



**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**  
**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

Improvement of Coagulation Efficiency with Ion Generator

นามผู้วิจัย นางสาวกนกวรรณ อินทรโม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มณฑล ฐานุตตมวงศ์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

Improvement of Coagulation Efficiency with Ion Generator

โดย

นางสาวกนกวรรณ อินทรโม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กนกวรรษ อินทรโม 2556: การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า วิทยุวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์มณฑล ฐานุตตมวงศ์, Ph.D.  
68 หน้า

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการตกตะกอนทางเคมีด้วยเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกนำน้ำดิบจากการสังเคราะห์ ไม่ผ่านและผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ส่วนที่สองนำน้ำดิบสังเคราะห์ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าและมีการใช้สารสร้างตะกอนร่วมกับการศึกษาด้วย ส่วนที่สามนำสารสร้างตะกอนไม่ผ่านและผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าร่วมกับน้ำดิบสังเคราะห์ ซึ่งทั้งสามการศึกษานำไปทำการทดลองจารีต และการทดลองสภาพความเป็นต่าง โดยสารสร้างตะกอนที่นำมาทำการศึกษาประกอบด้วย อลูมิเนียมซัลเฟต(สารส้ม) เฟอริกคลอไรด์ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ ผลการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าช่วยในกระบวนการรวมและตกตะกอนทางเคมี ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการรวมตะกอนที่มีหลากหลายกลไกทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งส่งผลทำให้การนำน้ำดิบจากการสังเคราะห์และสารละลายผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าโดยตรงมีประสิทธิภาพสูงในการลดความขุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำดิบสังเคราะห์และสารสร้างตะกอนที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า โดยในปริมาณความเข้มข้นที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรของสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์ มีปริมาณความขุ่นหลังตกตะกอนที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุอยู่ที่ 17.6 NTU เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความขุ่นน้ำดิบสังเคราะห์และสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 15.9 NTU 13.0 NTU ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพความขุ่นหลังตกตะกอนที่ลดลงถึง 9.6 % และ 26.1 % ตามลำดับโดยการศึกษาครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีคือ การนำสารสร้างตะกอน ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าโดยตรง

---

ลายมือชื่อนิติศ

---

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kanokwat Intharamo 2013: Improvement of Coagulation Efficiency with Ion Generator. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Monthon Thanuttamavong, Ph.D. 68 pages.

This study had an objective for Improvement of Coagulation Efficiency with Ion Generator. The study was divided into 3 parts: 1) Bring water from the synthetic Not through and through the ion generator 2) The synthetic water through ion generators with coagulant 3) The coagulant not through and through direct ion generator. Experimental from the jar test And experimental alkalinity. The study using coagulants are aluminium sulfate ferric chloride and poly aluminium chloride. The study result showed that using ion generators assist in the process and coagulation and Flocculation range of mechanisms destroying stability of colloidal particles. The study result showed water from the synthesis solution and charge directly through the ion generator is highly effective in reducing turbidity compared to synthetic raw materials not through ion generator. Coagulant through the ion generator can directly reduce turbidity in the water have reduced by aluminum sulfate solution. The concentration of 20 milligrams per liter of water to ferric chloride. Amount of turbidity after coagulation is not through the Ion generator charge the 17.6 NTU compared to the turbidity of raw water and coagulant to the coagulant through the Ion generation is 15.9 NTU 13.0 NTU, respectively, representing the turbidity after coagulation. reduced to 9.6% and 26.1%, respectively, this study found that the highest efficiency is to compound a coagulant through direct the Ion generator.

---

Student's signature

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑล ฐานุตตมวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำปรึกษา อ.ดร.ทรรศนีย์ พุกยาศิทธิ ผศ.  
ดร.จิมา ศรลัมภ์ สำหรับข้อคิดที่ดีในการวิจัยและการจัดทำรูปเล่ม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จ  
ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บริษัท เบสเทรค พริซิชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ  
สนับสนุนทุนในการวิจัยนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบ  
ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้ความ  
ช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงประสบ  
ผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

