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

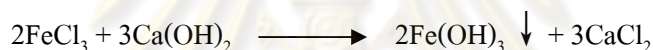
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

สารตกตะกอน	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
Alum $Al_2(SO_4)_3$	พีเอช 3.5 - 5 Al_2O_3 8 - 8.5%	- หาง่าย - ราคาถูก - ใช้ได้กับน้ำดิบแหล่งต่างๆ	- ใช้ปริมาณมาก - พีเอชน้ำหลังตกตะกอนลดต่ำลง - ช่วงพีเอชในการตกตะกอนแคบ - ปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำสูง - ในกรณีน้ำดิบความขุ่นสูงต้องใช้โพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน
ACH $Al_2(OH)_5Cl$	พีเอช 3.5 - 4.5 Al_2O_3 23 - 24%	- ใช้ปริมาณน้อย - พีเอชของน้ำหลังตกตะกอนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย - อะลูมิเนียมตกค้างในน้ำน้อยกว่าสารส้ม - ช่วงพีเอชในการตกตะกอนกว้าง (5-9) - สามารถบำบัดน้ำเสียทางอุตสาหกรรม เช่น สี โลหะ ฟอสเฟต เป็นต้น	- ราคาสูงกว่าสารส้ม
PACl $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	พีเอช 3.5 - 5 Al_2O_3 14 - 15%	- ใช้ปริมาณน้อย - พีเอชของน้ำหลังตกตะกอนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย - อะลูมิเนียมตกค้างในน้ำน้อยกว่าสารส้ม	- ราคาสูงกว่าสารส้ม

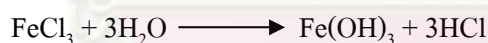
2.6.5 สารตกตะกอนอื่นๆ ได้แก่

1.) เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมีว่า $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หรือ FeCl_3 anhydrous มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง และเป็นเม็ดสีเขียวหรือดำและยังมีในรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติละลายน้ำได้ดีและเติมน้ำดิบในรูปสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรด และกัดกร่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)

เฟอริกคลอไรด์จะเป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบเหล็ก เมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวก สามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในน้ำ ตะกอน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอนและเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ bicarbonate alkalinity



กระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้มไม่อาจได้ผลดีนักกับน้ำอ่อนที่มีสีเข้ม กรณีเช่นนี้เฟอริกคลอไรด์ให้ผลดีกว่า เมื่อเติมเฟอริกคลอไรด์ให้กับน้ำจะมีผลึกเฟอริกไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ดังนี้ (มันลิน, 2542ก)

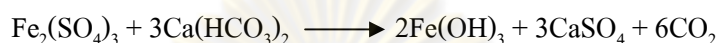


ข้อดีอีกประการของเฟอริกคลอไรด์คือ สามารถตกตะกอนกับน้ำที่มี H_2S ได้ดี

2.) เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า copperas ในการใช้งานต้องการน้ำที่มีความเป็นด่างไปคาร์บอเนต เพราะน้ำทั่วไปจะมีความเป็นด่างไม่เพียงพอ สำหรับทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสซัลเฟตให้เกิดเฟอร์รัสออกไซด์ ไม่เหมาะที่จะใช้กับน้ำที่มีความกระด้างต่ำหรือมีสี ไม่ควรใช้สารตัวนี้เพียงตัวเดียวในการผลิตน้ำประปา ในการใช้งานเฟอร์รัสซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำหรือโดยการเติมด่างลงไปให้น้ำ เพื่อให้เกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) แต่เนื่องจากเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ละลายน้ำได้ดี จึงต้องออกซิไดซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งละลายน้ำได้น้อย เพื่อจะได้ใช้

ประโยชน์ได้ การออกซิไดซ์จะเกิดขึ้นที่พีเอชของน้ำค่อนข้างสูงกว่า 8.4 เท่านั้น โดยการเติมอากาศ เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ หรือการเติมคลอรีน

3.) เฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric sulfate) มีสูตรทางเคมีว่า $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ใช้ตกตะกอนได้ในช่วงพีเอชที่กว้างตั้งแต่ 4 - 11 ใช้ในการกำจัดสีที่ช่วงพีเอช 5.6 ได้และยังเหมาะสำหรับการกำจัดเหล็กและแมงกานีสที่พีเอชสูงอีกด้วย ในการใช้งานเฟอร์ริกซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำหรือด่างที่เติมลงไป เช่น ปูนขาว หรือ โซดาแอช ดังสมการ



2.7 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aid)

สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) หมายถึงสารที่ช่วยทำให้สารสร้างตะกอนมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของสารช่วยสร้างตะกอน ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ แอ็คติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ดินเหนียวชนิดต่างๆ ปูนขาว เป็นต้น ในปัจจุบันสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ สารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่างๆ ซึ่งเรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) หรือ โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) เมื่อเติมลงไปโพลีเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนมาสัมผัสและยึดเกาะ

สารช่วยสร้างตะกอนมักไม่ใช่สิ่งจำเป็นในกระบวนการตกตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา ทั้งนี้เพราะลำพังเพียงสารส้มหรือสารประกอบเหล็ก สามารถตกตะกอนให้กับน้ำดิบตามธรรมชาติได้โดยไม่ยาก อย่างไรก็ตามในบางครั้งการใช้สารตกตะกอนเพียงอย่างเดียวอาจสิ้นเปลืองมากในกรณีที่น้ำที่มีความขุ่นสูงการใช้สารช่วยสร้างตะกอนเพียงเล็กน้อยอาจช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายสารตกตะกอนได้ โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

1.) โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)

2.) โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ สังเคราะห์ขึ้นจากโมโนเมอร์หลายๆ โมโนเมอร์รวมกันหรือสามารถทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มหน้าที่ของโมโนเมอร์ องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของโพลีเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว

ประเภทของโพลีเมอร์สามารถแบ่งได้ตามชนิดของโมโนเมอร์ ดังนี้

1.) โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนโพลีเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของ Nitrogen groups มีประสิทธิภาพในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่าง Cationic Polymer ได้แก่ Polydiallyldimethyl ammonium เป็นต้น

2.) โพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ acrylamide ที่ละลายอยู่ใน acrylic acid ตัวอย่าง Anionic Polymer ได้แก่ Polyacrylamide acid (PAA) hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) และ polystyrene sulfate (PSS) สารรวมตะกอน Anionic Polymer มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่ม amide group (NH_2) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anionic monomer จนเป็น acrylamide polymer

3.) โพลีเมอร์ไม่มีประจุ (Nonionic Polymer) ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติ nonionic polymer อาจเกิดจากการรวมกันของสารอนินทรีย์โพลีเมอร์ inorganic polymer และสารอินทรีย์โพลีเมอร์ (organic polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของฟล็อก

Kawamura (1976) รายงานว่าการนำโพลีเมอร์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนหรือสารช่วยสร้างตะกอนให้ตกตะกอนกันอย่างง่าย เนื่องจาก

- การใช้โพลีเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดได้
- ทำให้ได้ตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น
- ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยเมื่อเทียบกับสารตกตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็ก
- ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนรวดเร็วกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน

- สะดวกในการใช้งาน
- ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้
- โพลีเมอร์จะทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน
- ทำให้สารเคมีบางชนิด เช่น ซัลเฟตตกค้างในน้ำในปริมาณที่น้อย

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 กระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี

Lindqvist *et al.* (2002) ศึกษาการกำจัด natural organic matter จากทะเลสาบ Roine ประเทศฟินแลนด์โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารโคแอกกูแลนต์ 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม อะลูมินัมคลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ เฟอริกคลอไรด์ และเฟอริกซัลเฟต และสารช่วยตกตะกอน (Polymeric Flocculant Aids) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของ ACH อยู่ในช่วง 6.6 – 6.8 ปริมาณที่เหมาะสมของ mg ACH/mg ของสารอินทรีย์ละลายน้ำเท่ากับ 1.3 mg Al/mg ของสารอินทรีย์ละลายน้ำ และเมื่อใช้ Polyacrylamide ร่วมกับ ACH สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด

Bachand *et al.* (2006) ศึกษาการบำบัดความขุ่นและฟอสฟอรัสในน้ำจากทะเลสาบ Tahoe ช่วงฤดูฝนความขุ่นประมาณ 65-90 NTU โดยใช้ ACH เป็นสารตกตะกอน ทำการกวนเร็วที่ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที กวนช้าที่ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้น 3.8 mgAl³⁺/L สามารถลดความขุ่นเหลือ 2.36 NTU และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสเหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

Tran *et al.* (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 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 60 นาที พบว่า ACH ที่ความเข้มข้น 322 µmol/L สามารถกำจัดความขุ่นของแม่น้ำ Ouyen ได้ 87-93 % และที่ความเข้มข้น 351 µmol/L สามารถกำจัดความขุ่นของแม่น้ำ Meredith ได้ 85-89 %

รัฐฉนวน (2540) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำของสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท จังหวัดชลบุรี มาผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการตกตะกอน ด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ กับสารช่วยสร้างตะกอน 4 ชนิด คือ ปูนขาว โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ไม่มีประจุ พบว่า สารเคมีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ที่ปริมาณเหมาะสม 70 มก./ล. ที่พีเอชเหมาะสม 7 ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ปริมาณเหมาะสม 0.4 มก./ล. โดยเติมก่อนโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด 99.68% ให้อัตราเร็วในการตกตะกอนสูงสุด คือ 1.2604 ซม./นาทีก่อน ให้ปริมาณตะกอนน้อยที่สุด คือ 285 มล./ล. ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 3.27 บาท/ลบ.ม. น้ำดิบ คุณภาพน้ำหลังกระบวนการตกตะกอนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค

โสภาส (2546) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยกระบวนการตกตะกอน โดยใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ สารส้ม ปูนขาว และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่า สารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีปริมาณที่เหมาะสม คือ 280, 1,100 และ 100 มก./ล. ตามลำดับ พีเอชที่เหมาะสมของสารส้มและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชก่อนการบำบัด แต่ปูนขาวจำเป็นต้องปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด เมื่อเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนทั้งสามชนิดพบว่า โพลีอะลูมินัมคลอไรด์มีความเหมาะสมจะใช้เป็นสารสร้างตะกอนมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ร้อยละ 99.54 บำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 88.21 บำบัดซีโอดีได้ร้อยละ 87.63 บำบัดสารแขวนลอยได้ร้อยละ 91.60 บำบัดทีเคเอ็นได้ร้อยละ 24.92 บำบัดฟอสเฟตทั้งหมดได้ร้อยละ 94.14 ค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการบำบัดคือ 10.24 บาท/ลบ.ม.

ทิตยา (2549) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ด้วยสารสร้างตะกอนได้แก่ สารส้ม ไซโตซาน เฟอริคคลอไรด์และโพลีอิเล็กโตรไลต์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยสารส้ม คือ ที่ความเข้มข้น 500 มก./ล. พีเอช 8 บำบัดซีโอดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 88.89, 85.60 และ 86.23 ตามลำดับ การบำบัดด้วยเฟอริคคลอไรด์มีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้น 500 มก./ล. พีเอช 10 สามารถบำบัดซีดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 100, 84.23 และ 60.29 ตามลำดับ การบำบัดด้วยโพลีอิเล็กโตรไลต์ที่มีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ความเข้มข้น 0.7 มก./ล. พีเอช 6 สามารถบำบัดซีโอดี สี และความขุ่นได้ร้อยละ 52.78, 50.72 และ 77.09 ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วย

ไคโตซานไม่สามารถบำบัดซีโอดีได้ สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีและความขุ่น คือ ที่ความเข้มข้น 80 มก./ล. พีเอช 6 สามารถบำบัดสีและความขุ่นได้ร้อยละ 59.10 และ 69.13 ตามลำดับ สารเคมีที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทดลองครั้งนี้คือ สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ และ โพลีเอเลกโตรไลต์ ตามลำดับ

วิโรจน์ (2544) ทำการศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ด้วยวิธีจาร์เทสต์ใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาในการกวนเดียวกับโรงงานผลิตน้ำประปamahasarakham โดยใช้สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบและโพลีเมอร์ไม่มีประจุ พบว่า สภาวะที่สามารถลดความขุ่นให้เหลือไม่เกิน 3 เอ็นทียู และค่าใช้จ่ายต่ำสุด เมื่อนำคิบมีความขุ่น 42.2 – 44.2 เอ็นทียู สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดคือ ไม่ปรับพีเอช และใช้เฟอริกคลอไรด์ 10 มก./ล. ความขุ่นคงเหลือ 2.89 เอ็นทียู ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 93.37% ค่าใช้จ่ายสารเคมี 0.13 บาท/ลบ.ม. เมื่อนำคิบมีความขุ่น 21.7 – 24.3 เอ็นทียู สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดคือ ไม่ปรับพีเอชและใช้เฟอริกคลอไรด์ 6 มก./ล. ความขุ่นคงเหลือ 2.61 เอ็นทียู ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 88.59% ค่าใช้จ่ายสารเคมี 0.08 บาท/ลบ.ม. เมื่อนำคิบมีความขุ่น 11.09 – 17.91 เอ็นทียู สภาวะการตกตะกอนที่ดีที่สุดคือ ไม่ปรับพีเอชและใช้เฟอริกคลอไรด์ 4 มก./ล. ความขุ่นคงเหลือ 2.62 เอ็นทียู ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 82.38% ค่าใช้จ่ายสารเคมี 0.05 บาท/ลบ.ม.

2.8.2 พารามิเตอร์ในการกวนผสม

เสกสรร (2530) ได้ทำการศึกษาการลดความกระด้างและความขุ่นจากน้ำบาดาลและน้ำผิวดินด้วยปูนสุก 367.1 มก./ล. และใช้สารส้ม 20 มก./ล. โดยใช้จาร์เทสต์ ที่ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็ว $G_R = 250 \text{ s}^{-1}$ ทำการแปรค่าเวลาในการกวนเร็ว 5 - 10 นาที ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า $G_S = 20 - 100 \text{ s}^{-1}$ และเวลาในการกวนช้า 10 - 40 นาที พบว่าได้การกวนผสมที่ให้ความกระด้างที่เหลือต่ำสุดเมื่อใช้เวลาในการกวนเร็ว 10 นาที ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าที่ 40 s^{-1} และเวลาในการกวนช้า 40 นาที โดยความกระด้างที่เหลือต่ำที่สุดของน้ำบาดาลเท่ากับ 9 มก./ล. เทียบกับ CaCO_3 และความขุ่นของน้ำบาดาลที่ผ่านกำจัดมีค่าเท่ากับ 2 เอ็นทียู ส่วนน้ำผิวดินได้การกวนผสมที่ให้ความกระด้างที่เหลือต่ำสุดเมื่อใช้เวลาในการกวนเร็ว 10 นาที ค่าเกรเดียนต์

ความเร็วของการกวนช้าที่ $60 - 100 \text{ s}^{-1}$ และเวลาในการกวนช้า 40 นาที โดยความกระด้างที่เหลือต่ำที่สุดเท่ากับ 12 มก./ล. เทียบกับ CaCO_3 และความขุ่นของน้ำผิวดินที่ผ่านการกำจัดมีค่าเท่ากับ 3 เอ็นทียู และจากงานวิจัยพบว่าความขุ่นของน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ผ่านการกำจัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกวนเร็ว ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าและเวลาในการกวนช้าเพิ่มขึ้น

Letterman, Quon และ Gemmell (1973) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความขุ่นที่ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ $G_R = 1000 \text{ s}^{-1}$ โดยใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. และผงคาร์บอน 50 มก./ล. พบว่าความขุ่นที่เหลือมีค่าต่ำที่สุดที่เวลาในการกวน 2.5 นาที และความขุ่นที่เหลือจะกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกวนเพิ่มขึ้น

Villegas และ Letterman (1976) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความขุ่นที่ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็ว $G_R = 800 \text{ s}^{-1}$ เวลาในการกวนเร็ว 3 นาที โดยใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนที่ความเข้มข้น 10 มก./ล. พบว่าความขุ่นที่เหลือมีค่าต่ำที่สุดที่ $G_S = 25 \text{ s}^{-1}$ เมื่อเวลาในการกวนช้าเท่ากับ 40 นาที และที่ $G_S = 45 \text{ s}^{-1}$ เมื่อเวลาในการกวนช้าเท่ากับ 10 นาที แต่ความขุ่นที่เหลือจะกลับเพิ่มขึ้นเมื่อ G_S เพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- 1) อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar test)
- 2) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- 3) เครื่องวัดความขุ่น (Turbid meter)
- 4) เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด (Analytical balance)
- 5) เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)
- 6) ตู้อบ (Oven)

3.2 สารเคมี

1) อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต (Aluminium chlorohydrate; ACH) เข้มข้น 50% ชื่อทางการค้า K300 บริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ พีเอชของสารละลาย 3.5 - 4.5 องค์กรประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 23 - 24%

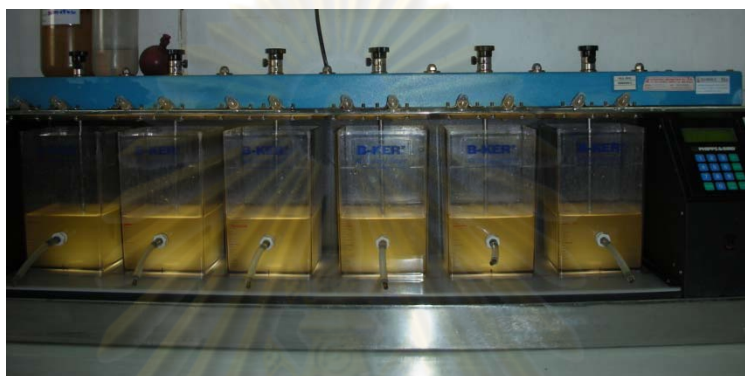
2) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง (Modified Polyaluminium chloride; Modified PACl) เข้มข้น 15% ชื่อทางการค้า GL-15 บริษัทบรอมมา (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-nm}$ พีเอชของสารละลาย 3.5 - 5 องค์กรประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 14 - 15%

3) สารส้ม (Alum) เข้มข้น 50% มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ พีเอชของสารละลาย 3.5 - 5 องค์กรประกอบของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 8 - 8.5%

- 4) โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer)
- 5) โพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer)

3.3 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และโรงงานผลิตน้ำสามเสน โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินและน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสน โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ทดลองกำจัดความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินและน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสนด้วยสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์จาร์ทดสอบ

3.4 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินโดยใช้ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต

ส่วนที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต

ส่วนที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปา โดยเปรียบเทียบ สารตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งและ สารส้ม

3.4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ค่าเกรเดียนต์ความเร็วและระยะเวลาในการกวน เวลาในการตกตะกอน ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินเริ่มต้น ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ชนิดและความเข้มข้นของโพลีเมอร์ ค่าพีเอชเริ่มต้น พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ ความขุ่นและพีเอช

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความขุ่น	Nephelometric Method
2. พีเอช	pH meter

3.4.1.1 การเตรียมน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน (ฟิงอร์, 2545)

น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองใช้น้ำสังเคราะห์จากดินคาโอลิน สาเหตุที่เลือกดินชนิดนี้เนื่องจากเป็นแร่ดินที่พบมากในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ของประเทศไทย ระดับความขุ่นที่ใช้ในการวิจัย คือ 50, 100, 200 และ 400 เอ็นทียู เนื่องจากขนาดอนุภาคของน้ำสังเคราะห์อยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอน จึงต้องทำการคัดขนาดของอนุภาค โดยปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลินตกตะกอนในน้ำนิ่งตามเวลา และความลึกที่ประมาณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบไดค (Discrete Setting) ที่ประยุกต์จากกฎของสโตค (Stoke's Law) ตามสมการดังนี้

$$V_s = g(\rho_s - \rho)d^2(18\mu)$$

เมื่อ V_s คือ ความเร็วในการจมตัวแบบอิสระของอนุภาค (ม./วินาที²)

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที²)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของอนุภาค (กก.(มวล)/ลบ.ม.)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กก.(มวล)/ลบ.ม.)

d คือ ขนาดของอนุภาค (ม.)

μ คือ ความหนืดของน้ำ (นิวตัน-วินาที/ตร.ม.)

ในกรณีของดินคาโอลินซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2,380 กก.(มวล)/ลบ.ม. เมื่อแทนในสมการจะได้ความเร็วในการจมตัวเท่ากับ 8.45×10^{-7} เมตร/วินาที หรือ 0.3 เมตร/ชั่วโมง เมื่อให้เวลาจมตัว อนุภาคที่ลอยอยู่ในระดับ 14.4 เซนติเมตรจากผิวน้ำจะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน

การเตรียมน้ำสังเคราะห์สามารถเตรียมได้ดังนี้

1) นำดินคาโอลินผสมกับน้ำแล้วกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้อนุภาคดินกระจายอย่างทั่วถึง

2) ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3) ดูดน้ำออกด้วยวิธีกาลักน้ำ โดยเริ่มดูดจากตำแหน่งที่ลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 14.4 เซนติเมตร

4) เจือจางน้ำสังเคราะห์ด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งได้ความขุ่นตามต้องการ

3.4.1.2 การศึกษาผลของค่าเกรเดียนต์ความเร็ว ระยะเวลาในการกวน และเวลาในการตกตะกอน

การตกตะกอน

พารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่

1) น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 50 เอ็นทียู ไม่ปรับค่าพีเอชเริ่มต้น

2) ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต 1, 3, 5, 7, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

พารามิเตอร์ที่มีค่าแปร

1) ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็ว, G_R มีค่าแปรเป็น 469 และ 702 วินาที⁻¹

ตามลำดับ

2) เวลาพักน้ำของการกวนเร็ว, T_R มีค่าแปรเป็น 1, 5, 7.5 และ 10 นาที ตามลำดับ

3) ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า, G_S มีค่าแปรเป็น 35, 96, 112, 158, 214 และ 275 วินาที⁻¹ ตามลำดับ

4) เวลาพักน้ำของการกวนช้า, T_R มีค่าแปรเป็น 10, 15, 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ

5) เวลาในการตกตะกอนมีค่าแปรเป็น 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

ตารางที่ 3.2 ค่าเกรเดียนต์ความเร็วที่ใช้ในการทดลอง

รอบต่อนาที	23	45	50	63	77	91	130	170
G, วินาที ⁻¹	35	96	112	158	214	275	469	702

มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ตวงน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่น 50 เอ็นทียู ไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น จำนวน 6 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร

2) เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ 6 ค่า ได้แก่ 1, 3, 5, 7, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนเร็วที่ $G_R = 469$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที

3) กวนช้าที่ $G_S = 35$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 10 นาที

4) ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที

5) คุคน้ำใสส่วนบนเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและพีเอช

6) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) - 5) โดยแปรผันค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วและกวนช้า เวลาพักน้ำของการกวนเร็วและกวนช้า และเวลาในการตกตะกอน

3.4.1.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์

ทดลองน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า ได้แก่ 50, 100, 200 และ 400 เอ็นทียู โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ตวงน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่น 50 เอ็นทียู ไม่ปรับเปลี่ยนค่าพีเอช เริ่มต้นจำนวน 6 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร

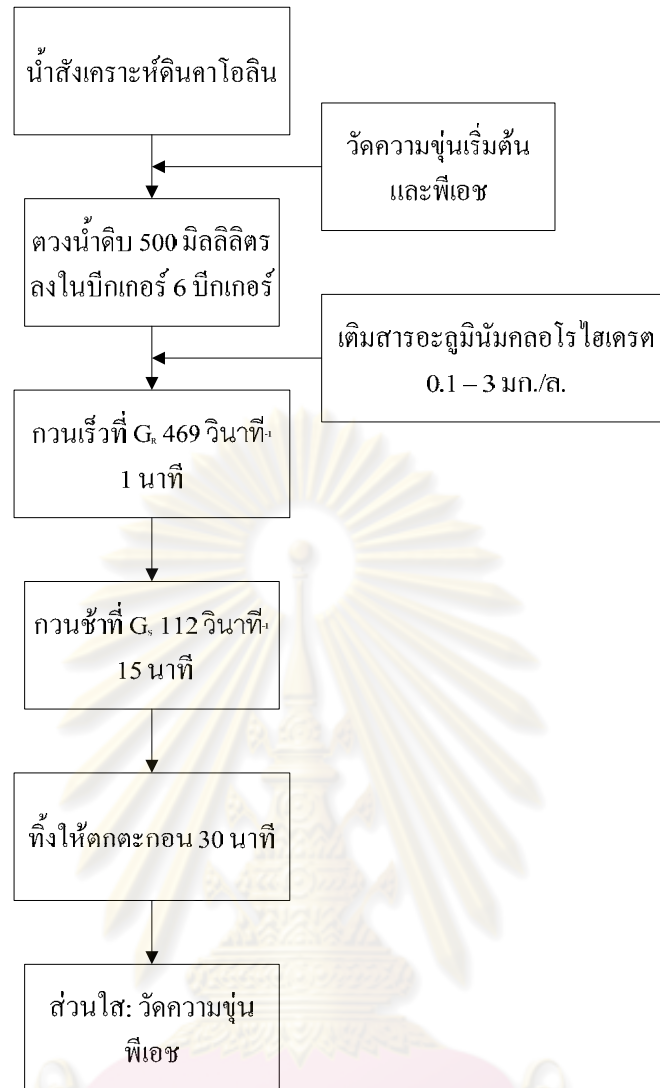
2) เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่างๆ 6 ค่า ได้แก่ 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนเร็วที่ $G_R = 469$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ $G_S = 112$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที

3) ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที

4) คุคน้ำใสส่วนบนเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและพีเอช

จะได้ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 50 เอ็นทียู

5) ปรับเปลี่ยนค่าความขุ่นเริ่มต้นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินเป็น 100, 200 และ 400 เอ็นทียู แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 1) - 4)



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลองหาปริมาณสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

3.4.1.4 การศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

ทดลองน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า ได้แก่ 50, 100, 200 และ 400 เอ็นทียู ปรับเปลี่ยนค่าพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 นอร์มอล ให้ค่าพีเอชเริ่มต้นน้ำสังเคราะห์ 4 ค่า ได้แก่ 5, 6, 7 และ 8 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.3

- 1) ดวงน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่น 50 เอ็นทียู ทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นตั้งแต่ 5 - 8 จำนวนรวม 4 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร
- 2) เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนเร็วที่ $G_R = 469$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ $G_S = 112$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที

- 3) ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที
- 4) ดูคน้ำใสส่วนบนเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและพีเอช
- 5) ปรับเปลี่ยนค่าความขุ่นเริ่มต้นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินเป็น 100, 200 และ 400 เอ็นทียู แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 1) – 4)

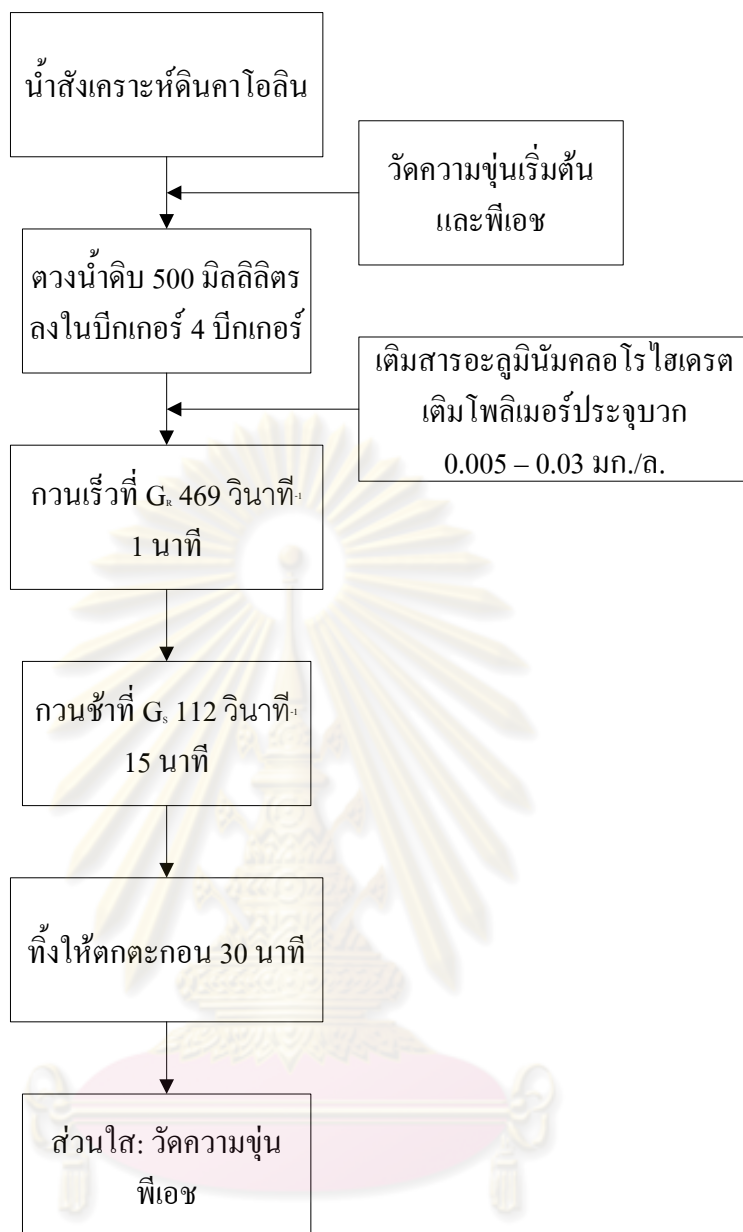


รูปที่ 3.3 แผนการทดลองหาพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

3.4.1.5 การศึกษาผลความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุบวก

ทดลองน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า ได้แก่ 50 100 200 และ 400 เอ็นทียู ปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุบวก 4 ค่า ได้แก่ 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.4

- 1) ตวงน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่น 50 เอ็นทียู ไม่ปรับเปลี่ยนค่าพีเอช เริ่มต้นจำนวน 4 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร
- 2) เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ และโพลิเมอร์ประจุบวกเข้มข้น 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนเร็วที่ $G_R = 469 \text{ วินาที}^{-1}$ เป็นเวลา 1 นาที
- 3) กวนช้าที่ $G_S = 112 \text{ วินาที}^{-1}$ เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที
- 4) ควบน้ำใสส่วนบนเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและพีเอช
- 5) ปรับเปลี่ยนค่าความขุ่นเริ่มต้นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินเป็น 100, 200 และ 400 เอ็นทียู แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 1) – 4)



รูปที่ 3.4 แผนการทดลองหาปริมาณโพลีเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

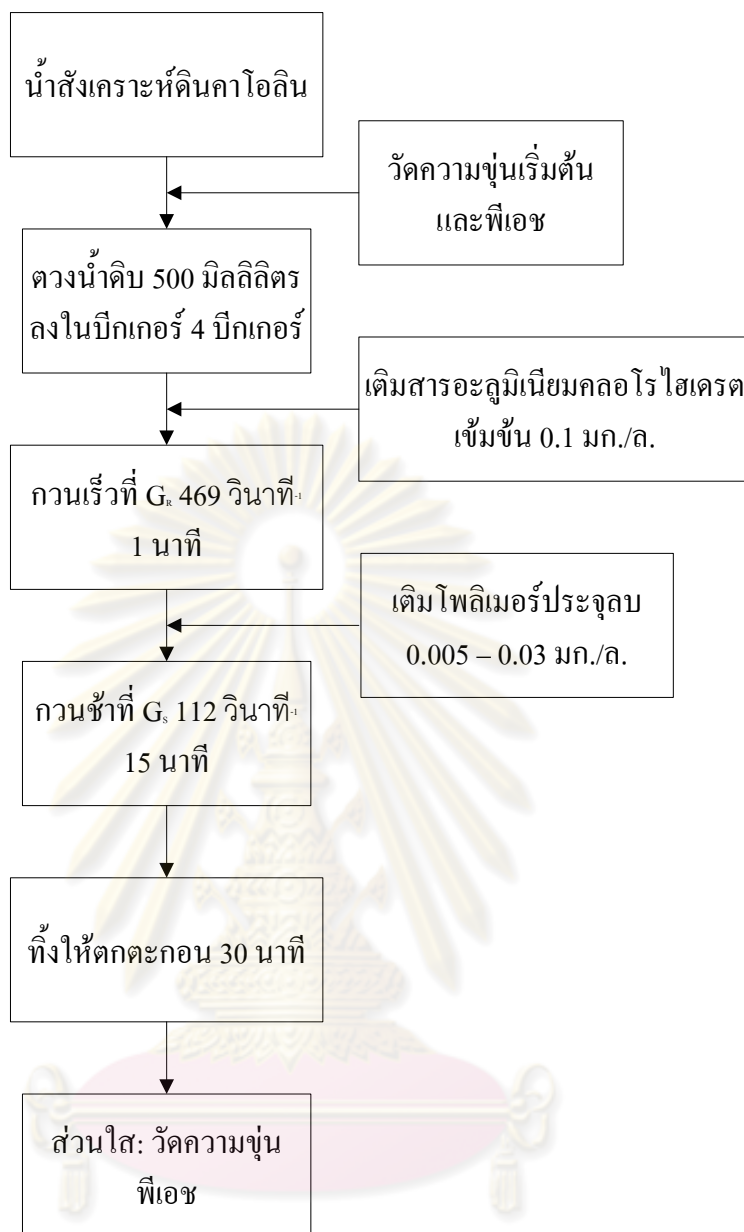
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.1.6 การศึกษาผลความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ

ทดลองน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า ได้แก่ 50 100 200 และ 400 เอ็นทียู ปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ 4 ค่า ได้แก่ 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.5

- 1) เตรียมน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่น 50 เอ็นทียู ไม่ปรับเปลี่ยนค่าพีเอช เริ่มต้นจำนวน 4 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร
- 2) เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนเร็วที่ $G_R = 469 \text{ วินาที}^{-1}$ เป็นเวลา 1 นาที
- 3) เติมโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนช้าที่ $G_S = 112 \text{ วินาที}^{-1}$ เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที
- 4) คูดน้ำใสส่วนบนเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและพีเอช
- 5) ปรับเปลี่ยนค่าความขุ่นเริ่มต้นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินเป็น 100, 200 และ 400 เอ็นทียู แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 1) – 4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 แผนการทดลองหาปริมาณ โพลีเมอร์ประจุลบที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสนโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ ชนิดและปริมาณของโพลิเมอร์และลักษณะน้ำดิบเริ่มต้น โดยใช้น้ำตัวอย่างเป็นน้ำดิบ 2 ฤดูกาล ได้แก่ ตัวอย่างน้ำดิบในฤดูแล้งและตัวอย่างน้ำในฤดูฝน พารามิเตอร์ที่ทำการการวิเคราะห์ คือ ความขุ่น พีเอช ความเป็นค่าต่าง ตะกอนหนัก อัตราการกรอง และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำและตะกอน

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความขุ่น	Nephelometric Method
2. พีเอช	pH meter
3. ความเป็นค่าต่าง	Titration
4. ตะกอนหนัก	Imhoff cone
5. อัตราการกรอง	Time – to – Filter
6. ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ	Eriochrome Cyanine R Colorimetric
7. ปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอน	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

วิธีการทดลอง

ตัวอย่างน้ำดิบจากคลองประปาในฤดูแล้งได้เก็บตัวอย่างในเดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 ส่วนน้ำในฤดูฝน เก็บตัวอย่างทดลองในเดือนกรกฎาคม – เดือนกันยายน พ.ศ. 2552 โดยมีการดำเนินการทดลองดังรูปที่ 3.6

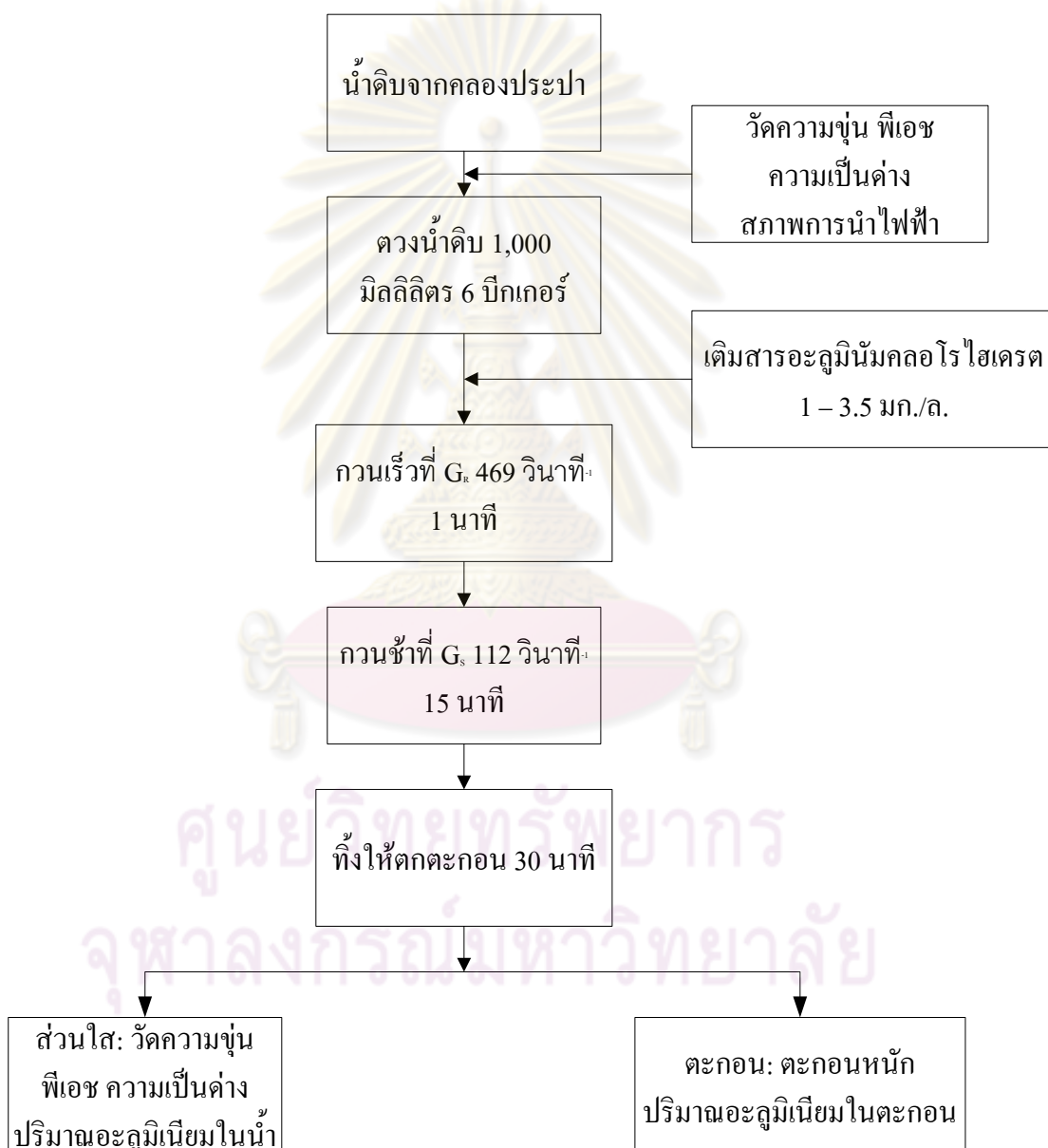
- 1) นำน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสน มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความขุ่น พีเอช ความเป็นค่าต่าง และสภาพการนำไฟฟ้า
- 2) เติมน้ำดิบปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 6 ใบ

3) เติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต ความเข้มข้นต่างๆ 6 ค่า ได้แก่ 1, 1.5, 2, 2.5, 3 และ 3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร กวนเร็วที่ $G_R = 469$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ $G_S = 112$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที

4) ทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที

5) คูดน้ำใสส่วนบนเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่น พีเอช ความเป็นด่าง ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ

6) ส่วนของตะกอนนำมาวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอน



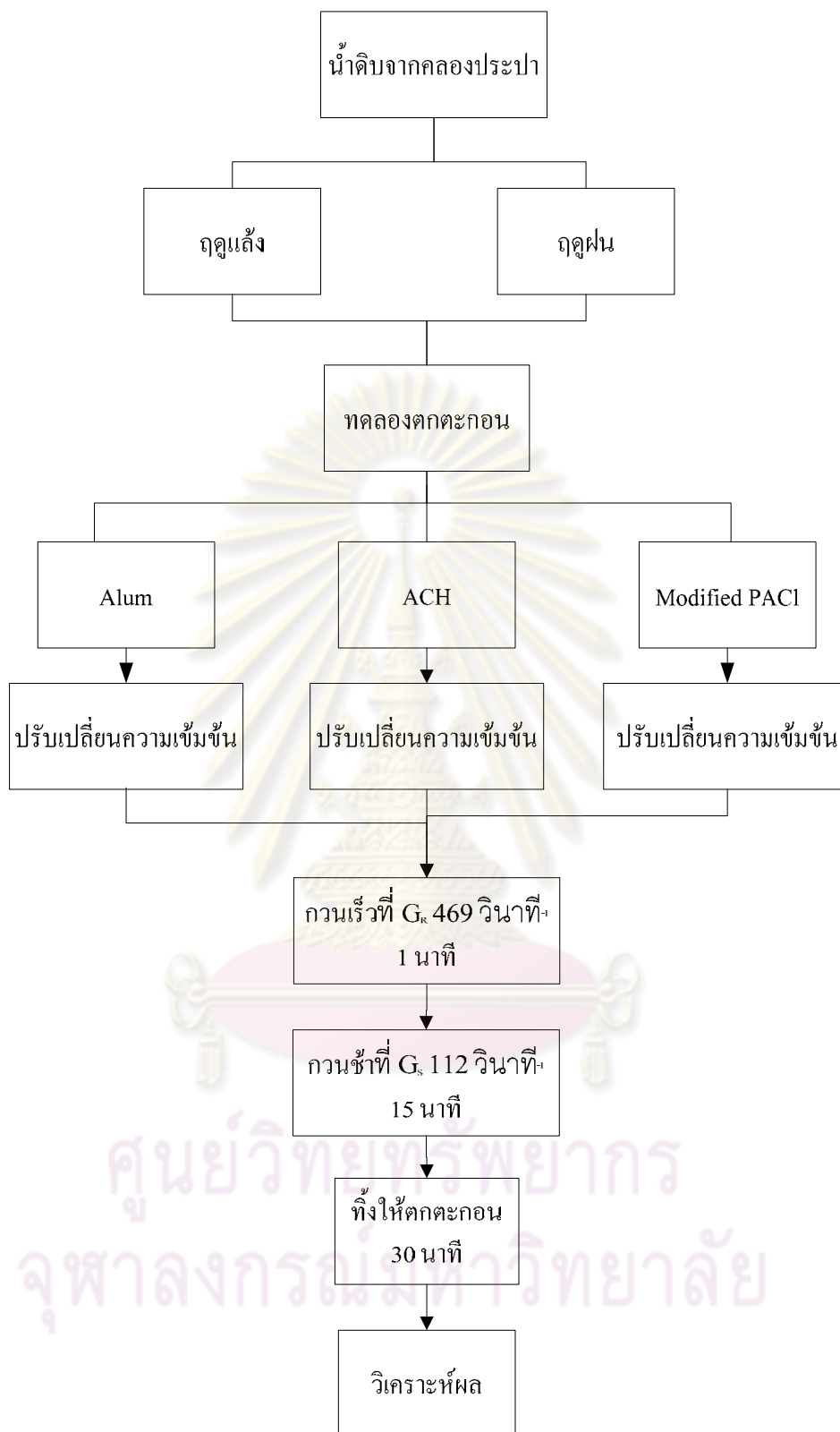
รูปที่ 3.6 แผนผังการทดลองตกตะกอนน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต

3.4.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปาโดยใช้สารตกตะกอนแตกต่างกัน

การทดลองนี้จะทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา โดยใช้สารตกตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ โพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง และสารส้ม โดยทดลองเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำดิบจากคลองประปา โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด และปรับเปลี่ยนโพลีเมอร์ประจุบวก รวมทั้งประเมินค่าใช้จ่ายสารเคมีในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปา ซึ่งมีวิธีการทดลองเหมือนหัวข้อส่วนที่ 2 ดังรูปที่ 3.7



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 แผนการทดลองหาปริมาณสารตกตะกอนชนิดต่างๆ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินและน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสน โดยให้อนุภาคของดินคาโอลินเป็นตัวแทนความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากดินคาโอลินจากบริษัทอาศรม จำกัด และน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำสามเสน ถนนพระรามที่หก ในช่วงฤดูแล้ง (เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน 2552) และช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม – เดือนสิงหาคม 2552)

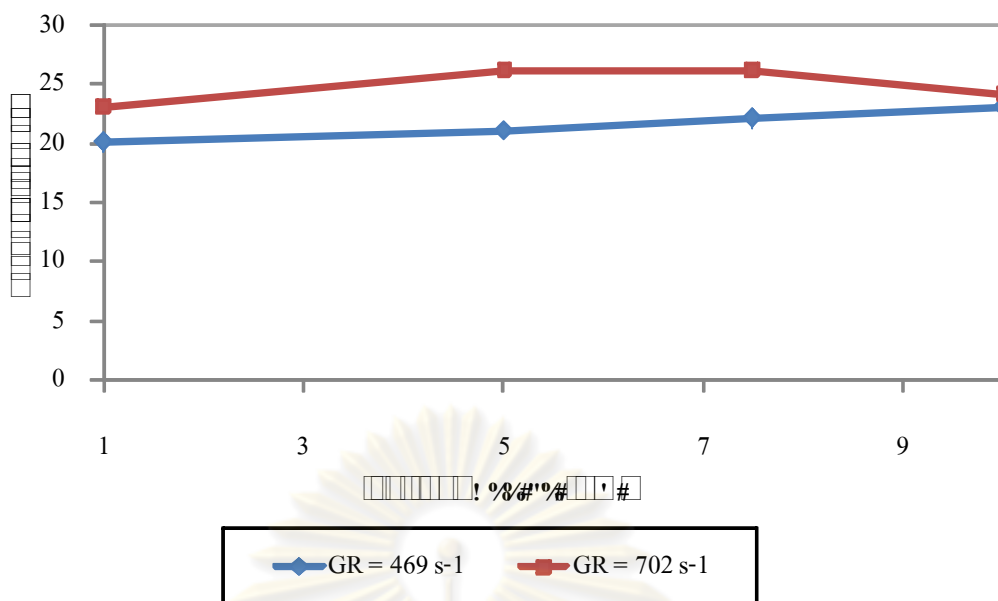
4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

4.1.1 การศึกษาผลของค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวน ระยะเวลาการกวน และเวลาในการตกตะกอน

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็ว ระยะเวลาในการกวนเร็ว ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า ระยะเวลาในการกวนช้า และเวลาในการตกตะกอน โดยน้ำดิบที่ใช้เป็นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 50 เอ็นทียู และใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารตกตะกอน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1.1 ผลของค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วและระยะเวลาในการกวนเร็ว

การทดลองปรับเปลี่ยนค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ $G_R = 469$ และ 702 วินาที^{-1} แล้วปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วที่ 1, 5, 7.5 และ 10 นาที โดยกำหนดค่าต่างๆ ให้คงที่ ได้แก่ ความเร็วของการกวนช้าที่ $G_S = 35 \text{ วินาที}^{-1}$ เวลาในการกวนช้าเป็นเวลา 10 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที



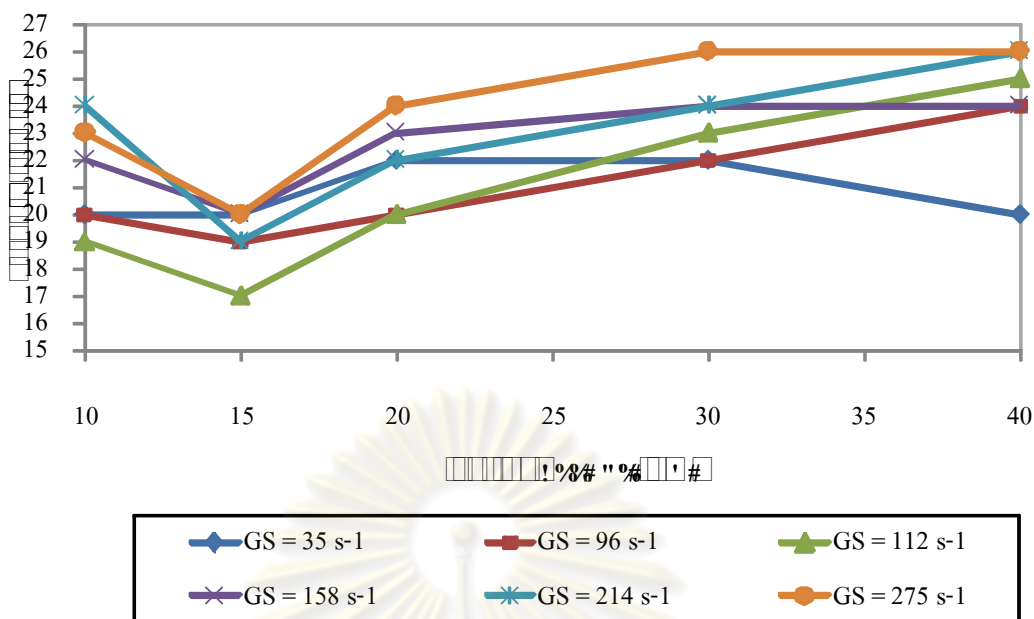
รูปที่ 4.1 ค่าความขุ่นที่เหลือเมื่อกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 เมื่อกำหนดให้เวลาในการกวนเร็วคงที่ที่ 1 นาที ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ให้ความขุ่นเหลือต่ำที่สุดเท่ากับการกวนเร็วที่ $G_R = 469 \text{ s}^{-1}$ โดยความขุ่นเหลือต่ำที่สุดเท่ากับ 20 เอ็นทียู

ที่ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ $G_R = 469 \text{ s}^{-1}$ ความขุ่นที่เหลือต่ำสุดจะขึ้นอยู่กับเวลาในการกวนเร็ว โดยค่าความขุ่นมีค่าต่ำสุดที่เวลาในการกวนเร็วที่ 1 นาที และจากการทดลองพบว่าความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกำจัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกวนเพิ่มขึ้น โดยในตอนแรกอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่กระจายอย่างทั่วถึงในขั้นตอนการกวนเร็ว ทำให้ฟล็อกปฐุมขึ้นและเมื่อเวลาผ่านไปฟล็อกปฐุมจะเกิดการสัมผัสกันเนื่องจากผลของค่าเกรเดียนต์ความเร็วและเพิ่มขนาดขึ้นไป จนกระทั่งฟล็อกปฐุมมีขนาดใหญ่ที่สุด ถ้าเวลาในการกวนเพิ่มขึ้น ฟล็อกปฐุมก็จะแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลง เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเป็นผลให้ความขุ่นกลับเพิ่มขึ้น

4.1.1.2 ผลของค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าและระยะเวลาในการกวนช้า

การทดลองกำจัดความขุ่นโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร กำหนดให้ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ $G_R = 469 \text{ วินาที}^{-1}$ และระยะเวลาการกวนเร็ว 1 นาที แล้วปรับเปลี่ยนค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าที่ $G_S = 35, 96, 112, 158, 214$ และ 275 วินาที^{-1} และระยะเวลาในการกวนช้าที่ 10, 15, 20, 30 และ 40 นาที



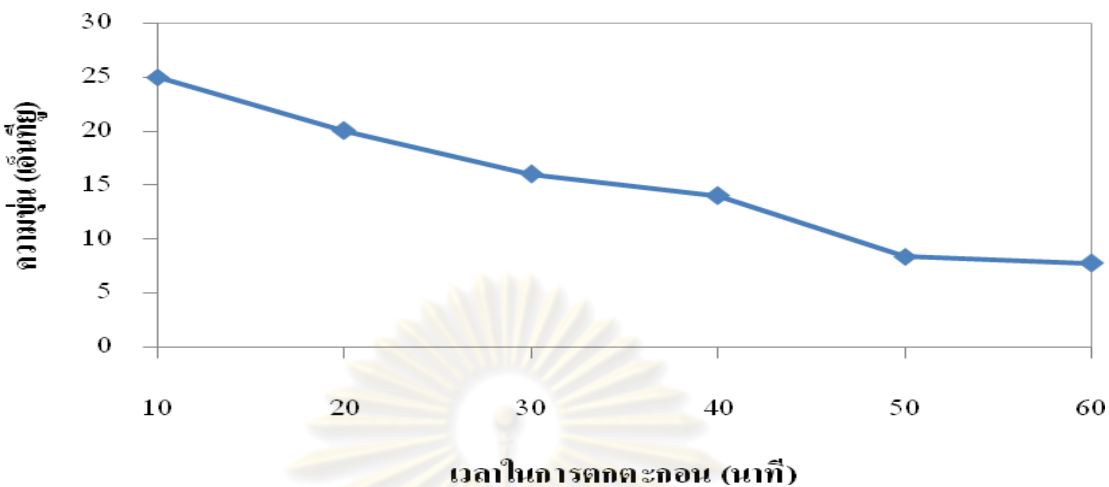
รูปที่ 4.2 ค่าความขุ่นที่เหลือเมื่อกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าต่างกัน

เมื่อกำหนดให้ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็วที่ $G_R = 469 \text{ s}^{-1}$ เวลาในการกวนเร็วที่ 1 นาที จากรูปที่ 4.2 ที่เวลาในการกวนช้า 10 นาที ที่ G_S 35, 96, 112, 158, 214 และ 275 s^{-1} พบว่าเมื่อค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า G_S เท่ากับ 112 s^{-1} มีความขุ่นที่เหลือน้อยที่สุด โดยค่าความขุ่นที่เหลือน้อยที่สุดเท่ากับ 19 เอ็นทิยู และจากการทดลองพบว่าค่าความขุ่นของน้ำสังเคราะห์หลังการกำจัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าเพิ่มขึ้น เพราะความปั่นป่วนของน้ำสูงขึ้นมีผลให้ฟล็อกปฐมแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็ก เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเป็นผลให้ความขุ่นกลับเพิ่มขึ้น และเมื่อกำหนดให้ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าที่ $G_S = 112 \text{ s}^{-1}$ ที่เวลาในการกวนช้า 10, 15, 20, 30 และ 40 นาที พบว่าค่าความขุ่นที่เหลือน้อยที่สุดที่เวลาในการกวนช้า 15 นาที โดยให้ค่าความขุ่นเท่ากับ 17 เอ็นทิยู ค่าความขุ่นของน้ำสังเคราะห์หลังการกำจัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกวนช้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามค่า G_S ทำให้ฟล็อกแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลงมากขึ้นเป็นผลให้ความขุ่นกลับเพิ่มขึ้น

4.1.1.3 ผลของเวลาในการตกตะกอน

การทดลองกำจัดความขุ่นโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 มก./ล. แล้วปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการตกตะกอนที่ 10, 20 และ 30 นาที ทำการกวนเร็วที่ $G_R = 469$

วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าที่ $G_s = 112$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที พบว่าเวลาในการตกตะกอน 30 นาทีสามารถกำจัดความขุ่นได้ต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นที่เหลือเมื่อกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เวลาของการตกตะกอนต่างกัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การทดลองกำจัดความขุ่น โดยการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนเร็วที่ $G_R = 469$ วินาที⁻¹ ระยะเวลาการกวนเร็ว 1 นาที เกรเดียนท์ความเร็วของการกวนช้าที่ $G_s = 112$ วินาที⁻¹ ระยะเวลาการกวนช้า 15 นาที และระยะเวลาในการตกตะกอน 30 นาที เหมาะสมที่สุด จึงกำหนดใช้ค่านี้ในการทดลองต่อไปทุกชุดการทดลอง

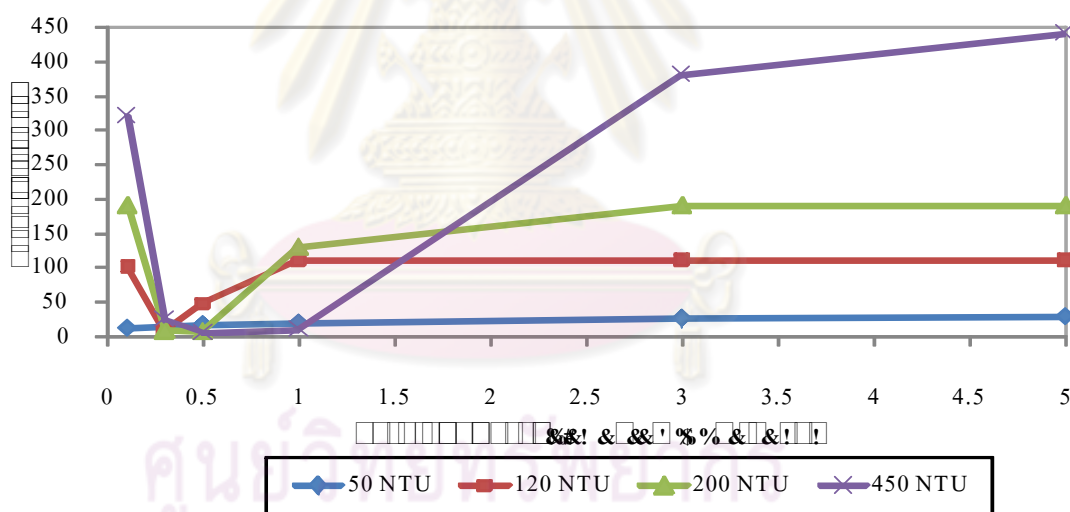
4.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

4.1.2.1 ผลของความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์

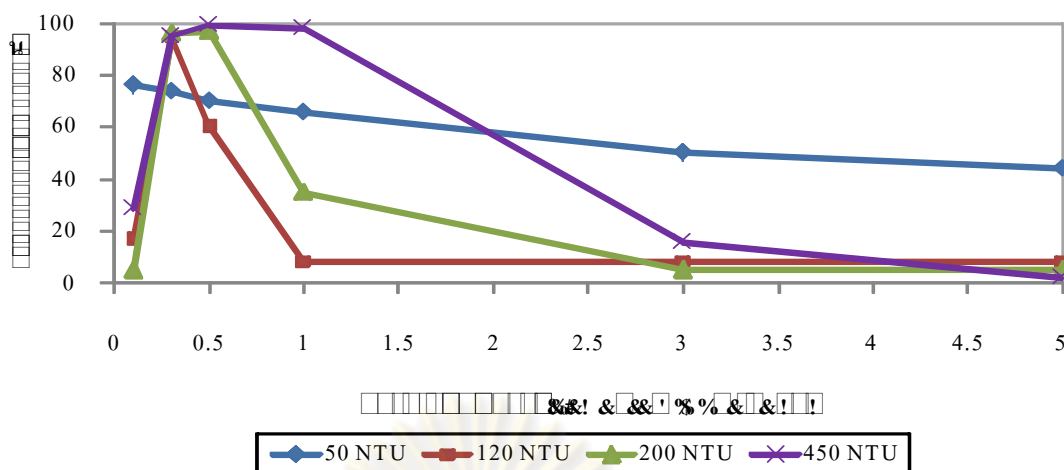
ในการทดลองนี้ทำการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ค่าความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า ตั้งแต่ 50 – 450 เอ็นทียู ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ 3 – 5 ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ 0.1 – 5 มก./ล. จากการทดลองพบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินขึ้นกับความขุ่นเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ โดยถ้าความขุ่นเริ่มต้นสูงขึ้นก็ต้องใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณมากขึ้นด้วย ที่ความขุ่นเริ่มต้น 50 เอ็นทียู ใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.1 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือต่ำสุด 12 เอ็นทียู มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 76 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 120 เอ็นทียู ใช้อะลูมิเนียม

คลอโรไฮเดรต 0.3 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือต่ำสุด 6 เอ็นทียู มีประสิทธิภาพการกำจัด ร้อยละ 95 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 200 เอ็นทียู ใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต 0.5 มก./ล. สามารถกำจัดความ ขุ่นเหลือต่ำสุด 6.9 เอ็นทียู มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 96.55 และที่ความขุ่นเริ่มต้น 450 เอ็นทียู ใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต 0.5 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือต่ำสุด 4.2 เอ็นทียู มี ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 99.07

ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน พบว่าอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีในกรณีที่น้ำมีความขุ่น สูงกว่าน้ำที่มีความขุ่นต่ำ และปริมาณอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นคือ อยู่ระหว่าง 0.3 - 0.5 มก./ล. ซึ่งการใช้อะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรตอย่างเฉียวเหมาะกับน้ำที่มีความขุ่น 450 เอ็นทียู แต่น้ำสังเคราะห์ที่มีความขุ่นต่ำกว่า คือ 50 - 200 เอ็นทียู หลังตกตะกอนพบว่ามีค่าความ ขุ่นเกินมาตรฐาน (5 เอ็นทียู) นอกจากนี้ยังพบว่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนมีค่าพีเอชสูงขึ้น ดัง รูปที่ 4.4 – 4.6

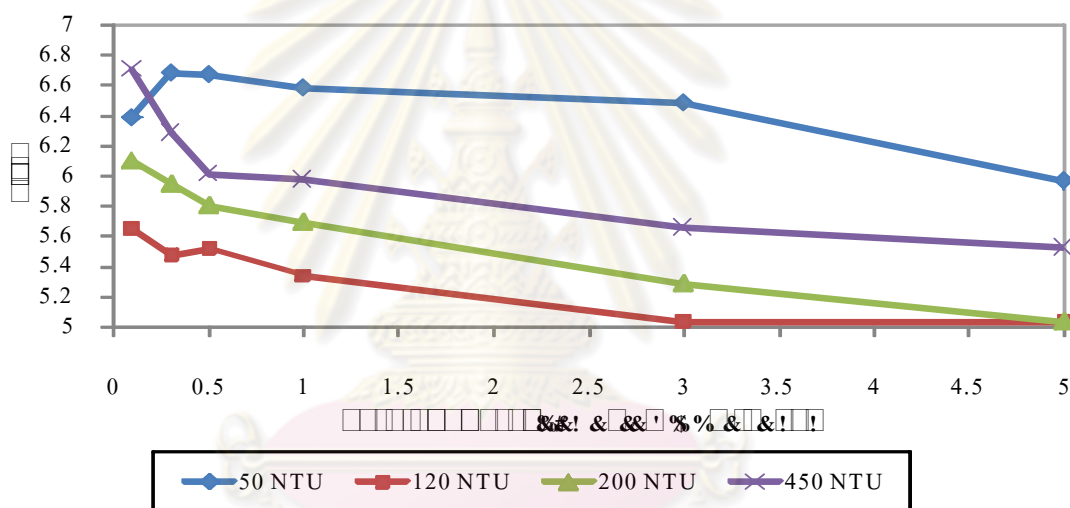


รูปที่ 4.4 ความขุ่นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินหลังการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอโรไฮเดรต



รูปที่ 4.5 ร้อยละการกำจัดความขุ่นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินหลังการตกตะกอนด้วย

อะลูมิเนียมคลอไรด์



รูปที่ 4.6 พีเอชของน้ำสังเคราะห์หลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน สามารถสรุปได้ว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จัดเป็นกลไกแบบการดูดติดและการทำลายประจุ ซึ่งจากการทดลองพบว่าช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมของอะลูมิเนียมคลอไรด์มีช่วงที่แคบ กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ต่ำ การตกตะกอนจะเกิดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้ามีปริมาณของอะลูมิเนียมคลอไรด์สูงเกินไปจะทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.4) เนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมาก โดยปกติแล้วที่ผิวอนุภาคดินคาโอลินจะมีประจุลบ เมื่อเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ซึ่งมีประจุบวกจะไปทำการลดประจุ โดยทำให้อนุภาคดินคาโอลินเป็นกลางแล้วจับตัวกันเป็นฟล็อกตกตะกอนลงมา

แต่เมื่อเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มากเกินไปจะทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุตรงข้ามและอนุภาคดินคาโอลินเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก (มันสิน, 2542ก)

สำหรับค่าพีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.6 เมื่อทำการเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ เนื่องจากอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มีค่า basicity สูงจึงมีผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มากขึ้น พบว่าค่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนมีค่าลดลง เป็นผลมาจาก H^+ ที่ได้ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นมากจึงมีผลให้ค่าพีเอชลดลง

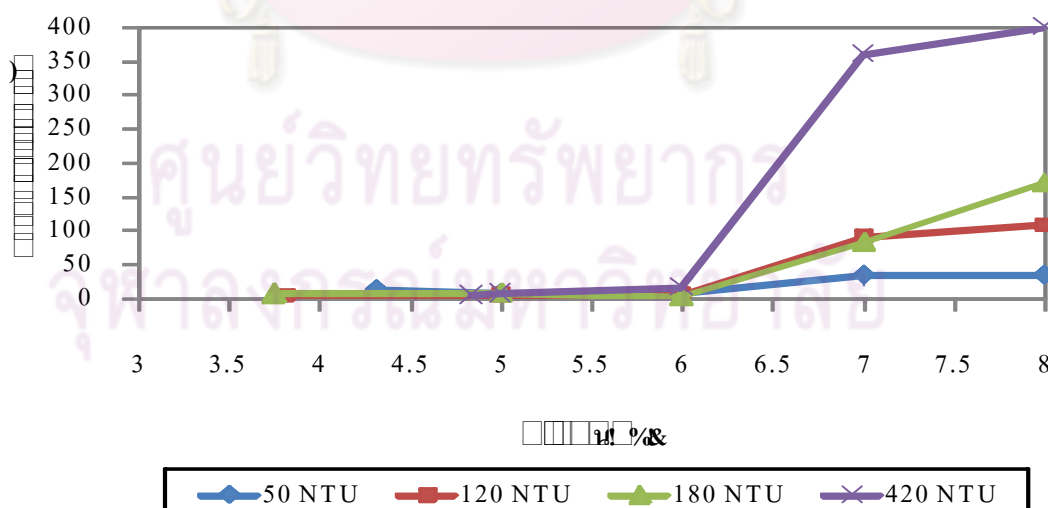
4.1.2.2 ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำ

ค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการตกตะกอนซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารสร้างตะกอน โดยสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เป็นสารสร้างตะกอนในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำ ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