กนกวรรณ อินทรโม  
เมษายน 2556

## สารบัญ

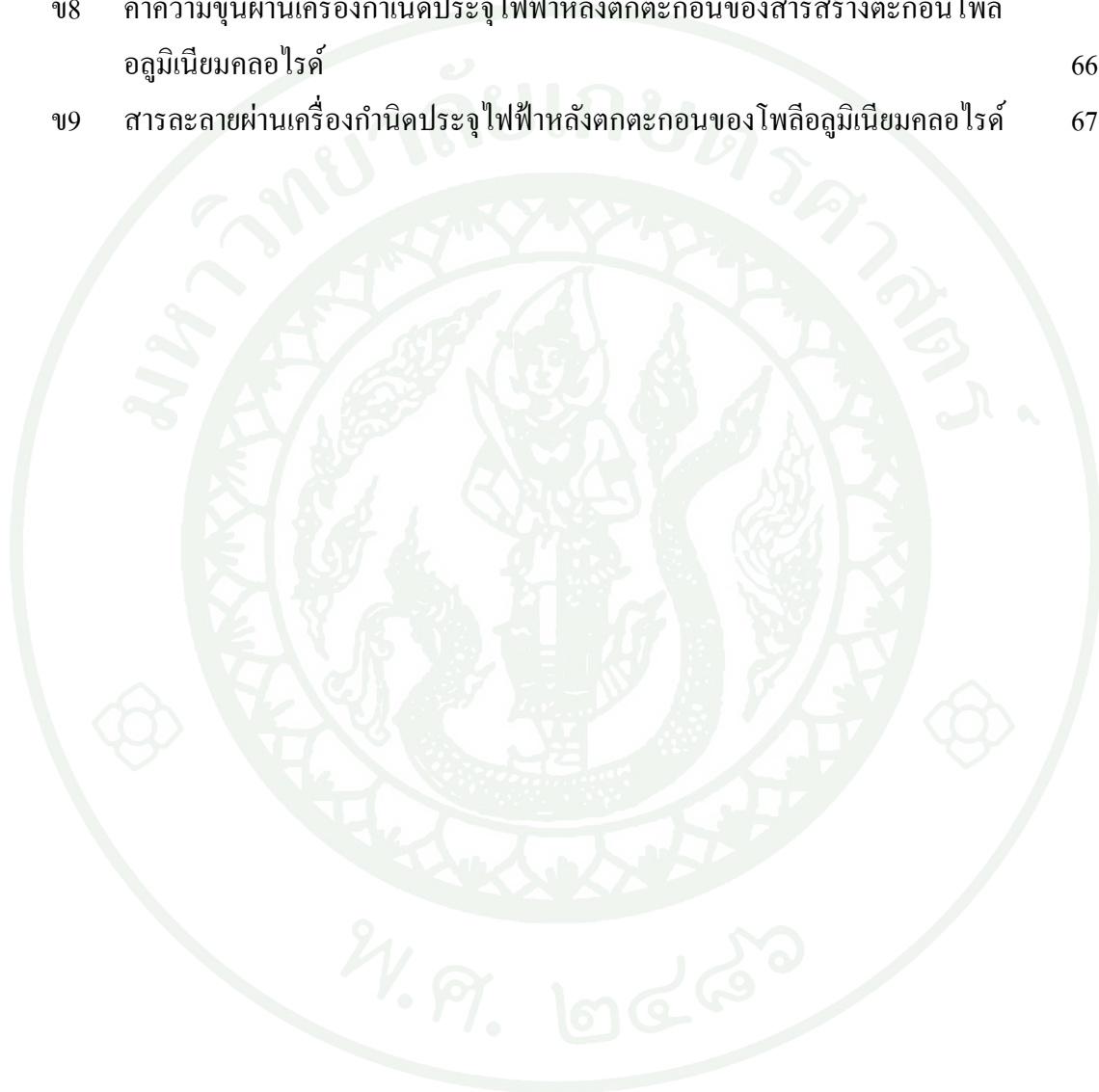
	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	25
สรุปและข้อเสนอแนะ	39
สรุป	39
ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	41
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก ข้อมูลวิธีการวิเคราะห์	45
ภาคผนวก ข ผลและภาพการทดลอง	48
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	68