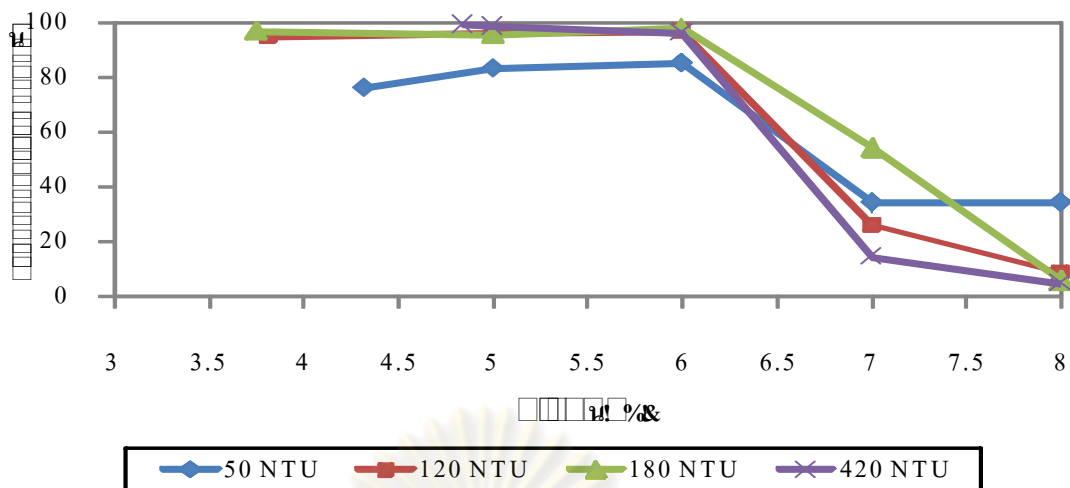
ในการทดลองนี้ทำการตกตะกอนน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินโดยทำการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เข้มข้น 0.05 นอร์มอล ให้น้ำสังเคราะห์มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5 – 8 และไม่ปรับพีเอชเริ่มต้น (พีเอชเท่ากับ 3.74 - 4.36) ที่ค่าความขุ่นเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ 4 ค่า ตั้งแต่ 50 – 420 เอ็นทียู จากผลการทดลองพบว่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น กล่าวได้ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นของน้ำสังเคราะห์โดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ คือ ที่พีเอชระหว่าง 5 - 6 ในทุกค่าความขุ่นเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ ในกรณีที่น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินมีความขุ่นต่ำ 180 เอ็นทียู ประสิทธิภาพให้การตกตะกอนดีขึ้นที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 แต่การตกตะกอนความขุ่นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่มีความขุ่นสูง (420 เอ็นทียู) ที่พีเอช 5 ก็สามารถกำจัดความขุ่นได้ดี แต่คุณภาพน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินมีค่าพีเอชเป็นกรด 3.74 - 4.36 จึงไม่เหมาะสมต่อการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตกตะกอนในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินจึงจำเป็นต้องปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 5 - 6 ก่อน ดังรูปที่ 4.7

ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์ทุกความขุ่นเริ่มต้นมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่เหมาะสมอยู่ที่พีเอช 5 - 6 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ระหว่าง 83.20% ถึง 98.36% เมื่อค่าพีเอชของเริ่มต้นน้ำสูงขึ้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.8

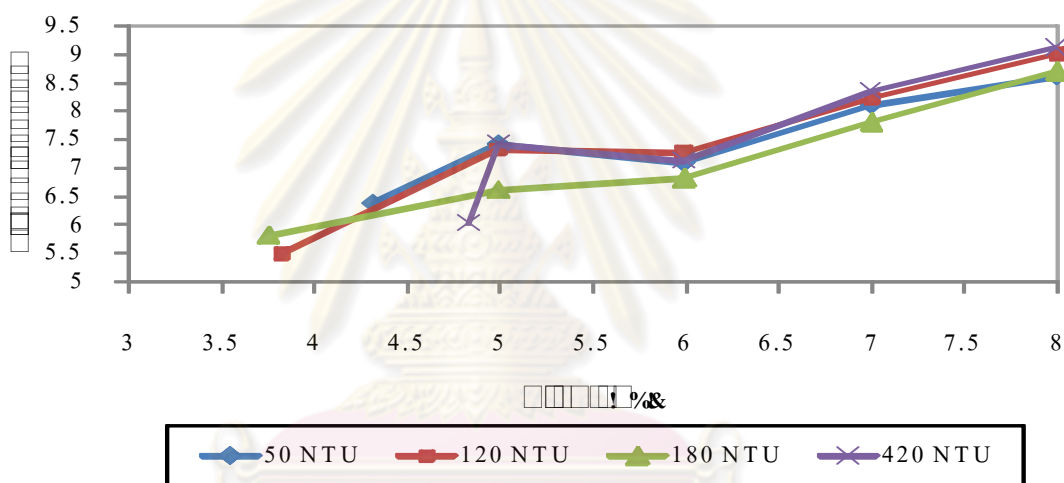
จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะน้อยเมื่อค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์เพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชเป็น 7 ตามหลักการที่กล่าวไว้ว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมของกระบวนการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ คือ 5 - 9 ทั้งนี้เนื่องจากค่าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าไอออนอื่น Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ และ $Al(OH)_4^-$ อย่างไรก็ตาม การตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตราช้ามากเมื่อใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์น้อย เนื่องจากไม่มีการชักนำ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องมีสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่มากเกินไปจึงจะมีผลึก $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นในอัตราส่วนพอสมควร ด้วยเหตุนี้การทำการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ให้กับน้ำสังเคราะห์จึงควรให้ค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์เป็นกรดเล็กน้อย เพราะ Al^{3+} จะไม่ดูดซับผิวอนุภาค ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนไอออนคอมเพล็กซ์อื่นที่มีประจุน้อยกว่า แต่ดูดซับผิวอนุภาคได้ดี และน้ำไม่ควรมีค่าพีเอชสูงเนื่องจากจะได้ไอออนที่มีประจุลบซึ่งไม่มีประโยชน์ในกระบวนการตกตะกอนให้กับอนุภาคดินคาโอไลน์ที่มีประจุลบเช่นกัน (พิงอร, 2545)



รูปที่ 4.7 ผลของพีเอชเริ่มต้นในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอไลน์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์



รูปที่ 4.8 ร้อยละการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต



รูปที่ 4.9 พีเอชของน้ำสังเคราะห์หลังตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต

จากรูปที่ 4.9 ค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์หลังตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเริ่มต้นมีค่ามากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจาก basicity ของอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรตมีค่าสูงจึงทำให้ค่าพีเอชหลังตกตะกอนสูงขึ้น

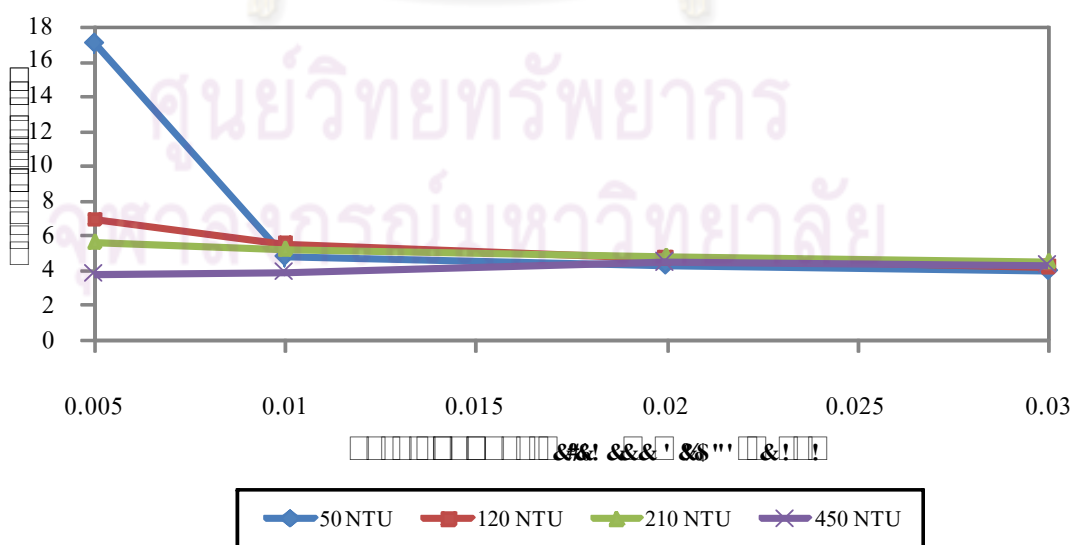
4.1.2.3 ผลของชนิดและความเข้มข้นของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอนที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรตในการกำจัดความขุ่น ทำการทดลองที่ความขุ่นเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ 4 ค่า ตั้งแต่ 50 - 450 เอ็นทียู โดยใช้อะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกและประจุลบ ที่ความเข้มข้น 0.005 - 0.03 มก./ล. จากผลการทดลอง

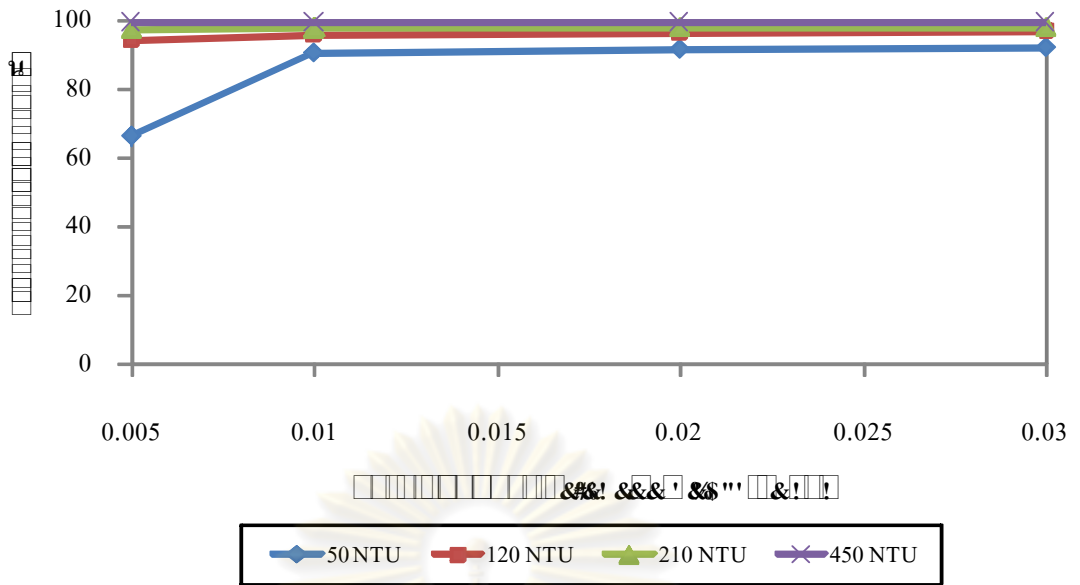
พบว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกสามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกจะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่มีความขุ่นสูงมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่มีความขุ่นต่ำ ดังรูปที่ 4.10 - 4.11

จากการทดลอง (รูปที่ 4.10) ใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก พบว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณที่เหมาะสมร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.02 มก./ล. ก็สามารถกำจัดความขุ่นจากน้ำให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานในทุกค่าความขุ่นน้ำสังเคราะห์เริ่มต้น (50 - 450 เอ็นทียู) โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 91.4 - 99.0 (รูปที่ 4.11) เมื่อพิจารณาน้ำสังเคราะห์ที่มีความขุ่นสูง (450 เอ็นทียู) พบว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกเพียงเล็กน้อย 0.005 มก./ล. ก็สามารถกำจัดความขุ่นได้ต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว

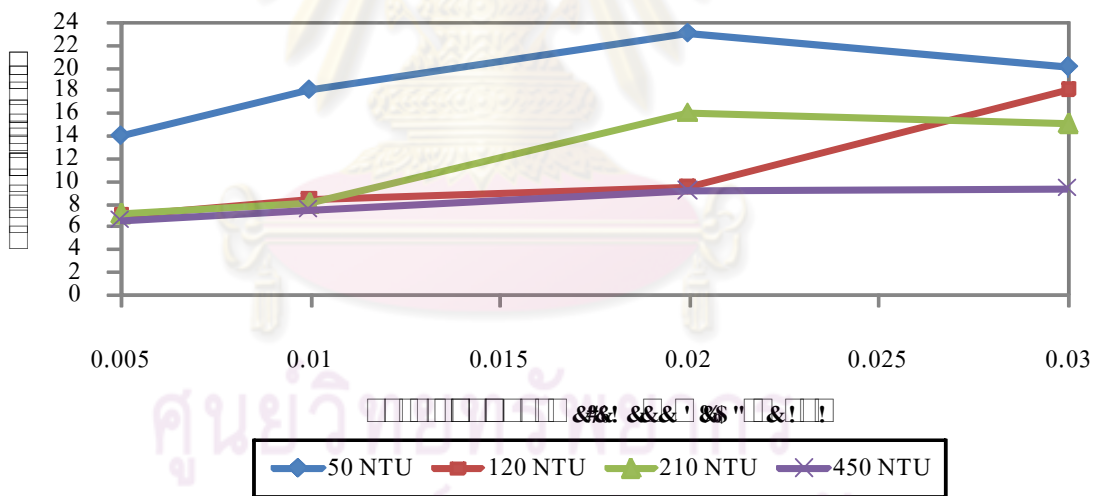
ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกจะต่ำสุด คืออยู่ในที่ร้อยละ 66 ที่ความขุ่นน้ำดิบ 50 เอ็นทียู และจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อความขุ่นของน้ำดิบเพิ่มขึ้นเนื่องจากโพลีเมอร์กับน้ำที่มีความขุ่นต่ำโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคจะมีน้อย ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสามารถเกิดได้ดีตั้งแต่ความขุ่น 200 เอ็นทียูขึ้นไปนั่นเป็นเพราะเกิดกลไกสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคจะได้ผลดีเมื่อความขุ่นของน้ำดิบเพิ่มขึ้นเป็นเพราะปลายอิสระที่เหลือของโพลีเมอร์สามารถยึดกับอนุภาคที่เหลือได้มากขึ้น (มันสิน, 2542ก)



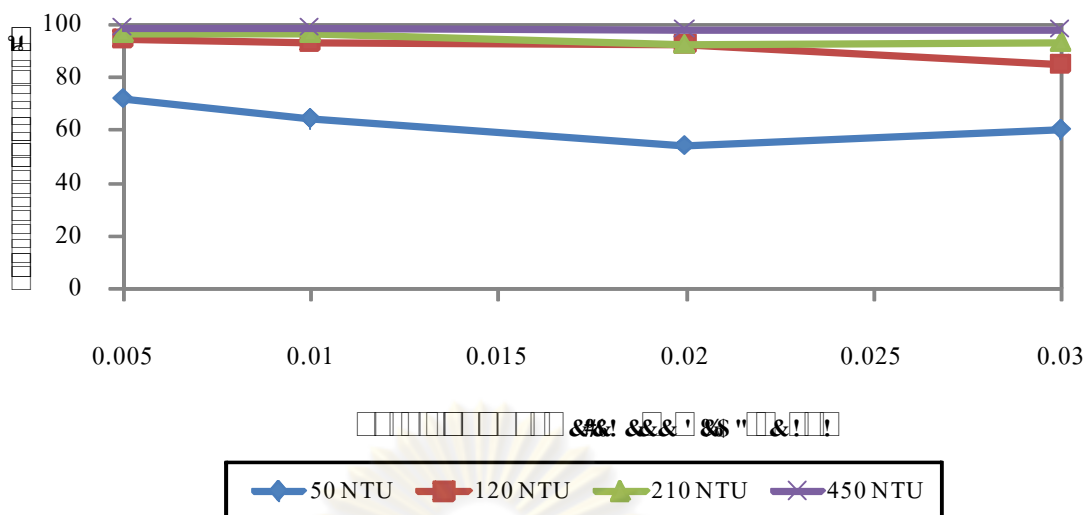
รูปที่ 4.10 ผลความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความขุ่นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน



รูปที่ 4.11 ร้อยละการกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก
 สำหรับการใช้โพลีเมอร์ประจุลบไม่มีผลช่วยในการตกตะกอนร่วมกับอะลูมิเนียม
 คลอไรด์ เนื่องจากค่าความขุ่นหลังตกตะกอนมีค่าเกินมาตรฐาน (5 เอ็นทียู) ดังรูปที่ 4.12 -
 4.13



รูปที่ 4.12 ผลความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบในการกำจัดความขุ่นน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน



รูปที่ 4.13 ร้อยละการกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบ

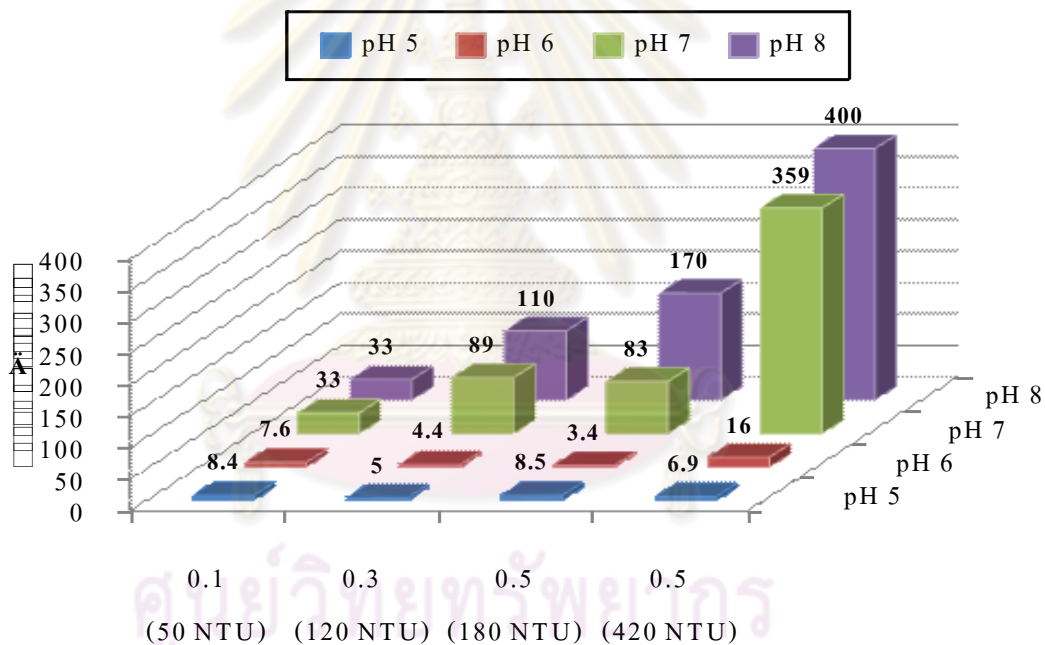
4.1.3 สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ด้วยอะลูมินัมคลอไรด์

เดรต

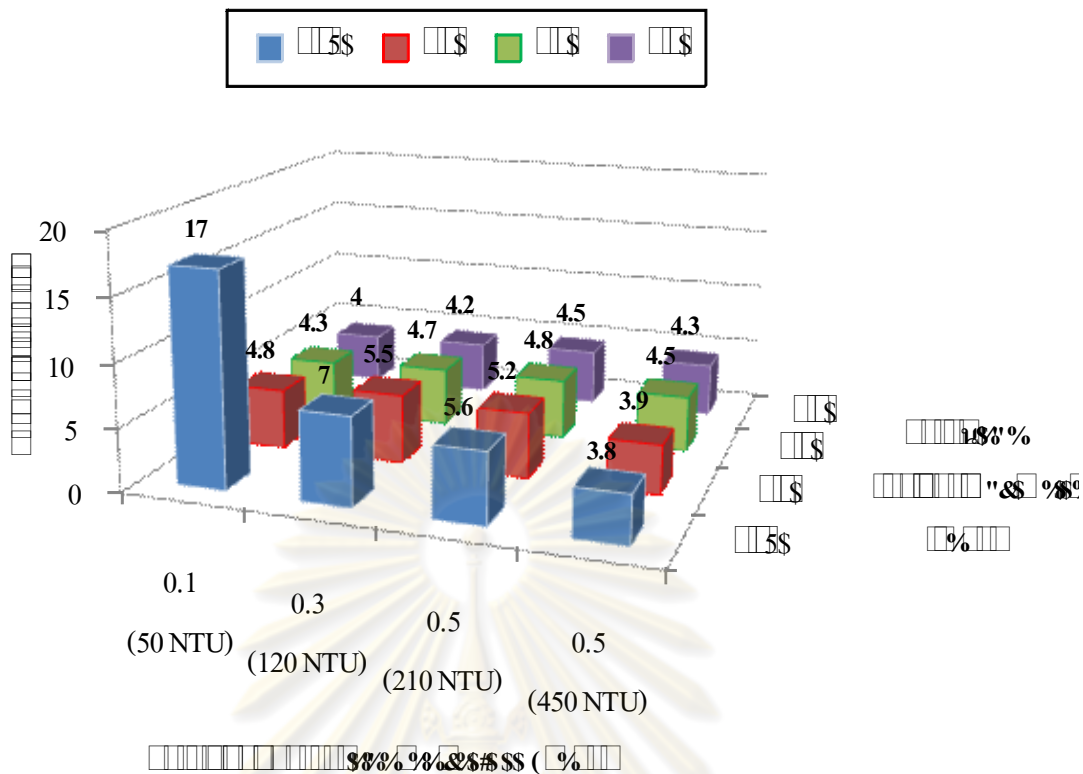
จากการทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ค่าความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า ตั้งแต่ 50 - 400 เอ็นทียู ด้วยสารอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่ากรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง (400 เอ็นทียู) การเติมอะลูมินัมคลอไรด์ที่ช่วงความเข้มข้น 0.1 - 0.5 มก./ล. เพียงอย่างเดียวจะสามารถกำจัดความขุ่นได้ต่ำกว่ามาตรฐาน ในขณะที่ความขุ่นน้ำสังเคราะห์ต่ำ (50-200 เอ็นทียู) การใช้อะลูมินัมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีผลให้ค่าความขุ่นยังเกินมาตรฐาน จึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ พบว่าที่ช่วงพีเอช 5 - 6 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นที่ได้หลังการตกตะกอนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน นอกจากการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์ การเติมโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารช่วยตกตะกอนที่ความเข้มข้นของโพลิเมอร์ 0.02 มก./ล. ร่วมกับอะลูมินัมคลอไรด์ที่ปริมาณที่เหมาะสม (0.1 - 0.5 มก./ล.) ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ต่ำกว่ามาตรฐาน สรุปผลดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.14 - 4.15