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลความขุ่นของสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	26
2	ผลความขุ่นของสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์	26
3	ผลความขุ่นของสารสร้างตะกอน โพลีอลูมิเนียมซัลเฟต	28
4	สภาพของความเป็นด่างสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	31
5	สภาพของความเป็นด่างสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์	34
6	สภาพของความเป็นด่าง โพลีอลูมิเนียมซัลเฟต	36
ตารางผนวกที่		
ก1	ความสัมพันธ์ระหว่าง Total Alkalinity, Phenolphthalien Alkalinity	53
ก2	ค่าเฉลี่ยลำน้ำปี พ.ศ. 2545-2546	57
ข1	ค่าความขุ่นไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้างตะกอน อลูมิเนียมซัลเฟต	63
ข2	ค่าความขุ่นน้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้างตะกอน อลูมิเนียมซัลเฟต	63
ข3	ค่าความสารสร้างตะกอนผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้าง ตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	64
ข4	ค่าความขุ่นไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้างตะกอนเฟ อริกคลอไรด์	64
ข5	ค่าความขุ่นน้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้าง ตะกอนเฟอริกคลอไรด์	65
ข6	ค่าความสารสร้างตะกอนผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้าง ตะกอนเฟอริกคลอไรด์	65
ข7	ค่าความขุ่นไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้างตะกอนโ ลีโอลูมิเนียมคลอไรด์	66

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข8 ค่าความชุ่นผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้างตะกอนโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์	66
ข9 สารละลายผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์	67



## สารบัญภาพ

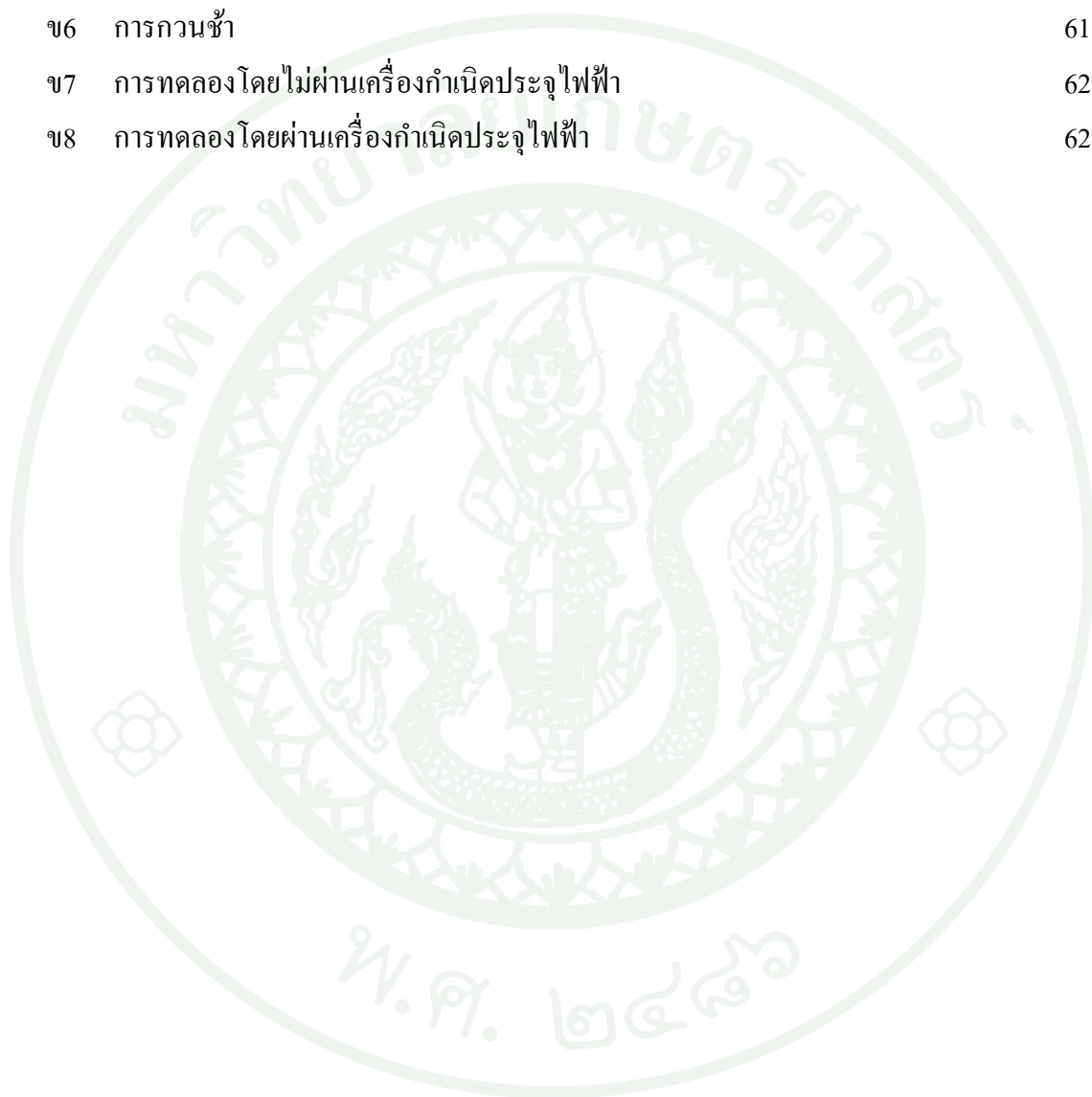
ภาพที่		หน้า
1	ผลของการเติมอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมอออน (ข) หลังจากการ เติมอออนแล้ว	4
2	การเปรียบเทียบปริมาณ โคนอกกุเลนท์ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์	5
3	กลไกในการสร้างโคนอกกุเลนท์ด้วยสารส้ม	6
4	โครงสร้างทางเคมีของ Lapofloc PACI และ Alum	8
5	แสดงกระบวนการ Coagulation และ Flocculation ของ $FeCl_3$	11
6	ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุม โคนอกกุเลนท์ด้วยเฟอริกคลอไรด์	11
7	การทำงานของเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า	17
8	หลักการการทำงานของเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ยี่ห้อ Zeta rod	18
9	เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ายี่ห้อ Zeta rod รุ่น ZR-R30	22
10	วิธีการทดลองแบบที่ 1	23
11	วิธีการทดลองแบบที่ 2	23
12	วิธีการทดลองแบบที่ 3	24
13	ปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	25
14	ปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	26
15	ปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์	27
16	ปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์	27