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์เรตที่สภาวะที่เหมาะสม

ความเข้มข้น ACH (มก./ล.)	ความขุ่นหลังตกตะกอน (เอ็นทียู)				ร้อยละการกำจัดความขุ่น			
	50	120	200	450	50	120	200	450
0.1	12	100	190	320	76	16.67	5	28.89
0.3	13	6	8	23	74	95	96	94.89
0.5	15	48	6.9	4.2	70	60	96.55	99.07
1	17	110	130	8.6	66	8.3	35	98.09
3	25	110	190	380	50	8.3	5	15.56
5	28	110	190	440	44	8.3	5	2.22



รูปที่ 4.14 สรุปผลการทดลองการกำจัดความขุ่นจากน้ำตั้งเคราะห์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์เรตที่ค่าพีเอชเริ่มต้นต่างๆ



รูปที่ 4.15 สรุปผลการทดลองการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์
ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้นต่างๆ

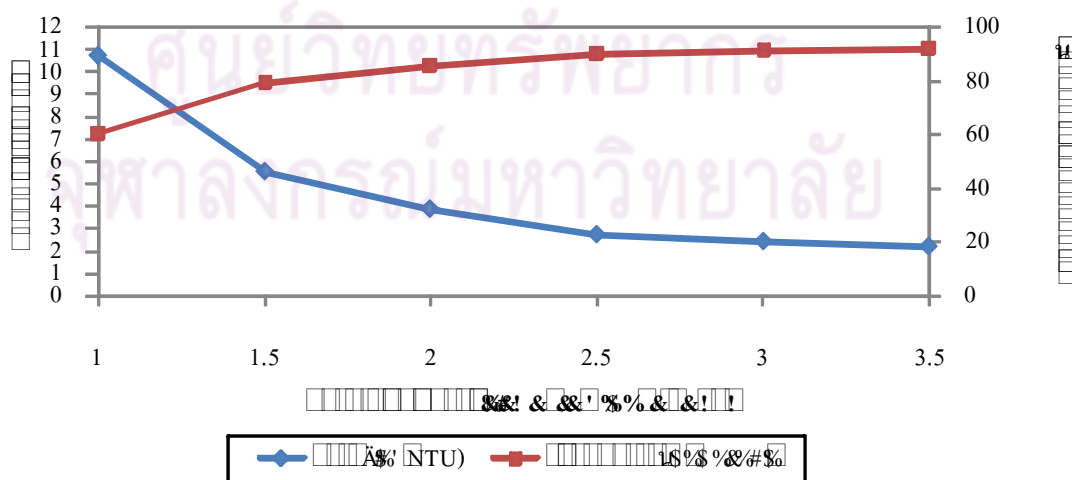
4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโรงงานผลิตน้ำตามเสนโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์

4.2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปา

4.2.1.1 ผลการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาช่วงฤดูแล้ง (เดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน 2552)

ทำการทดลองตกตะกอนความขุ่นในช่วงฤดูแล้งเดือนมกราคม – เดือนมิถุนายน 2552 ที่ค่าความขุ่นน้ำดิบต่ำ คือ ที่ 26.6 เอ็นทียู โดยกวนเร็วที่ $G_R = 469$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าที่ $G_S = 112$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที เพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นให้เหลือไม่เกิน 5 เอ็นทียู (ตามมาตรฐานน้ำประปา) ได้ผลการทดลองดังนี้

น้ำดิบมีความขุ่น 26.6 เอ็นทียู อุณหภูมิ 23.8 องศาเซลเซียส ค่าความนำไฟฟ้า 344.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และค่าพีเอชของน้ำดิบเท่ากับ 7.5 ทำการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 – 3.5 มก./ล. พบว่าความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม คือ 2 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือ 3.86 เอ็นทียู ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 85.51 % ดังรูปที่ 4.16 เมื่อเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.6 ปริมาตรตะกอน 0.1 มล./ล. อัตราเร็วในการกรอง 11.1 มล./วินาที โดยมีปริมาณอะลูมิเนียมเหลือในน้ำหลังตกตะกอนเท่ากับ 0.011 มก./ล. และปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนเท่ากับ 10.30 มก./ Al^{3+} คุณภาพน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์แสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบที่มีความขุ่นเริ่มต้น 26.6 เอ็นทียู ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.2 การตกตะกอนน้ำดิบในช่วงฤดูแล้งด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต

พารามิเตอร์	น้ำดิบ	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต (มก./ล.)						ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	26.6	10.7	5.55	3.86	2.71	2.41	2.19	<5.0
พีเอช	7.51	7.71	7.70	7.66	7.64	7.62	7.53	6.5-8.5
ความเป็นด่าง	115.5	113.5	113.5	113	112.5	112.5	111.5	-
ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.008	0.016	0.010	0.0105	0.010	0.012	0.0105	0.2
อัตราเร็วในการกรอง (มล./วินาที)	0.83	3.33	5	11.1	12.5	12.5	12.5	-
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		59.77	79.15	85.51	89.83	90.94	91.77	-

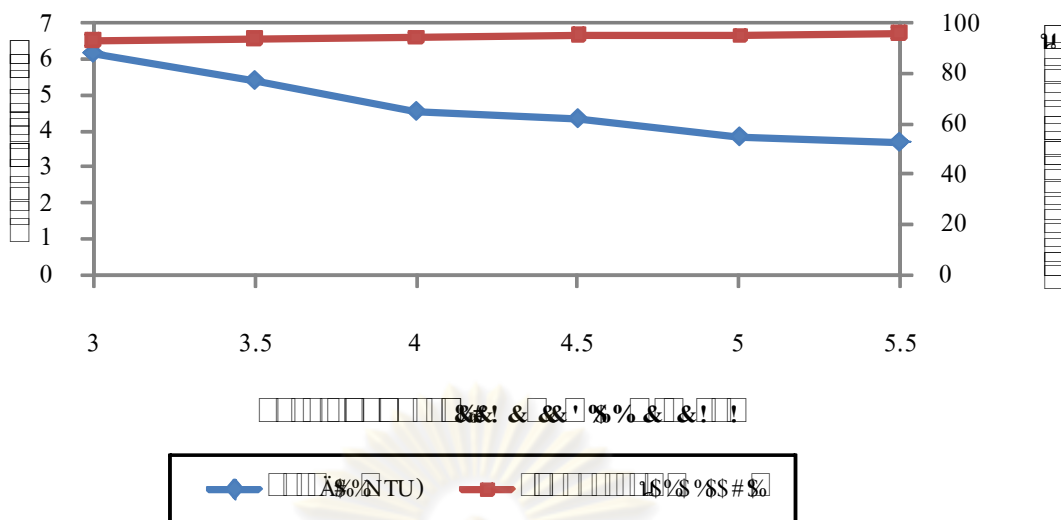
หมายเหตุ: ความขุ่นต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปา

4.2.1.2 ผลการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม – เดือนสิงหาคม 2552)

ทำการทดลองตกตะกอนความขุ่นในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนสิงหาคม 2552 ที่ค่าความขุ่นน้ำดิบ 61.95 และ 86.65 เอ็นทียู โดยความเร็วที่ $G_R = 383$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าที่ $G_S = 91$ วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที เพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นให้เหลือไม่เกิน 5 เอ็นทียู แสดงผลการทดลองดังนี้

ก.) การใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตอย่างเดียว

น้ำดิบมีความขุ่น 86.65 เอ็นทียู อุณหภูมิ น้ำดิบ 25.6 องศาเซลเซียส ค่าความนำไฟฟ้า 305 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และค่าพีเอชของน้ำดิบเท่ากับ 7.41 ทำการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 3 – 5.5 มก./ล. พบว่าความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตที่เหมาะสมคือ 4 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือ 4.56 เอ็นทียู ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเท่ากับร้อยละ 94.73 ดังรูปที่ 4.17 เมื่อเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.54 ปริมาณตะกอนหนัก 3.5 มล./ล. อัตราเร็วในการกรอง 5.2 มล./วินาที โดยมีปริมาณอะลูมิเนียมเหลือในน้ำหลังตกตะกอนเท่ากับ 0.02 มก./ล. และปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนเท่ากับ 21.78 มก./AI³⁺ คุณภาพน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรตแสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบที่มีความขุ่นเริ่มต้น 86.65 เอ็นทียู ด้วย อะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต

ตารางที่ 4.3 การตกตะกอนน้ำดิบในช่วงฤดูฝนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต

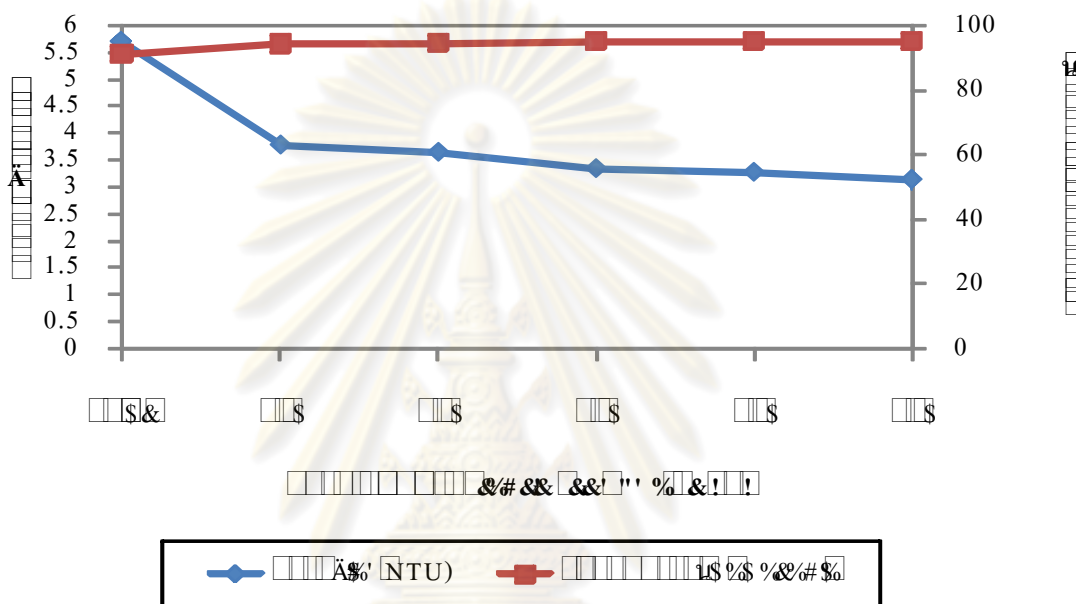
พารามิเตอร์	น้ำดิบ	ความเข้มข้นอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต (มก./ล.)						ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม
		3	3.5	4	4.5	5	5.5	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	86.65	6.18	5.41	4.57	4.36	3.86	3.68	<5
พีเอช	7.41	7.58	7.56	7.54	7.51	7.48	7.41	6.5-8.5
ความเป็นด่าง	92.5	90.5	90	90	90	90	89	-
ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.010	0.010	0.010	0.020	0.015	0.015	0.015	0.2
อัตราเร็วในการกรอง (มล./วินาที)	0.65	5	4.5	5.2	5.2	7.8	8.7	-
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		92.87	93.76	94.73	94.97	95.55	95.75	-

หมายเหตุ: ความขุ่นต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปา

ข.) การใช้อะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรตร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก

น้ำดิบมีความขุ่น 61.95 เอ็นทียู อุณหภูมิ น้ำดิบ 28.15 องศาเซลเซียส ค่าความนำไฟฟ้า 249 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และค่าพีเอชของน้ำดิบเท่ากับ 7.36 ทำการตกตะกอนด้วยอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรตที่ความเข้มข้น 3 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก โดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโพลิเมอร์ประจุบวกตั้งแต่ 0.01 - 0.05 มก./ล. พบว่าความเข้มข้นของอะลูมินัมคลอไรด์ไฮเดรต 3

มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ที่เหมาะสม คือ 0.01 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือ 3.78 เอ็นทียู ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเท่ากับร้อยละ 93.91 ดังรูปที่ 4.18 เมื่อเติมอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวกทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.66 ปริมาตรตะกอน 1.3 มล./ล. อัตราเร็วในการกรอง 5 มล./วินาที โดยมีปริมาณอะลูมิเนียมเหลือในน้ำหลังตกตะกอนเท่ากับ 0.020 มก./ล. และปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนเท่ากับ 11.77 มก. Al^{3+} คุณภาพน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์แสดงดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบที่มีความขุ่นเริ่มต้น 61.95 เอ็นทียู ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก

ตารางที่ 4.4 การตกตะกอนน้ำดิบในช่วงฤดูฝนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก

พารามิเตอร์	น้ำดิบ	ความเข้มข้น โพลิเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม
		ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่นที่เหลือ (เอ็นทียู)	61.95	5.67	3.78	3.64	3.33	3.27	3.12	<5
พีเอช	7.36	7.70	7.66	7.64	7.62	7.6	7.56	6.5-8.5
ความเป็นด่าง	86.5	84.5	83	83	83	83	83	-
ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.010	0.02	0.02	0.015	0.02	0.015	0.02	0.2
อัตราเร็วในการกรอง (มล./วินาที)	0.9	4	5	5.3	5.3	5.3	5.5	-
ร้อยละการกำจัดความขุ่น		90.85	93.91	94.13	94.62	94.73	94.97	-

หมายเหตุ: 1) ใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ 3 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุบวก

2) ความขุ่นต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปา

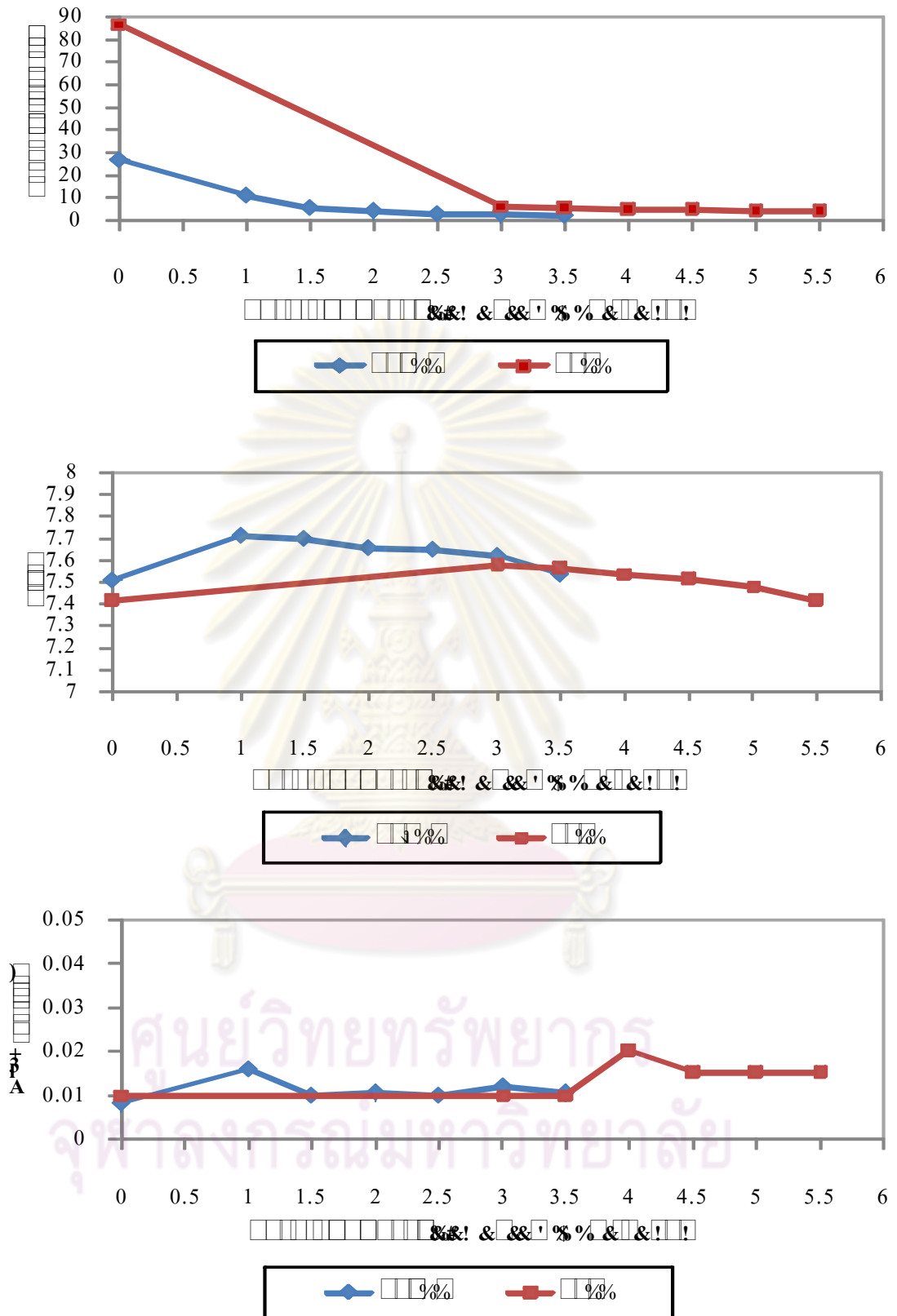
4.2.1.3 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบโดยใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์

การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปาในการกำจัดความขุ่น พบว่า ในกรณีน้ำดิบช่วงฤดูแล้งและฝน ที่ความขุ่นของน้ำดิบ 26.6 - 86.65 เอ็นทียู สถานะที่เหมาะสม คือ ใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 - 4 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปาที่ 5.0 เอ็นทียู ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 85.51 - 94.73 โดยแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในเทอมของพีเอช พบว่าหลังกำจัดความขุ่นแล้วพีเอชของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ค่าพีเอชอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มของกระทรวงอุตสาหกรรม รวมทั้งปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังกระบวนการตกตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.02 มก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 0.2 มก./ล. และอัตราเร็วในการกรองอยู่ระหว่าง 11.1 - 3.5 มล./วินาที ดังรูปที่ 4.19

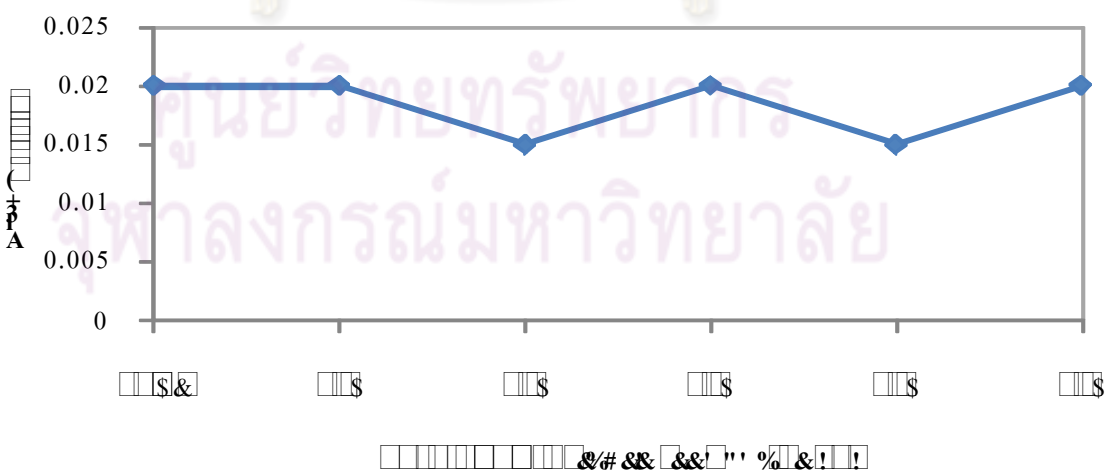
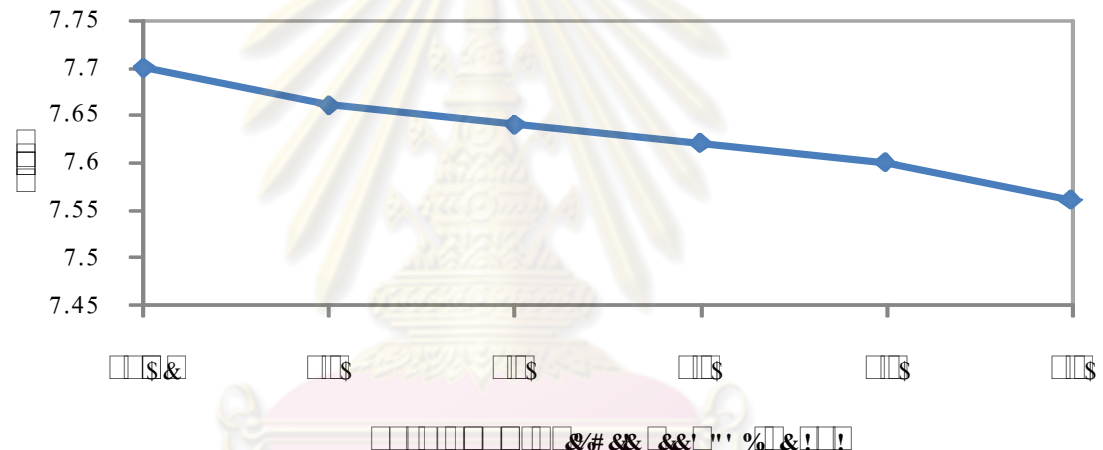
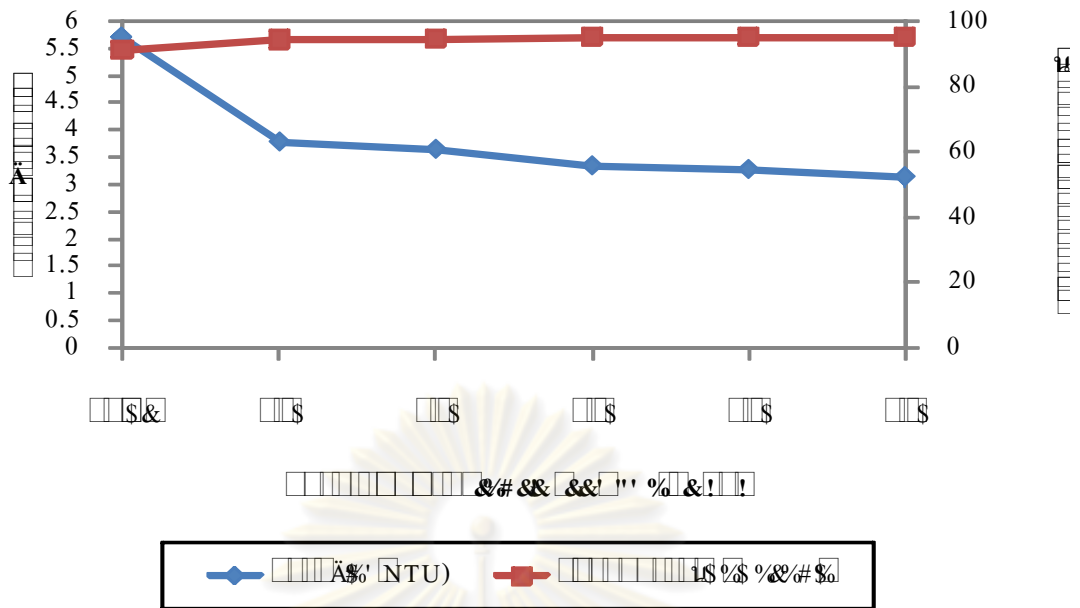
เพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ โดยทำการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.05 มก./ล. ที่ความขุ่นน้ำดิบ 61.4 - 62.5 เอ็นทียู พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้นได้ดี เมื่อเติมโพลีเมอร์ประจุบวกที่ 0.01 มก./ล. สามารถกำจัดความขุ่นเหลือ 3.78 เอ็นทียู ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 93.91 และยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุบวกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะเพิ่มขึ้นด้วย ค่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยค่าพีเอชของน้ำจะสูงขึ้นเนื่องมาจากค่า basicity ของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มีค่าสูงจึงมีผลให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนพบว่ามีความเข้มข้น 0.02 มก./ล. ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 5 มล./วินาที ดังรูปที่ 4.20



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



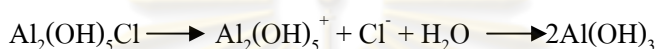
รูปที่ 4.19 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความขุ่นของน้ำดิบต่างกัน



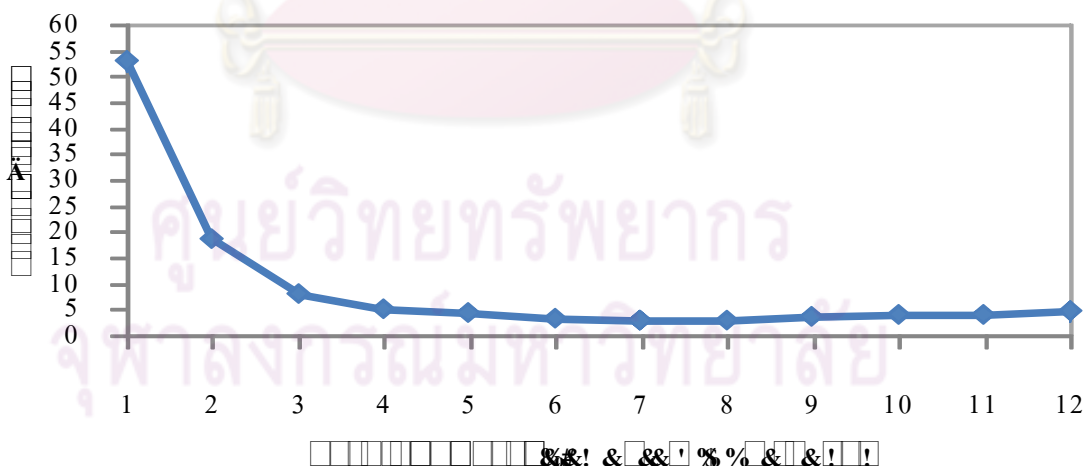
รูปที่ 4.20 ค่าความขุ่น พีเอช และอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความขุ่นของน้ำดิบ 61.4 - 62.5 เอ็นทียู

4.2.1.4 ปฏิกริยาการกำจัดของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์

จากการทดลองตกตะกอนความขุ่นด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ พบว่า กลไกทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์จัดเป็นกลไกแบบร่วมระหว่างกลไกการดูดติดและทำลายประจุ (Adsorption and charge neutralization) และกลไกแบบกวาด (Sweep coagulation) การทำลายเสถียรภาพด้วยกลไกแบบกวาดนี้ ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์จะเกิดไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวกทั้งหลายและไฮดรอกไซด์ต่อไปจนได้ $Al(OH)_3$ เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก $Al(OH)_3$ ก็จะเกาะจับอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟล็อกขนาดใหญ่แล้วตกตะกอนลงมา ดังปฏิกริยา



อีกกลไกคือ การดูดติดและทำลายประจุเนื่องจากการทดลองทำจาร์เทสต์ด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าช่วงความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มีความเหมาะสมที่แคบ เมื่อความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ต่ำการตกตะกอนเกิดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุตรงข้ามและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก จึงทำให้น้ำขุ่นมากขึ้น (มันสิน, 2542ก) ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ค่าความขุ่นหลังตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปาโดยใช้สารตกตะกอนต่างกัน

ผลการทดลองโดยการใช้สารตกตะกอน 3 ชนิด คือ สารส้ม อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรต และ โพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง และการใช้สารตกตะกอนร่วมกับสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ ในการตกตะกอนความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาในช่วงความขุ่น 41.6 – 86.6 เอ็นทียู เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายของสารเคมี ทั้ง 3 ชนิด แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบได้ดังนี้

4.3.1 การเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่น

(1) ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปาในการกำจัดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 5 เอ็นทียู พบว่าการใช้สารส้มอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีความขุ่น 77.3 - 79 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม คือ 35 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 94.05 และการใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบกับน้ำดิบที่มีความขุ่น 50.8 – 53.4 เอ็นทียู ใช้สารส้ม ปริมาณ 30 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.05 มก./ล. สรุปได้ว่าการใช้สารส้มที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.01 มก./ล. สามารถลดการใช้สารส้มลงได้และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 92.63 โดยความขุ่นในน้ำผลิตมีค่า 3.84 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้สารส้มกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นสารส้ม (มก./ล.)						มาตรฐาน
		25	30	35	40	45	50	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	77.3 – 79 (avg. 78.15)	10.35	6.86	4.65	3.825	2.92	2.73	<5
พีเอช	7.25 – 7.43 (avg. 7.35)	7.16	7.11	7.08	7.04	7.02	7.01	6.5-8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	92 – 94 (avg. 93)	85	83.5	82	79.5	77	75	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.02 – 0.02 (avg. 0.02)	0.145	0.13	0.115	0.1	0.09	0.075	0.2

ตารางที่ 4.6 คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้สารส้มร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบ
คลองประปา

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลิเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	50.8 – 53.4 (avg. 52.1)	5.64	3.84	3.88	3.96	3.9	3.81	<5
พีเอช	7.32 – 7.44 (avg. 7.38)	7.29	7.19	7.19	7.19	7.20	7.19	6.5-8.5
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	82 – 85 (avg. 83.5)	74.5	72.5	72.5	72	72	72	-
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.01 – 0.01 (avg. 0.01)	0.10	0.095	0.095	0.085	0.08	0.085	0.2

(2) ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ผสมกับคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปา ในการกำจัดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 5 เอ็นทียู พบว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์อย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีความขุ่น 86.5 - 86.8 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสม คือ 4 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 94.73 และการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบที่มีความเข้มข้น 0.01 - 0.05 มก./ล.กับน้ำดิบที่มีความขุ่น 61.4 – 62.5 เอ็นทียู สรุปได้ว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 3 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.01 มก./ล. สามารถลดการใช้ อะลูมิเนียมคลอไรด์ลงได้และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 93.91 โดยความขุ่นในน้ำผลิตมีค่า 3.78 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์กำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลอง
ประปา

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)						มาตรฐาน
		3	3.5	4	4.5	5	5.5	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	86.5 – 86.8 (avg. 86.65)	6.18	5.41	4.57	4.36	3.86	3.68	<5
พีเอช	7.37 – 7.45 (avg. 7.41)	7.58	7.56	7.54	7.51	7.48	7.41	6.5-8.5
ความเป็นต่าง (มก./ล.)	91 – 94 (avg. 92.5)	90.5	90	90	90	90	89	-
อะลูมิเนียมใน น้ำ (มก./ล.)	0.01 – 0.01 (avg. 0.01)	0.01	0.01	0.02	0.015	0.015	0.015	0.2

ตารางที่ 4.8 คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกกำจัด
ความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						มาตรฐาน
		ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	61.4 – 62.5 (avg. 61.95)	5.67	3.78	3.64	3.33	3.27	3.12	<5
พีเอช	7.29 – 7.42 (avg. 7.36)	7.70	7.66	7.64	7.62	7.6	7.56	6.5-8.5
ความเป็นต่าง (มก./ล.)	85 – 88 (avg. 86.5)	84.5	83	83	83	83	83	-
อะลูมิเนียมใน น้ำ (มก./ล.)	0.01 – 0.01 (avg. 0.01)	0.02	0.02	0.015	0.02	0.015	0.02	0.2

(3) ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบจาก
คลองประปาในการกำจัดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 5 เอ็นทียู พบว่าการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์
แบบปรับแต่งอย่างเดียวกับน้ำดิบที่มีความขุ่น 65.5 - 68.1 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสม คือ 1.4 มก./ล.
ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 93.66 และการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง
ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.05 มก./ล. กับน้ำดิบที่มีความขุ่น 41.6 – 44.3

เอ็นทียู สรุปได้ว่าการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งที่เหมาะสมคือ 1.2 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ประจุบวกเข้มข้น 0.01 มก./ล. สามารถลดการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งลง ได้และเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 91.02 โดยความขุ่นในน้ำผลิตมีค่า 3.86 เอ็นทียู ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งกำจัดความขุ่นจากน้ำ ดิบคลองประปา

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง (มก./ล.)						มาตรฐาน
		1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	
		ความขุ่น (เอ็นทียู)	65.5 – 68.1 (avg. 66.8)	6.24	5.28	4.24	3.99	
พีเอช	7.34 – 7.42 (avg. 7.38)	7.5	7.49	7.47	7.44	7.42	7.34	6.5-8.5
ความเป็นต่าง (มก./ล.)	92 – 93 (avg. 92.5)	91.5	91.5	91.5	90.5	90.5	90.5	-
อะลูมิเนียมใน น้ำ (มก./ล.)	0.02 – 0.02 (avg. 0.02)	0.055	0.050	0.055	0.060	0.055	0.06	0.2

ตารางที่ 4.10 คุณภาพน้ำผลิตจากการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งร่วมกับโพลีเมอร์ ประจุบวกกำจัดความขุ่นจากน้ำดิบคลองประปา

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำดิบ	ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)						มาตรฐาน
		ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	
ความขุ่น (เอ็นทียู)	41.6 – 44.3 (avg. 42.95)	5.55	3.86	3.61	3.45	3.46	3.6	<5
พีเอช	7.45 – 7.53 (avg. 7.38)	7.76	7.63	7.62	7.59	7.54	7.52	6.5-8.5
ความเป็นต่าง (มก./ล.)	88 – 88 (avg. 88)	87	87	87	87	86.5	86	-
อะลูมิเนียมใน น้ำ (มก./ล.)	0.01 – 0.01 (avg. 0.01)	0.05	0.05	0.045	0.035	0.035	0.03	0.2

(4) เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดความขุ่น จะเห็นได้ว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ สารส้ม อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ สามารถกำจัดความขุ่นให้เหลืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) แต่ปริมาณการใช้สารที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบให้ได้ตามมาตรฐานจะแตกต่างกัน โดยที่สารส้มมีปริมาณการใช้มากที่สุด รองมาเป็นอะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณสารตกตะกอนแต่ละชนิดจะช่วยให้การกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.5 - 4.10 และยังพบว่าเมื่อความขุ่นเพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้สารเคมีที่เหมาะสมของสารเคมีแต่ละชนิดจะสูงขึ้นด้วย

เมื่อทำการกำจัดความขุ่นด้วยสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับสารช่วยตกตะกอน (โพลีเมอร์ประจุลบและประจุบวก) จากการทดลองพบว่าโพลีเมอร์มีคุณสมบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สามารถลดปริมาณการใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดให้ลดลง โดยการกำจัดความขุ่นด้วยสารส้มจะมีประสิทธิภาพเมื่อใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ ในขณะที่อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเมื่อเติมโพลีเมอร์ประจุบวก โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 92.63, 93.91 และ 91.02 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างในน้ำผลิตอีกด้วย

(5) เมื่อพิจารณาถึงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างในน้ำหลังการเติมสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่าสารส้มมีผลทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างของน้ำลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่มีค่าความเป็นกรดสูง เมื่อเติมลงในน้ำดิบจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และอนุมูลของโลหะประจุบวก (Al^{3+}) ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับค่าความเป็นด่างในน้ำกลายเป็นตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างลดลง ในขณะที่อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง เป็นสารสร้างตะกอนที่เตรียมจากการเติมสารละลายต่างจำพวกไปคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตลงไปแช่ชั้นภายใต้อุณหภูมิสูง จึงทำให้อะลูมินัมคลอไรด์ไฮดรตและโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง มีคุณสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย มีค่า basicity หรือค่า $[OH]^-/[Al]^{3+}$ สูง เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ H^+ เพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่จะแตก

ตัวให้อนุมูล คือ $[Al_3O_4(OH)_2]^{7+}$ (Dempsey และคณะ, 1984 ; simpson และคณะ, 1988) สำหรับพีเอชของน้ำหลังตกตะกอนด้วยสารเคมีแต่ละชนิดในปริมาณที่เหมาะสมแล้วยังมีค่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มของกระทรวงอุตสาหกรรม (พีเอช 6.5 - 8.5)

4.3.2 ปริมาณอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำผลิตและตะกอนจากระบบ

เนื่องจากสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด เป็นสารประกอบอะลูมิเนียม หลังจากกระบวนการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำและตะกอนพบว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ปริมาณอะลูมิเนียมตกค้างน้อยที่สุด รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งและสารส้ม เท่ากับ 0.020, 0.055 และ 0.115 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ 0.2 มก./ล. ทุกค่าของสารตกตะกอน สำหรับในตะกอนทำการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP) จากการทดลองพบว่า การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนมีปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนเท่ากับ 24.65 มก. Al^{3+} ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากมีการใช้สารส้มในปริมาณสูงกว่าสารตกตะกอนชนิดอื่น รองลงมาคือ อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนเท่ากับ 21.78 มก. Al^{3+} และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง มีปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนเท่ากับ 16.26 มก. Al^{3+} ตามลำดับ

เมื่อทำการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนทั้งสาม 3 ชนิดร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกและลบ มาวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำและตะกอน พบว่า เมื่อตกตะกอนด้วยสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมีปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำมากที่สุดเท่ากับ 0.095 มก./ล. รองลงมาคือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเท่ากับ 0.05 มก./ล. และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเท่ากับ 0.02 มก./ล. ตามลำดับ วิเคราะห์ค่าปริมาณอะลูมิเนียมในตะกอนพบว่า ใช้สารส้มตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบมีปริมาณอะลูมิเนียมเท่ากับ 16.34 มก. Al^{3+} ใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเท่ากับ 11.77 มก. Al^{3+} และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกเท่ากับ 9.86 มก. Al^{3+}

4.3.3 ค่าอัตราเร็วในการกรอง

ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วในการกรองของสารตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ปริมาณที่เหมาะสมของสารตกตะกอน พบว่า ที่ความขุ่นน้ำดิบ 77.3 - 79 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 35 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 3.2 มล./วินาที เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 50.8 - 53.4 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.01 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 4 มล./วินาที

เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 26.1 - 27.1 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 2 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 3.2 มล./วินาที เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 86.5 - 86.8 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 4 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 3.5 มล./วินาที และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 61.4 - 62.5 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 3 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 5 มล./วินาที

เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 65.5 - 68.1 เอ็นทียู ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งที่เหมาะสมคือ 1.4 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 3.6 มล./วินาที เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 41.6 - 44.3 เอ็นทียู ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งที่เหมาะสมคือ 1.2 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 5 มล./วินาที

4.3.4 ค่าใช้จ่าย

(1) การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปา ในการกำจัดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ได้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่ความขุ่นต่างๆ คือ เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 77.3 - 79 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 35 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.14 บาท/ลบ.ม. เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 50.8 - 53.4 เอ็นทียู ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบ 0.01 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.1232 บาท/ลบ.ม.

(2) การหาปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปา ในการกำจัดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ได้ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่ความขุ่นต่างๆ คือ เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 26.1 - 27.1 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.06 บาท/ลบ.ม. เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 86.5 - 86.8 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 4 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.12 บาท/ลบ.ม. และเมื่อความขุ่นน้ำดิบ 61.4 - 62.5 เอ็นทียู ปริมาณอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 3 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.1232 บาท/ลบ.ม.

โรไฮเครตที่เหมาะสม คือ 3 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.0925 บาท/ลบ.ม.

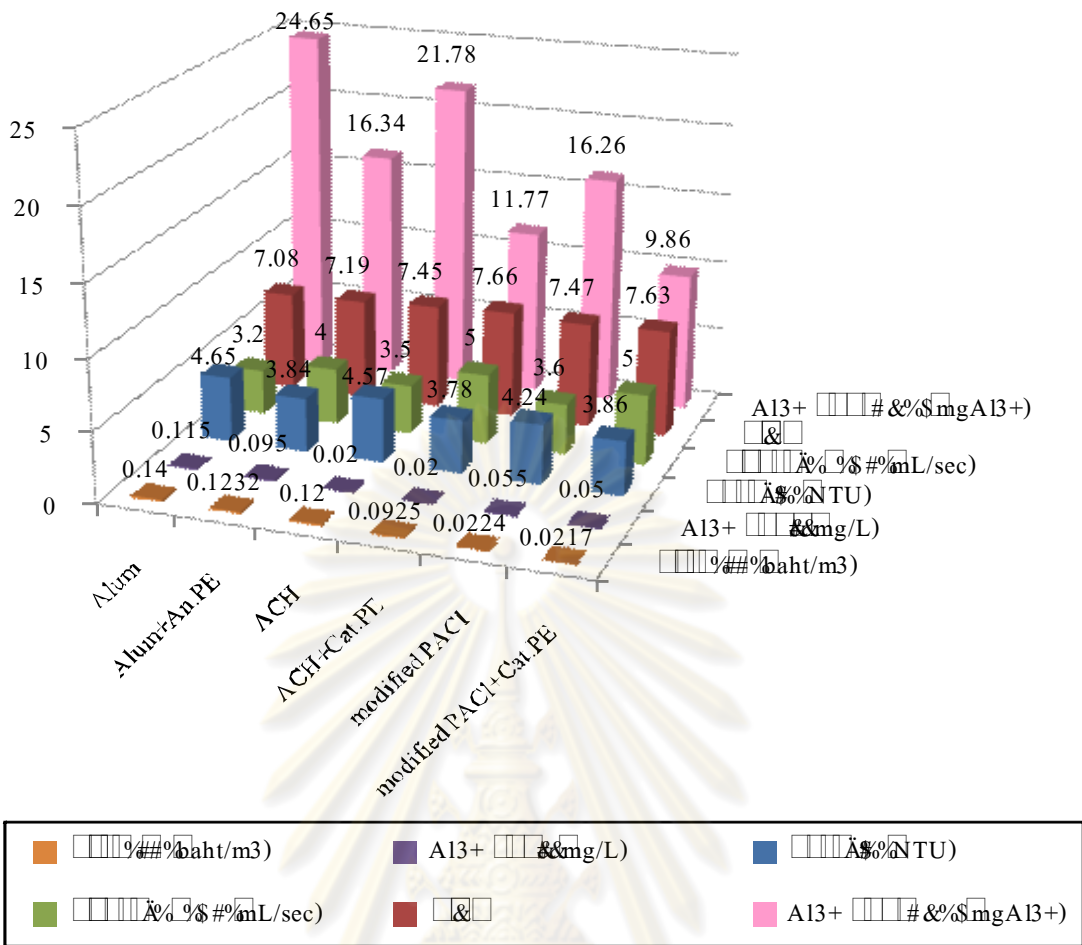
(3) การหาปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่ง ที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปา ในการกำจัดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ได้ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่งที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายที่ความขุ่นต่างๆ คือ เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 65.5 - 68.1 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.4 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.0224 บาท/ลบ.ม. เมื่อความขุ่นน้ำดิบ 41.6 - 44.3 เอ็นทียู ปริมาณโพลีอะลูมินัมคลอไรด์แบบปรับแต่งที่เหมาะสม คือ 1.2 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ค่าใช้จ่าย 0.0217 บาท/ลบ.ม.