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ปริมาณความชุ่มชื้นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	28
18	ปริมาณความชุ่มชื้นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	29
19	ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	32
20	ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต	33
21	ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์	34
22	ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์	35
23	ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	36
24	ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	37
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ข1	เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ยี่ห้อ Zeta rod	59
ข2	ดินคาโอลิน	59
ข3	เครื่องวัดความชุ่ม	60
ข4	เครื่องวัดพีเอช	60
ข5	การกวนเร็ว	61

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข6 การกวนข้าว	61
ข7 การทดลองโดยไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า	62
ข8 การทดลองโดยผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า	62



### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

pH	=	ความเป็นกรดด่าง
NTU	=	Nephelometric Turbidity Units
Alkalinity	=	ค่าความเป็นด่าง
Kaolin	=	ดินคาโอลิน
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	=	Aluminium sulfate
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	=	Ferric chloride
$\text{Al}_n(\text{OH})_m \text{Cl}_{(3n-m)}$	=	Poly Aluminium Chloride
NaOH	=	Sodium Hydroxide

# การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

## Improvement of Coagulation Efficiency with Ion Generator

### คำนำ

ความขุ่นหรือการมีอนุภาคคอลลอยด์ในปริมาณที่มากในแหล่งน้ำ ส่งผลต่อการดำรงชีวิตต่อระบบนิเวศ การเติมสารเคมีในน้ำเพื่อการสร้างตะกอนเป็นกระบวนการทำให้อนุภาคแขวนลอยขาดเสถียรภาพ และช่วยในการบำบัด โดยธรรมชาติในน้ำมักพบเป็นประจุลบซึ่งการเติมสารละลายในการช่วยในการสร้างและตกตะกอน (โคแอกกูแลนต์) ที่ให้ออนที่มีประจุตรงข้ามหรือประจุบวกโดยสารสร้างตะกอน ซึ่งช่วยให้ประจุของคอลลอยด์ เกิดการรวมตัวกันได้ดีกว่าการสร้างตะกอน โดยธรรมชาติส่วนใหญ่จากการน้ำใช้จากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ เป็นเหตุให้น้ำเน่าเสีย ส่งผล กระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพอนามัยของผู้คนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง หรือผู้สัญจรไปมา เกิดผลรวดเร็วถ้ามีการทิ้งน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดที่สมบูรณ์ หรือทิ้งของเสีย ขยะมูลฝอย สารเคมี สารพิษ ลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

โดยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่นในน้ำเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ การเติมสารเคมีในน้ำการสร้างตะกอนเป็นกระบวนการทำให้อนุภาคแขวนลอยขาดเสถียรภาพ ซึ่ง สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดี กับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆและหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก การทดลองหาปริมาณสารส้มเพื่อเติมลงในน้ำ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับกรรมวิธีการทำน้ำประปา ซึ่งจะได้อมาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการทำ จาร์เทส โดยสามารถอาศัยกลไกลดความหนาของชั้นกระจาย โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับ คอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า ที่ผิวนอกสุดของน้ำลด ตามไปด้วยการทำลายเสถียรภาพ และรวมถึงการใช้ เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจะทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าบวกเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและส่งผลให้ลดการใช้สารสร้างตะกอนในการรวมและตกตะกอน

จากการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการตกตะกอนทางเคมีโดยการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าเป็นการทดลอง โดยการนำสารละลายที่ช่วยเพิ่มในการตกตะกอนผ่านเข้าเครื่องกำเนิด

ประจุไฟฟ้าโดยตรงเปรียบเทียบกับกับสารละลายที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า นำสารละลายที่ได้มาทำการทดลองจาร์เทส โดยการวัดประสิทธิภาพของปริมาณความชุ่มที่เกิดขึ้น



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลการตกตะกอนก่อนและหลังการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า โดยการผ่านเข้าน้ำดิบ(น้ำสังเคราะห์จากดินเหนียว) โดยตรง
2. เพื่อศึกษาผลของการตกตะกอนด้วย การใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับอลูมิเนียมซัลเฟต(สารส้ม) เฟอริกคลอไรด์ และโพลูอลูมิเนียมคลอไรด์
3. เพื่อศึกษาปริมาณค่าความเหมาะสมของการใช้สารละลาย อลูมิเนียมซัลเฟต(สารส้ม) เฟอริกคลอไรด์และโพลูอลูมิเนียมคลอไรด์เมื่อผ่าน ไปในเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอน

## ขอบเขตการศึกษา

1. เป็นการศึกษาโดยการใช้น้ำดิบ(น้ำสังเคราะห์จากดินเหนียว) โดยศึกษาความขุ่น จาก การวัดความขุ่นก่อนและหลังการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า
2. ทดสอบโดยใช้สารสร้างตะกอน คือ สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ และโพลูอลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนทางเคมี
3. ทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างและรวมตะกอนในการทดลองจาร์เทสโดยการหาปริมาณค่าความเหมาะสมของปริมาณสร้างตะกอน ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ร่วมกับเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า
4. เครื่องมือเบื้องต้นที่ใช้วัดการทดลองคือ เครื่องวัดความขุ่น พีเอช สภาพความเป็นด่าง โดยจะวัดก่อนและหลังการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

## การตรวจเอกสาร

### 1. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟลอคคูเลชัน (Flocculation)

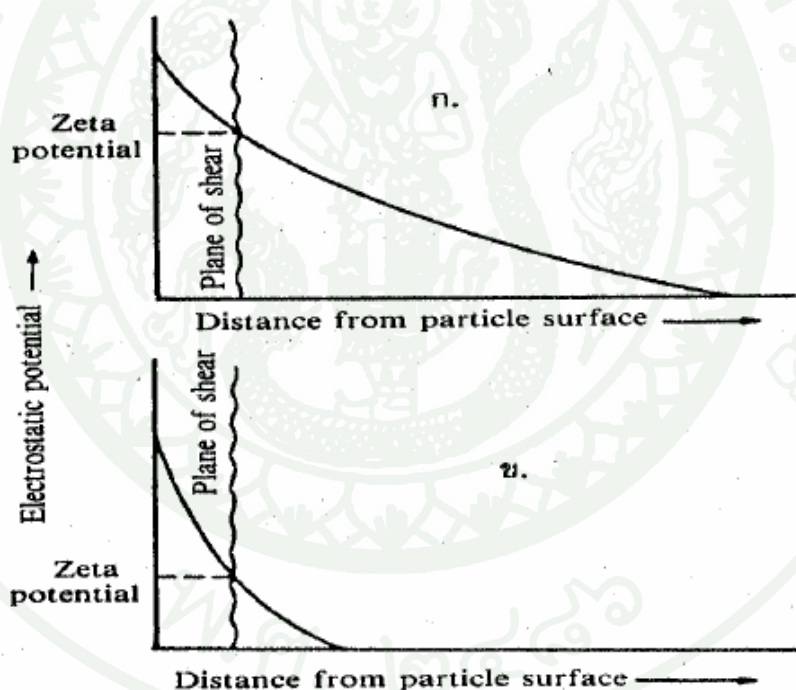
1.1 กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลด ตามไปด้วยการทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือ โดยปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติม เพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจาย ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์ และไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้คอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก

1.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

1.3 กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เช่น การใส่สารส้มให้เกิดผลึก  $Al(OH)_3$  เหมือนวุ้นสีขาว เพื่อให้อนุภาคมามากแล้ว รวมกันเป็นฟลอคได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มี ลักษณะที่แตกต่างจากกลไก แบบแรกคือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์ จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์ น้อยกว่า เหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูเลชันอาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โค แอกกูแลนต์ ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆสำหรับเป็นสารสัมผัสให้กับอนุภาค คอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัส จากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดฟลอค ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคคูเลชัน (Flocculation)

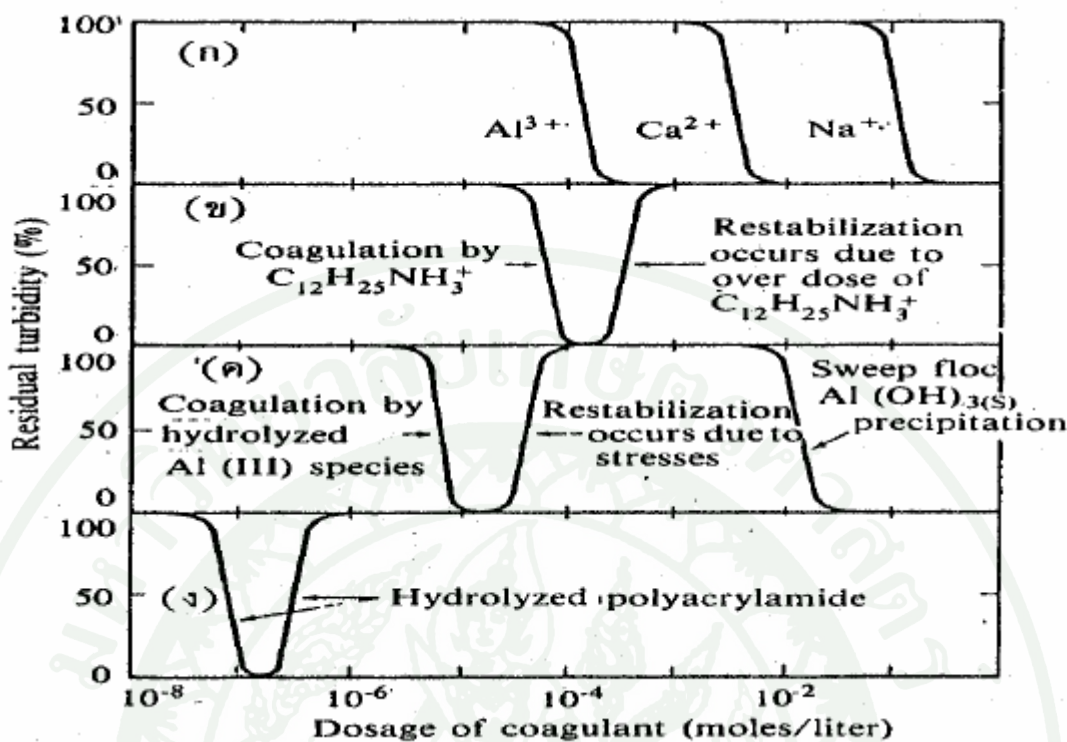
## 2. วิธีการสร้างสัมพัทธ์ให้อนุภาค

อนุภาคสามารถจำแนกตามขนาดได้ โดยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่นในน้ำ เรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง  $10^{-6}$  จนถึง  $10^{-3}$  มิลลิเมตร เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด นอกจากนี้ อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารซักฟอก ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกัน เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค อนุภาคเหล่านี้มีเสถียรภาพสูง ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆ รวมตัวกันและจับกันเป็นก้อนจะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนด้วยกลไก แบบต่างๆ