4.3.5 สรุป

จากการทดลองกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาด้วยสารตกตะกอนชนิดต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.11 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้สารตกตะกอนแต่ละประเภท

สารตกตะกอน	โพลีเมอร์	ความขุ่น (เอ็นทียู)			อะลูมิเนียม ในน้ำ (มก./ล.)	อะลูมิเนียม ในตะกอน (มก. Al ³⁺)	อัตราเร็วใน การกรอง (มล./วินาที)	ค่าใช้จ่าย สารเคมี (บาท/ลบ.ม.)
		น้ำดิบ	น้ำผลิต	พีเอช				
ACH 4 mg/L	-	86.65	4.57	7.45	0.02	21.78	3.5	0.12
ACH 3 mg/L	Polymer + 0.01 mg/L	61.95	3.78	7.66	0.02	11.77	5	0.0925
Alum 35 mg/L	-	78.15	4.65	7.08	0.115	24.65	3.2	0.14
Alum 30 mg/L	Polymer - 0.01 mg	52.1	3.84	7.19	0.095	16.34	4	0.1232
Modified PACl 1.4 mg/L	-	66.8	4.24	7.47	0.055	16.26	3.6	0.0224
Modified PACl 1.2 mg/L	Polymer + 0.01 mg	42.95	3.86	7.63	0.05	9.86	5	0.0217



รูปที่ 4.22 สรุปผลการทดลองการกำจัดความขุ่นด้วยสารตกตะกอนชนิดต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

การศึกษาผลของปัจจัยในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) การกำจัดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินและน้ำดิบจากคลองประปาด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตกตะกอน พารามิเตอร์การกวนผสมที่เหมาะสม คือ ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็ว 469 วินาที⁻¹ เป็นเวลา 1 นาที ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า 112 วินาที⁻¹ เป็นเวลา 15 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

2) ในการทดลองใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตกตะกอนความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินที่ความขุ่นเริ่มต้น 4 ค่า คือ 50 - 400 เอ็นทียู พบว่า ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.3 - 0.5 มก./ล. โดยพบว่าสารอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงในน้ำที่มีความขุ่นสูง มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นดีที่สุดโดยเฉพาะน้ำสังเคราะห์ที่มีความขุ่นสูง (400 เอ็นทียู) ส่วนน้ำสังเคราะห์ที่มีความขุ่นต่ำ (50 - 200 เอ็นทียู) พบว่าน้ำหลังกระบวนการตกตะกอนยังมีค่าความขุ่นเกินมาตรฐาน (5 เอ็นทียู) ต้องใช้โพลีเมอร์ร่วมด้วย

3) ในกรณีที่น้ำสังเคราะห์ความขุ่นต่ำ (50 - 200 เอ็นทียู) การใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตกตะกอนความเข้มข้น มก./ล. ร่วมกับการใช้โพลีเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.02 มก./ล. จะช่วยให้น้ำหลังการบำบัดมีค่าความขุ่นตามมาตรฐาน ซึ่งนอกจากจะช่วยลดการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ลงแล้วยังช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงขึ้นด้วย

4) ในการตกตะกอนความขุ่นในน้ำสังเคราะห์พบว่า พีเอชเริ่มต้นของน้ำสังเคราะห์มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โดยที่พีเอช 5 - 6 มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นดีที่สุดในทุกค่าความขุ่นเริ่มต้น โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ระหว่าง 83.20% ถึง 98.36%

5.1.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปา

การศึกษาผลของปัจจัยในการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปา โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) การใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวเป็นสารตกตะกอนความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาที่ความขุ่น 26.6 และ 86.65 เอ็นทียู สามารถตกตะกอนได้ดีที่ความเข้มข้น 2 และ 4 มก./ล. ก็สามารถกำจัดความขุ่นเหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปาที่ 5.0 เอ็นทียู ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 85.51 และ 94.73% หลังกำจัดความขุ่นแล้วพีเอชของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และพบว่าอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนมีค่าต่ำมากเท่ากับ 0.01 - 0.02 มก./ล.

2) การใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตกตะกอนร่วมกับโพลิมเมอร์ประจุบวกในการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาที่ความขุ่น 61.95 เอ็นทียู สามารถตกตะกอนได้ดีที่ความเข้มข้น 3 มก./ล. ร่วมกับโพลิมเมอร์ประจุบวก 0.01 มก./ล. ก็สามารถกำจัดความขุ่นเหลือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปาที่ 5.0 เอ็นทียู ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 93.91% หลังกำจัดความขุ่นแล้วพีเอชของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และพบว่าอะลูมิเนียมที่เหลือในน้ำหลังตกตะกอนมีค่าต่ำมากเท่ากับ 0.02 มก./ล.

5.1.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากคลองประปาโดยใช้สารตกตะกอนแตกต่างกัน

1) จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ สารส้ม อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ และโพลิมเมอร์ประจุบวกที่ความขุ่นน้ำดิบ 65.5 - 86.8 เอ็นทียู สามารถกำจัดความขุ่นให้เหลืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) โดยที่สารส้มมีปริมาณการใช้ที่เหมาะสมมีค่ามากที่สุด รองมาเป็นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ และโพลิมเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 35, 4 และ 1.4 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 94.05, 94.73 และ 93.66 ตามลำดับ และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอน พบว่าการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์มีปริมาณอะลูมิเนียมน้อยที่สุด รองลงมาคือ โพลิมเมอร์ประจุบวกที่ความเข้มข้น 1.4 มก./ล. และสารส้ม เท่ากับ 0.02, 0.055 และ 0.115 มก./ล. ตามลำดับ

2) การใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับโพลีเมอร์ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 41.6 - 62.5 เอ็นทียู พบว่าสามารถกำจัดความขุ่นให้เหลืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) โดยที่ใช้สารส้มความเข้มข้น 30 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบความเข้มข้น 0.01 มก./ล. ส่วนอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 3 มก./ล. และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งความเข้มข้น 1.2 มก./ล. ใช้ตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกความเข้มข้น 0.01 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 92.63 93.91 และ 91.02 ตามลำดับ ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำหลังตกตะกอนพบว่า การใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์มีปริมาณอะลูมิเนียมน้อยที่สุด รองลงมาคือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งและสารส้ม มีค่าเท่ากับ 0.02 0.05 และ 0.095 มก./ล. ตามลำดับ

3) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของสารตกตะกอนเพียงอย่างเดียวทั้ง 3 ชนิด ที่ความขุ่นน้ำดิบ 65.5 - 86.8 เอ็นทียู พบว่า โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคิดเป็น 0.0224 บาท/ลบ.ม. อะลูมิเนียมคลอไรด์คิดเป็น 0.12 บาท/ลบ.ม. สารส้มคิดเป็น 0.14 บาท/ลบ.ม. ค่าใช้จ่ายหลังการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ ที่ความขุ่นน้ำดิบ 41.6 - 62.5 เอ็นทียู พบว่า สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบคิดเป็น 0.1232 บาท/ลบ.ม. อะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับประจุบวกคิดเป็น 0.0925 บาท/ลบ.ม. และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกคิดเป็น 0.0217 บาท/ลบ.ม. ตามลำดับ

โดยรวมแล้วการใช้อะลูมิเนียมคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แบบปรับแต่งเป็นสารตกตะกอนมีความเหมาะสมมากกว่าสารส้มในด้านการกำจัดความขุ่น ปริมาณสารตกตะกอนค่าพีเอชของน้ำหลังตกตะกอน ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำผลิตและตะกอน อัตราการกรอง และค่าใช้จ่ายสารเคมี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของปัจจัยในการกำจัดความขุ่นจากน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน และน้ำดิบจากคลองประปาโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้คาดว่าจะเป็แนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปดังนี้

1. ศึกษาการกำจัดความขุ่นน้ำดิบจากคลองประปาโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ สำหรับแหล่งน้ำดิบอื่นๆ ได้แก่ น้ำในอ่างเก็บน้ำ

2. ในกรณีดูแล้งน้ำดิบจากคลองประปาจะประสบปัญหาสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี ควรศึกษาการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบจากคลองประปาโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การประปานครหลวง. กปน. มั่นใจน้ำท่วมภาคเหนือไม่กระทบการผลิตน้ำประปา[ออนไลน์].

(2551). แหล่งที่มา : <http://www.mwa.co.th/newsnorthwater092551.html> [20 ตุลาคม 2551]

การประปานครหลวง. น้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา: แม่น้ำเจ้าพระยา[ออนไลน์]. (2552). แหล่งที่มา

: <http://www.mwa.co.th/quality.html> [9 กรกฎาคม 2552]

การประปาส่วนภูมิภาค. ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา[ออนไลน์]. (ม.ป.ป.). แหล่งที่มา :

ทิตยา นันหมื่น. การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนหรือโคแอกกูเลชัน.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม พัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2549.

พิงอร วิไลวงษ์. การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

มันสิน ตันจุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542ก.

มันสิน ตันจุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542ข.

รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำดิบจากแหล่งธรรมชาติที่มีความขุ่น

สูงและตกตะกอนยากมาผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

วิโรจน์ ทรัพย์ศักดิ์. การศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์

โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

สุชาติ สติชัยมั่นในธรรม. เทคนิคการไต่เตรตคอลลอยด์ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน. วิทยานิพนธ์

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

เสกสรร ลีคนาวีพช. การกวนผสมในการลดความกระด้างด้วยปูน-โซดาเย็นที่มากเกินไป.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

โอภาส แสงทองประกาย. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการสร้างตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

ภาษาอังกฤษ

Bachand, P., Trejo-Gaytan, J., Darby, J and Reuter, J. Small-scale studies on Low Intensity Chemical Dosing (LICD) for treatment of highway runoff. Caltrans LICD Final Report, 2006.

Benefield, L. D., Judkins, J.F. and Weand, B.L. Process chemistry for water and wastewater treatment. New Jersey : Prentice-Hill, Inc., 1982.

ChemicalBook Inc. Aluminium chlorohydrate[online]. (n.d.). Available from : <http://www.chemicalbook.com> [9 September 2008]

Dempsey, B.A. Polyaluminium chloride and alum coagulation of clay fulvic acid suspensions. J. Amer. Wat. Works Assoc. 77 (March 1985) : 74-80.

Hammer, M.J. and Hammer, Jr. M.J. Water and wastewater technology. 3th ed. New Jersey : Prentice International, Inc., 1996.

Hundt, T.R. and Melia, C.R.O. Aluminium-fulvic acid interactions: mechanism and applications. J. Amer. Wat. Works Assoc. 80 (April 1988) : 176-186.

Kaeding, U.W. A direct comparison between aluminium sulphate and polyaluminium chloride as coagulants in water treatment plant. J. Wat. Supply. 10 (April 1992) : 119-132.

Kawamura, S. Consideration on Improveing 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.

- Letterman, R.D., Quon, J.E. and Gemell, R.S. Influence of rapid-mix parameters on flocculation. J. AWWA. 65 (1973) : 716
- Linqvist, N., Korhonen, S., Jokela, J. and Tuhkanen, T. 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, 2002.
- 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.
- Packham, R.F. and Ratnayaka, D.D. Water clarification with aluminium coagulants in the UK. J. Wat. Supply. 10 (April 1992) : 35-48.
- Povillot, M. and Suty, H. High-basicity polymeric aluminium salts for drinking water production. J. Wat. Supply. 10 (1992) : 133-154.
- Rich, G.L. Environmental systems engineering. USA : McGraw-Hill, Inc., 1973.
- Simpson, A.M., Hatton, W. and Brockbank, M. Aluminium its use and control in potable water. J. Envie. Tech. Left. 9 (September 1988) : 907-916.
- Tran, T., Gray, S., Naughton, R. and Bolto, B. Polysilicato-iron for improved NOM removal and membrane performance. Journal of Membrane Science 280 (2006) : 560-571.
- Villegas, R.A. and Letterman, R.D. Optimizing flocculation power input. J. Env. Eng. Div. ASCE. (April 1976) : 251-263
- Virrahavan, T. and Wimmer, C.H. Polyaluminium chloride as an alternative to alum coagulation a case study. J. Agua. 6 (1988) : 316-321.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลองน้ำสังเคราะห์ดินคาโอลิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	24	25	26	27	23
	พีเอช	4.33	6.59	6.54	6.46	6.21	5.95	5.84
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	22	23	24	25	21
	พีเอช	4.35	6.6	6.58	6.44	6.19	5.99	5.88
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	23	24	25	26	22
	พีเอช	4.34	6.595	6.56	6.45	6.2	5.97	5.86

ตารางที่ ก-2 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	23	22	25	22	23
	พีเอช	4.55	6.63	6.44	6.24	5.92	5.88	5.76
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	21	20	23	20	21
	พีเอช	4.52	6.69	6.49	6.26	5.98	5.81	5.71
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	22	21	24	21	22
	พีเอช	4.535	6.66	6.465	6.25	5.95	5.845	5.735

ตารางที่ ก-3 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 7.5 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	22	24	26	29	23
	พีเอช	4.24	6.71	6.65	6.45	5.92	5.77	5.56
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	18	20	22	24	27	21
	พีเอช	4.31	6.69	6.62	6.49	5.98	5.81	5.61
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	21	23	25	28	22
	พีเอช	4.275	6.7	6.635	6.47	5.95	5.79	5.585

ตารางที่ ก-4 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	21	19	22	24	23
	พีเอช	4.54	6.89	6.69	6.58	5.87	5.66	5.45
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	23	21	24	26	25
	พีเอช	4.52	6.91	6.72	6.52	5.82	5.69	5.49
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	22	20	23	25	24
	พีเอช	4.53	6.9	6.705	6.55	5.845	5.675	5.47

ตารางที่ ก-5 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 170 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	25	27	24	26	26
	พีเอช	4.43	6.68	6.45	6.34	5.99	5.76	5.45
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	25	25	26	28	24
	พีเอช	4.46	6.65	6.47	6.32	5.96	5.81	5.41
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25	26	25	27	25
	พีเอช	4.445	6.665	6.46	6.33	5.975	5.785	5.43

ตารางที่ ก-6 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 170 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	27	25	23	28	24	25
	พีเอช	4.32	6.78	6.54	6.49	5.89	5.76	5.32
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	23	21	28	22	23
	พีเอช	4.35	6.74	6.51	6.45	5.84	5.69	5.36
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	24	22	28	23	24
	พีเอช	4.335	6.76	6.525	6.47	5.865	5.725	5.34

ตารางที่ ก-7 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 170 รอบต่อนาที เวลา 7.5 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	27	24	23	26	25	24
	พีเอช	4.55	6.72	6.59	6.32	5.94	5.45	5.23
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	22	23	24	23	22
	พีเอช	4.53	6.77	6.56	6.39	5.96	5.44	5.29
เจลลี่	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	23	23	25	24	23
	พีเอช	4.54	6.745	6.575	6.355	5.95	5.445	5.26

ตารางที่ ก-8 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 170 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	24	23	28	29	26
	พีเอช	4.21	6.89	6.67	6.34	5.98	5.75	6.55
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	22	21	26	27	24
	พีเอช	4.26	6.85	6.61	6.35	6.03	5.69	6.49
เจลลี่	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	23	22	27	28	25
	พีเอช	4.235	6.87	6.64	6.345	6.005	5.72	6.52

ตารางที่ ก-9 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	20	21	23	25	25
	พีเอช	4.45	6.89	6.54	6.2	5.89	5.45	5.19
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	17	19	19	21	23	25
	พีเอช	4.4	6.85	6.49	6.19	5.85	5.48	5.21
เจลลี่	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	18	19.5	20	22	24	25
	พีเอช	4.425	6.87	6.515	6.195	5.87	5.465	5.2

ตารางที่ ก-10 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอดินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	22	25	26	22	24
	พีเอช	4.33	6.99	6.78	6.53	5.98	5.76	5.34
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	20	23	24	24	22
	พีเอช	4.31	6.95	6.74	6.49	5.95	5.73	5.36
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	21	24	25	23	23
	พีเอช	4.32	6.97	6.76	6.51	5.965	5.745	5.35

ตารางที่ ก-11 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอดินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	23	25	26	29	30
	พีเอช	4.24	6.88	6.69	6.29	6.09	5.86	5.43
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	21	25	28	27	28
	พีเอช	4.26	6.85	6.63	6.25	6.07	5.85	5.49
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	22	25	27	28	29
	พีเอช	4.25	6.865	6.66	6.27	6.08	5.855	5.46

ตารางที่ ก-12 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอดินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 23 รอบต่อนาที เวลา 40 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	24	26	28	30	32
	พีเอช	4.33	6.97	6.79	6.35	5.99	5.67	5.42
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	22	24	26	28	30
	พีเอช	4.35	6.95	6.77	6.38	5.95	5.63	5.4
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	23	25	27	29	31
	พีเอช	4.34	6.96	6.78	6.365	5.97	5.65	5.41

ตารางที่ ก-13 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 45 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	25	26	29	32	35
	พีเอช	4.25	6.88	6.54	6.19	5.87	5.59	5.23
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	23	24	27	30	33
	พีเอช	4.27	6.85	6.53	6.21	5.85	5.61	5.25
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	24	25	28	31	34
	พีเอช	4.26	6.865	6.535	6.2	5.86	5.6	5.24

ตารางที่ ก-14 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 45 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	18	20	22	28	32	34
	พีเอช	4.33	6.97	6.77	6.29	5.91	5.49	5.19
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	22	24	26	30	32
	พีเอช	4.35	7.01	6.75	6.33	5.95	5.45	5.21
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	21	23	27	31	33
	พีเอช	4.34	6.99	6.76	6.31	5.93	5.47	5.2

ตารางที่ ก-15 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 45 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	24	26	31	33	37
	พีเอช	4.4	6.92	6.75	6.29	6.01	5.72	5.23
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	22	24	29	31	35
	พีเอช	4.38	6.94	6.77	6.27	5.99	5.75	5.25
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	23	25	30	32	36
	พีเอช	4.39	6.93	6.76	6.28	6	5.735	5.24

ตารางที่ ก-16 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 45 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25	28	29	31	33
	พีเอช	4.49	6.96	6.88	6.34	5.99	5.67	5.33
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	23	26	27	29	31
	พีเอช	4.45	6.94	6.85	6.31	6.03	5.64	5.37
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	24	27	28	30	32
	พีเอช	4.47	6.95	6.865	6.325	6.01	5.655	5.35

ตารางที่ ก-17 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 45 รอบต่อนาที เวลา 40 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	27	28	32	33	36
	พีเอช	4.21	6.86	6.59	6.17	5.87	5.57	5.03
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25	26	30	31	34
	พีเอช	4.24	6.88	6.55	6.15	5.85	5.52	5.12
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26	27	31	32	35
	พีเอช	4.225	6.87	6.57	6.16	5.86	5.545	5.075

ตารางที่ ก-18 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	18	22	25	30	32	36
	พีเอช	4.45	7.02	6.85	6.56	6.12	5.86	5.33
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	24	27	28	30	34
	พีเอช	4.42	6.99	6.83	6.53	6.14	5.85	5.35
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	23	26	29	31	35
	พีเอช	4.435	7.005	6.84	6.545	6.13	5.855	5.34

ตารางที่ ก-19 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์เรต (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	16	22	24	25	26	29
	พีเอช	4.23	6.91	6.73	6.44	5.92	5.83	5.53
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	18	20	21	23	24	26
	พีเอช	4.28	6.93	6.76	6.41	5.95	5.79	5.49
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	17	21	22.5	24	25	27.5
	พีเอช	4.255	6.92	6.745	6.425	5.935	5.81	5.51

ตารางที่ ก-20 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์เรต (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	23	26	30	33	37
	พีเอช	4.49	6.78	6.55	6.39	5.89	5.49	5.03
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	24	28	28	33	35
	พีเอช	4.51	6.75	6.58	6.41	5.85	5.45	5.05
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	23.5	27	29	33	36
	พีเอช	4.5	6.765	6.565	6.4	5.87	5.47	5.04

ตารางที่ ก-21 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์เรต (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	26	28	33	37	39
	พีเอช	4.39	6.88	6.48	6.21	5.76	5.59	5.21
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	24	28	32	35	38
	พีเอช	4.37	6.85	6.44	6.25	5.73	5.54	5.23
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25	28	32.5	36	38.5
	พีเอช	4.38	6.865	6.46	6.23	5.745	5.565	5.22

ตารางที่ ก-22 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอดินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 40 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	27	30	33	35	39
	พีเอช	4.44	6.84	6.35	6.03	5.85	5.28	5.01
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26	28	33	37	38
	พีเอช	4.42	6.88	6.33	6.01	5.88	5.27	5.03
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	26.5	29	33	36	38.5
	พีเอช	4.43	6.86	6.34	6.02	5.865	5.275	5.02

ตารางที่ ก-23 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอดินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 63 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	24	26	29	31	34
	พีเอช	4.29	6.92	6.69	6.37	5.93	5.67	5.41
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	24	25	27	30	32
	พีเอช	4.27	6.93	6.67	6.39	5.95	5.63	5.39
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	24	25.5	28	30.5	33
	พีเอช	4.28	6.925	6.68	6.38	5.94	5.65	5.4

ตารางที่ ก-24 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอดินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 63 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	22	25	29	32	35
	พีเอช	4.37	6.85	6.46	6.25	5.93	5.59	5.17
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	21	26	28	30	33
	พีเอช	4.35	6.84	6.44	6.28	5.96	5.55	5.15
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	21.5	25.5	28.5	31	34
	พีเอช	4.36	6.845	6.45	6.265	5.945	5.57	5.16

ตารางที่ ก-25 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 63 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26	29	32	35	38
	พีเอช	4.29	6.77	6.53	6.03	5.64	5.39	5.15
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	25	28	31	33	36
	พีเอช	4.27	6.79	6.55	6.07	5.61	5.41	5.11
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25.5	28.5	31.5	34	37
	พีเอช	4.28	6.78	6.54	6.05	5.625	5.4	5.13

ตารางที่ ก-26 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 63 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	25	28	30	33	37
	พีเอช	4.19	6.89	6.49	6.02	5.78	5.37	5.11
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26	26	29	31	36
	พีเอช	4.21	6.7	6.46	6.06	5.74	5.36	5.07
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	25.5	27	29.5	32	36.5
	พีเอช	4.2	6.795	6.475	6.04	5.76	5.365	5.09

ตารางที่ ก-27 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 63 รอบต่อนาที เวลา 40 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	27	29	32	35	38
	พีเอช	4.18	6.81	6.65	6.32	5.79	5.34	5.02
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	26	29	31	37	39
	พีเอช	4.15	6.79	6.59	6.35	5.77	5.31	5.06
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26.5	29	31.5	36	38.5
	พีเอช	4.165	6.8	6.62	6.335	5.78	5.325	5.04

ตารางที่ ก-28 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 77 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26	29	30	33	34
	พีเอช	4.45	6.73	6.59	6.29	5.89	5.43	5.11
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	25	27	30	32	34
	พีเอช	4.42	6.71	6.55	6.27	5.84	5.46	5.09
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	25.5	28	30	32.5	34
	พีเอช	4.435	6.72	6.57	6.28	5.865	5.445	5.1

ตารางที่ ก-29 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 77 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	23	24	26	29	33
	พีเอช	4.45	6.74	6.55	6.31	5.97	5.43	5.18
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	22	24	27	30	31
	พีเอช	4.42	6.71	6.57	6.33	5.99	5.41	5.2
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	19	22.5	24	26.5	29.5	32
	พีเอช	4.435	6.725	6.56	6.32	5.98	5.42	5.19

ตารางที่ ก-30 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 77 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25	27	29	31	35
	พีเอช	4.29	6.89	6.57	6.23	5.91	5.67	5.26
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	21	22	26	29	33	36
	พีเอช	4.25	6.85	6.55	6.26	5.95	5.63	5.22
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	22	23.5	26.5	29	32	35.5
	พีเอช	4.27	6.87	6.56	6.245	5.93	5.65	5.24