ภาพที่ 1 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการ เติมไอออนแล้ว

ที่มา: มั่นสิน (2542)



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณ โคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

ที่มา: มั่นสิน (2542)

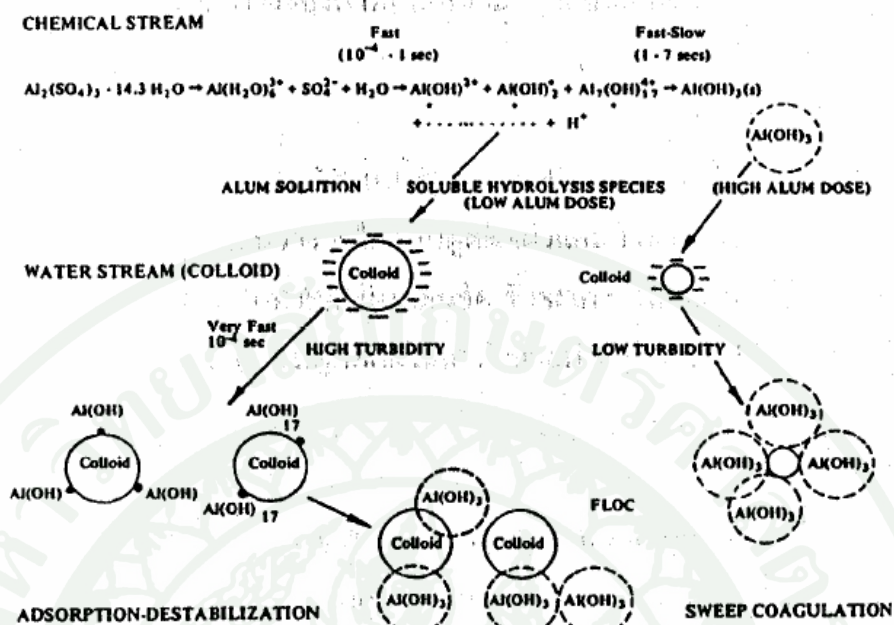
จะเห็นว่าแบบ (ก) ซึ่งเป็นการลดความหนาของชั้นกระจายด้วย  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  และ  $\text{Na}^{+}$  ต้องการสารเคมีมากที่สุดซึ่งเป็นการใช้พอลิเมอร์เป็นตัวเชื่อมโยง(สะพาน)ให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมตัวกัน มีความต้องการสาร โคแอกกูแลนต์น้อยที่สุด (มั่นสิน,2537)ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมพัทธ์เกิดขึ้น คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่าง ๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ ไม่เท่ากันจึงมีการสัมพัทธ์เกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟลอคก็เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไปซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมพัทธ์หรือสร้างฟลอคคูเลชันเรียกว่าถังกวนช้าและวิธีการสร้างสัมพัทธ์แบบนี้มีชื่อเทคนิคว่า Orthogenetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟลอคคูเลชันแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร การสัมพัทธ์ของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเรียกว่า Perikinetic Flocculation การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟลอคคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้โดย อนุภาคที่สามารถสร้างฟลอคคูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟลอคคูเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่งเมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟลอคคูเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1–1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร ฟลอคคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้าง สัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อยในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

### 3. กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารสร้างตะกอน

#### 3.1. กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต)

สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดี กับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆและหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้มมีสูตรโมเลกุลคือ  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  ซึ่งโดยปกติ n มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก  $Al_2(SO_4)_3$  จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้  $Al(H_2O)_6^{+3}$  หรือ  $Al^{+3}$  ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ  $Al^{+3}$  จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่างที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $OH^-$  จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน สารส้มที่เติมลงในน้ำจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์