ตารางที่ ก-31 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 77 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	26	29	30	34	36
	พีเอช	4.48	6.65	6.44	6.12	5.82	5.49	5.16
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	28	31	32	35	37
	พีเอช	4.45	6.69	6.42	6.1	5.84	5.45	5.13
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	27	30	31	34.5	36.5
	พีเอช	4.465	6.67	6.43	6.11	5.83	5.47	5.145

ตารางที่ ก-32 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 77 รอบต่อนาที เวลา 40 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	28	30	32	35	38
	พีเอช	4.28	6.83	6.51	6.33	5.94	5.39	5.25
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	27	28	31	33	37	39
	พีเอช	4.25	6.8	6.49	6.29	5.98	5.42	5.22
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	28	30.5	32.5	36	38.5
	พีเอช	4.265	6.815	6.5	6.31	5.96	5.405	5.235

ตารางที่ ก-33 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 91 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	24	27	29	32	35
	พีเอช	4.38	6.83	6.47	6.21	5.95	5.67	5.32
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	25	27	28	30	34
	พีเอช	4.35	6.85	6.49	6.24	5.93	5.62	5.33
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	24.5	27	28.5	31	34.5
	พีเอช	4.365	6.84	6.48	6.225	5.94	5.645	5.325

ตารางที่ ก-34 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 91 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	23	26	29	35	36
	พีเอช	4.41	6.81	6.69	6.34	5.92	5.79	5.39
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	22	24	28	32	38
	พีเอช	4.44	6.84	6.65	6.31	5.94	5.74	5.38
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	20	22.5	25	28.5	33.5	37
	พีเอช	4.425	6.825	6.67	6.325	5.93	5.765	5.385

ตารางที่ ก-35 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 91 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	23	26	30	29	35	38
	พีเอช	4.5	6.88	6.55	6.28	5.87	5.59	5.22
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	25	27	28	29	33	36
	พีเอช	4.49	6.85	6.59	6.24	5.85	5.61	5.25
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	24	26.5	29	29	34	37
	พีเอช	4.495	6.865	6.57	6.26	5.86	5.6	5.235

ตารางที่ ก-36 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดินคาโอลินความชุ่มเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 91 รอบต่อนาที เวลา 30 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	27	29	33	36	38
	พีเอช	4.49	6.77	6.59	6.32	5.95	5.76	5.28
2	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	28	31	33	34	37
	พีเอช	4.47	6.74	6.55	6.34	5.93	5.71	5.31
เฉลี่ย	ความชุ่ม (เอ็นทียู)	50	26	27.5	30	33	35	37.5
	พีเอช	4.48	6.755	6.57	6.33	5.94	5.735	5.295

ตารางที่ ก-37 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดดินคาโกลินความขุ่นเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 91 รอบต่อนาที เวลา 40 นาที ที่งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)					
			1	3	5	7	10	15
1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	28	29	33	35	38	41
	พีเอช	4.27	6.88	6.57	6.02	5.88	5.49	5.24
2	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	24	26	29	31	34	36
	พีเอช	4.24	6.85	6.53	6.06	5.83	5.46	5.19
เฉลี่ย	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	26	27.5	31	33	36	38.5
	พีเอช	4.255	6.865	6.55	6.04	5.855	5.475	5.215

ตารางที่ ก-38 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์หัดดินคาโกลินความขุ่นเริ่มต้น 50 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ที่งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ACH (mg/L)	เวลาในการตกตะกอน					
				10	20	30	40	50	60
1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	1	26	21	17	16	8.6	7.9
	พีเอช	4.32		6.78	6.69	6.57	6.52	6.49	6.48
2	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	1	24	19	15	13	8.2	7.7
	พีเอช	4.32		6.73	6.67	6.55	6.53	6.51	6.47
เฉลี่ย	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	1	25	20	16	14	8.4	7.8
	พีเอช	4.32		6.755	6.68	6.56	6.525	6.5	6.475

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-39 ผลการทำจาร์ทดสอบน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเริ่มต้น 50 - 400 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบ ต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์ทดสอบ	พารามิเตอร์	น้ำ สังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต (มก./ล.)					
			0.1	0.3	0.5	1	3	5
1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	12	13	16	18	27	29
	พีเอช	4.32	6.39	6.67	6.65	6.59	6.50	5.97
2	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	12	13	14	16	23	27
	พีเอช	4.32	6.37	6.69	6.69	6.57	6.46	5.95
เฉลี่ย	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	12	13	15	17	25	28
	พีเอช	4.32	6.38	6.68	6.67	6.58	6.48	5.96

จาร์ทดสอบ	พารามิเตอร์	น้ำ สังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต (มก./ล.)					
			0.1	0.3	0.5	1	3	5
1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	100	6.2	48	112	112	110
	พีเอช	3.82	5.65	5.45	5.50	5.33	5.03	5.04
2	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	98	5.8	48	108	108	110
	พีเอช	3.82	5.63	5.49	5.52	5.35	5.03	5.02
เฉลี่ย	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	100	6.0	48	110	110	110
	พีเอช	3.82	5.64	5.47	5.51	5.34	5.03	5.03

จาร์ทดสอบ	พารามิเตอร์	น้ำ สังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต (มก./ล.)					
			0.1	0.3	0.5	1	3	5
1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	200	190	7	6.9	128	190	190
	พีเอช	3.75	6.09	5.93	5.79	5.68	5.29	5.02
2	ความขุ่น (เอ็นทียู)	200	190	9	6.9	132	190	190
	พีเอช	3.75	6.11	5.95	5.81	5.70	5.27	5.04
เฉลี่ย	ความขุ่น (เอ็นทียู)	200	190	8	6.9	130	190	190
	พีเอช	3.75	6.1	5.94	5.8	5.69	5.28	5.03

จาร์ทดสอบ	พารามิเตอร์	น้ำ สังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรต (มก./ล.)					
			0.1	0.3	0.5	1	3	5
1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	330	25	4.1	8.4	400	450
	พีเอช	4.84	6.71	6.28	6.02	5.98	5.66	5.53
2	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	310	21	4.3	8.8	360	430
	พีเอช	4.84	6.69	6.28	6.00	5.96	5.64	5.51
เฉลี่ย	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	320	23	4.2	8.6	380	440
	พีเอช	4.84	6.7	6.28	6.01	5.97	5.65	5.52

ตารางที่ ก-40 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ดินคาโอลินความขุ่นเริ่มต้น 50 - 400 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ที่ให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้น			
				5	6	7	8
1	0.1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	8.5	7.6	35	34
		พีเอช	4.32	7.44	7.08	8.12	8.62
2	0.1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	8.3	7.6	31	32
		พีเอช	4.26	7.40	7.06	8.08	8.58
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	8.40	7.60	33	33
		พีเอช	4.29	7.42	7.07	8.10	8.60

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้น			
				5	6	7	8
1	0.3	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	5.1	4.3	90	110
		พีเอช	3.83	7.34	7.23	8.24	8.99
2	0.3	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	4.9	4.5	88	110
		พีเอช	3.81	7.32	7.27	8.22	8.97
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	5.0	4.4	89	110
		พีเอช	3.82	7.33	7.25	8.23	8.98

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้น			
				5	6	7	8
1	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	180	8.7	3.6	84	171
		พีเอช	3.73	6.62	6.80	7.80	8.66
2	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	180	8.3	3.2	82	169
		พีเอช	3.75	6.60	6.82	7.78	8.70
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	180	8.5	3.40	83	170
		พีเอช	3.74	6.61	6.81	7.79	8.68

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ปรับเปลี่ยนพีเอชเริ่มต้น			
				5	6	7	8
1	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	420	7.0	18	360	400
		พีเอช	4.35	7.42	7.14	8.35	9.09
2	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	420	6.8	14	358	400
		พีเอช	4.37	7.40	7.10	8.33	9.11
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	420	6.9	16	359	400
		พีเอช	4.36	7.41	7.12	8.34	9.10

ตารางที่ ก-41 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ความขุ่นเริ่มต้น 50 - 400 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบ ต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	18	4.8	4.4	4.2
		พีเอช	4.33	6.57	6.56	6.38	6.26
2	0.1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	16	4.8	4.2	3.8
		พีเอช	4.31	6.55	6.54	6.34	6.26
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	17	4.8	4.3	4
		พีเอช	4.32	6.56	6.55	6.36	6.26

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.3	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	6.9	5.6	4.7	4.3
		พีเอช	3.83	6.97	5.99	5.87	5.85
2	0.3	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	7.1	5.4	4.7	4.1
		พีเอช	3.81	6.99	5.93	5.85	5.83
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	7	5.5	4.7	4.2
		พีเอช	3.82	6.98	5.96	5.86	5.84

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	210	5.8	5.3	4.8	4.6
		พีเอช	4.55	7.61	7.12	6.70	6.63
2	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	210	5.4	5.1	4.8	4.4
		พีเอช	4.57	7.59	7.10	6.66	6.61
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	210	5.6	5.2	4.8	4.5
		พีเอช	4.56	7.60	7.11	6.68	6.62

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	3.7	4.0	4.6	4.3
		พีเอช	4.85	6.51	6.01	6.03	6.00
2	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	3.9	3.8	4.4	4.3
		พีเอช	4.83	6.53	5.97	6.01	5.98
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	3.8	3.9	4.5	4.3
		พีเอช	4.84	6.52	5.99	6.02	5.99

ตารางที่ ก-42 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ความขุ่นเริ่มต้น 50 - 400 เอ็นทียู กวนเร็วที่ 130 รอบ ต่อนาที เวลา 1 นาที กวนช้าที่ 50 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	15	20	24	19
		พีเอช	4.30	6.65	6.01	5.88	5.76
2	0.1	ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	13	16	22	21
		พีเอช	4.28	6.57	5.97	5.80	5.72
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	50	14	18	23	20
		พีเอช	4.29	6.61	5.99	5.84	5.74

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.3	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	7.1	8.6	9.3	18.2
		พีเอช	3.81	6.58	6.01	5.87	5.77
2	0.3	ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	6.9	8.2	9.5	17.8
		พีเอช	3.83	6.60	6.03	5.89	5.79
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	120	7	8.4	9.4	18
		พีเอช	3.82	6.59	6.02	5.88	5.78

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	210	7.0	7.9	18	17
		พีเอช	4.55	6.91	6.68	6.61	6.38
2	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	210	7.2	8.1	14	13
		พีเอช	4.57	6.99	6.76	6.57	6.36
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	210	7.1	8	16	15
		พีเอช	4.56	6.95	6.72	6.59	6.37

จาร์เทสต์	[ACH] (mg/L)	พารามิเตอร์	น้ำสังเคราะห์	ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ (มก./ล.)			
				0.005	0.01	0.02	0.03
1	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	6.53	7.51	9.07	9.29
		พีเอช	4.85	7.46	6.31	6.25	6.17
2	0.5	ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	6.47	7.49	9.13	9.31
		พีเอช	4.83	7.40	6.29	6.27	6.21
เฉลี่ย		ความขุ่น (เอ็นทียู)	450	6.5	7.5	9.1	9.3
		พีเอช	4.84	7.43	6.3	6.26	6.19



ภาคผนวก ข

ผลการทดลองน้ำดิบจากคลองประปา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-43 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณ ACH ที่เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 7 มกราคม 2552	26.1	7.54	117	0.008		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	11.1	6.03	4.03	2.71	2.67	2.52
พีเอช	7.74	7.72	7.70	7.67	7.64	7.56
ความเป็นด่าง	114	114	114	113	113	113
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.021	0.012	0.013	0.012	0.015	0.012

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 7 มกราคม 2552	27.1	7.47	114	0.013		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	10.3	5.06	3.68	2.70	2.15	1.86
พีเอช	7.68	7.67	7.62	7.61	7.60	7.50
ความเป็นด่าง	113	113	112	112	112	111
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.011	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
	26.6	7.505	115.5	0.008		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	10.7	5.55	3.86	2.71	2.41	2.19
พีเอช	7.71	7.70	7.66	7.64	7.62	7.53
ความเป็นด่าง	113.5	113.5	113	112.5	112.5	111.5
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.016	0.010	0.0105	0.010	0.012	0.0105

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 2.0 มก./ล.

ตารางที่ ข-43 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณ ACH ที่เหมาะสม (ต่อ)

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 18 มิถุนายน 2552	86.5	7.37	91	0.01		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.94	5.47	4.14	4.09	3.58	3.52
พีเอช	7.59	7.58	7.55	7.53	7.50	7.42
ความเป็นด่าง	90	90	90	90	90	89
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 4.0 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 18 มิถุนายน 2552	86.8	7.45	94	0.01		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.41	5.35	4.99	4.62	4.13	3.84
พีเอช	7.56	7.54	7.52	7.49	7.46	7.40
ความเป็นด่าง	91	90	90	90	90	89
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 4.0 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
	86.65	7.41	92.5	0.01		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.18	5.41	4.57	4.36	3.86	3.68
พีเอช	7.58	7.56	7.54	7.51	7.48	7.41
ความเป็นด่าง	90.5	90	90	90	90	89
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.01	0.01	0.02	0.015	0.015	0.015

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 4.0 มก./ล.

ตารางที่ ข-43 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณ ACH ที่เหมาะสม (ต่อ)

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 2 กันยายน 2552	62.5	7.42	88	0.01		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ 3 มก./ล.		ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.75	3.77	3.66	3.55	3.52	3.28
พีเอช	7.71	7.68	7.66	7.64	7.62	7.57
ความเป็นด่าง	85	83	83	83	83	83
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 2 กันยายน 2552	61.4	7.29	85	0.01		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ 3 มก./ล.		ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.59	3.78	3.61	3.11	3.01	2.95
พีเอช	7.69	7.64	7.62	7.60	7.58	7.55
ความเป็นด่าง	84	83	83	83	83	83
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
	61.95	7.36	86.5	0.01		
ความเข้มข้นอะลูมิเนียมคลอไรด์ 3 มก./ล.		ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.67	3.78	3.64	3.33	3.27	3.12
พีเอช	7.70	7.66	7.64	7.62	7.6	7.56
ความเป็นด่าง	84.5	83	83	83	83	83
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.02	0.02	0.015	0.02	0.015	0.02

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

ตารางที่ ข-44 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณ modify PACI ที่เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)		พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 23 มิถุนายน 2552	68.1		7.42	92	0.02	
ความเข้มข้น PACI (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.07	5.21	3.48	3.35	2.99	2.83
พีเอช	7.44	7.44	7.41	7.38	7.37	7.27
ความเป็นด่าง	91	91	91	90	90	90
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.4 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)		พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ	
วันที่ 23 มิถุนายน 2552	65.5		7.34	93	0.02	
ความเข้มข้น PACI (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.41	5.35	4.99	4.62	4.13	3.84
พีเอช	7.56	7.54	7.52	7.49	7.46	7.4
ความเป็นด่าง	92	92	92	91	91	91
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.4 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)		พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ	
	66.8		7.38	92.5	0.02	
ความเข้มข้น PACI (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.24	5.28	4.24	3.99	3.56	3.34
พีเอช	7.5	7.49	7.47	7.44	7.42	7.34
ความเป็นด่าง	91.5	91.5	91.5	90.5	90.5	90.5
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.055	0.05	0.055	0.06	0.055	0.06

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.4 มก./ล.

ตารางที่ ข-44 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำคิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณ modify PACI ที่เหมาะสม
(ต่อ)

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นต่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 4 กันยายน 2552	44.3	7.45	88	0.01		
ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.2 มก./ล.		ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.65	3.94	3.74	3.66	3.68	3.7
พีเอช	7.72	7.62	7.61	7.58	7.5	7.49
ความเป็นต่าง	87	87	87	87	87	86
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นต่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 4 กันยายน 2552	41.6	7.53	88	0.01		
ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.2 มก./ล.		ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.44	3.77	3.47	3.24	3.23	3.5
พีเอช	7.79	7.64	7.63	7.6	7.58	7.55
ความเป็นต่าง	87	87	87	87	86	86
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำคิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นต่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
	42.95	7.49	88	0.01		
ความเข้มข้น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1.2 มก./ล.		ความเข้มข้น โพลีเมอร์ประจุบวก (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.55	3.86	3.61	3.45	3.46	3.6
พีเอช	7.76	7.63	7.62	7.59	7.54	7.52
ความเป็นต่าง	87	87	87	87	86.5	86
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.05	0.05	0.045	0.035	0.035	0.03

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

ตารางที่ ข-45 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 19 มิถุนายน 2552	79	7.43	92	0.02		
ความเข้มข้นสารส้ม (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	25	30	35	40	45	50
ความขุ่น (เอ็นทียู)	9.2	6.0	4.7	3.4	2.7	2.5
พีเอช	7.13	7.07	7.04	6.99	6.95	6.92
ความเป็นด่าง	84	82	80	78	76	74
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.13	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 35 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 19 มิถุนายน 2552	77.3	7.27	94	0.02		
ความเข้มข้นสารส้ม (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	25	30	35	40	45	50
ความขุ่น (เอ็นทียู)	11.5	7.72	4.6	4.25	3.14	2.96
พีเอช	7.18	7.15	7.12	7.09	7.09	7.09
ความเป็นด่าง	86	85	84	81	78	76
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.16	0.14	0.13	0.11	0.11	0.09

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 35 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
	78.15	7.35	93	0.02		
ความเข้มข้นสารส้ม (มก./ล.)						
พารามิเตอร์	25	30	35	40	45	50
ความขุ่น (เอ็นทียู)	10.35	6.86	4.65	3.83	2.92	2.73
พีเอช	7.16	7.11	7.08	7.04	7.02	7.01
ความเป็นด่าง	85	83.5	82	79.5	77	75
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.145	0.13	0.115	0.1	0.09	0.075

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณที่เหมาะสมคือ 35 มก./ล.

ตารางที่ ข-45 ผลการทำอาร์เทสต์น้ำดิบจากคลองประปาเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (ต่อ)

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 3 กันยายน 2552	53.4	7.32	85	0.01		
ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล.		ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.24	3.67	3.65	3.74	3.85	3.7
พีเอช	7.24	7.16	7.17	7.15	7.17	7.16
ความเป็นด่าง	74	72	72	72	72	72
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.1	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
วันที่ 3 กันยายน 2552	50.8	7.44	82	0.01		
ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล.		ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	6.03	4.01	4.1	4.17	3.95	3.91
พีเอช	7.34	7.22	7.21	7.22	7.22	7.22
ความเป็นด่าง	75	73	73	72	72	72
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.1	0.1	0.1	0.09	0.08	0.09

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.

เฉลี่ย

คุณภาพน้ำดิบ	ความขุ่น (เอ็นทียู)	พีเอช	ความเป็นด่าง	อะลูมิเนียมในน้ำ		
	52.1	7.38	83.5	0.01		
ความเข้มข้นสารส้ม 30 มก./ล.		ความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบ (มก./ล.)				
พารามิเตอร์	ไม่เติม	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.64	3.84	3.88	3.96	3.9	3.81
พีเอช	7.29	7.19	7.19	7.19	7.20	7.19
ความเป็นด่าง	74.5	72.5	72.5	72	72	72
อะลูมิเนียมในน้ำ (มก./ล.)	0.10	0.095	0.095	0.085	0.08	0.085

สรุป เลือกความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสมคือ 0.01 มก./ล.



ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์อะคูมิเนียมในตะกอนด้วยเครื่อง ICP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานเลขที่ ICP-037 / 2552

หน้าที่ 1 / 1

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง สารละลาย รหัสใบส่งตัวอย่าง 521427
 เจ้าของตัวอย่าง นางสาวสาวิตรี คาสุดิน
 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 วัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Al
 วิธีวิเคราะห์ ICP atomic emission spectrometry
 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer;
 Perkin Elmer model PLASMA-1000
 วันที่วิเคราะห์ 29 พฤษภาคม 2552
 ผลการวิเคราะห์

สารละลาย	ปริมาณธาตุ Al (mg/l)
ตะกอน (24 / 5 / 52)	113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ผู้วิเคราะห์
 (นายอุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี)

หมายเหตุ ผลการทดสอบฉบับนี้ เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ส่งทดสอบ
 ณ. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เท่านั้น

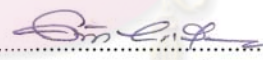
รายงานเลขที่ ICP-045 / 2552

หน้าที่ 1 / 1

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง สารละลาย รหัสใบส่งตัวอย่าง 521835
 เจ้าของตัวอย่าง นางสาว ศาวิตรี ตาสุดิน
 วัตถุประสงค์ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 วิเคราะห์ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Al
 วิธีวิเคราะห์ ICP atomic emission spectrometry
 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer;
 Perkin Elmer model PLASMA-1000
 วันที่วิเคราะห์ 14 กรกฎาคม 2552
 ผลการวิเคราะห์

สารละลาย	ปริมาณธาตุ Al (mg/l)
น้ำ ACH [17/6/52]	0.24
น้ำ Alum [19/6/52]	0.25
ตะกอน PACl [23/6/52]	0.25
ตะกอน ACH [2/7/52]	237
ตะกอน Alum [2/7/52]	282
ตะกอน PACl [2/7/52]	201


 ผู้วิเคราะห์
 (นายอุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี)

หมายเหตุ ผลการทดสอบฉบับนี้ เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ส่งทดสอบ
 ณ. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เท่านั้น

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานเลขที่ ICP-063 / 2552

หน้าที่ 1 / 1

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง สารละลาย รหัสใบส่งตัวอย่าง 522471
 เจ้าของตัวอย่าง นางสาว สาวิตรี ตาสุดิน
 วัตถุประสงค์ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Al
 วิธีวิเคราะห์ ICP atomic emission spectrometry
 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer;
 Perkin Elmer model PLASMA-1000
 วันที่วิเคราะห์ 8 กันยายน 2552
 ผลการวิเคราะห์

สารละลาย	ปริมาณธาตุ Al (mg/l)
น้ำ ACH [17/6/52]	0.52
น้ำ Alum [19/6/52]	1.11
น้ำ PACI [23/6/52]	0.64
ตะกอน ACH	98.8
ตะกอน Alum	147.4
ตะกอน PACI	118.1


 ผู้วิเคราะห์
 (นายอุทัย ดิษะวิสุทธ์ศรี)

หมายเหตุ ผลการทดสอบฉบับนี้ เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ส่งทดสอบ
 ณ. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เท่านั้น

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสาวิตรี ตาสุดิน เกิดเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใน ปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย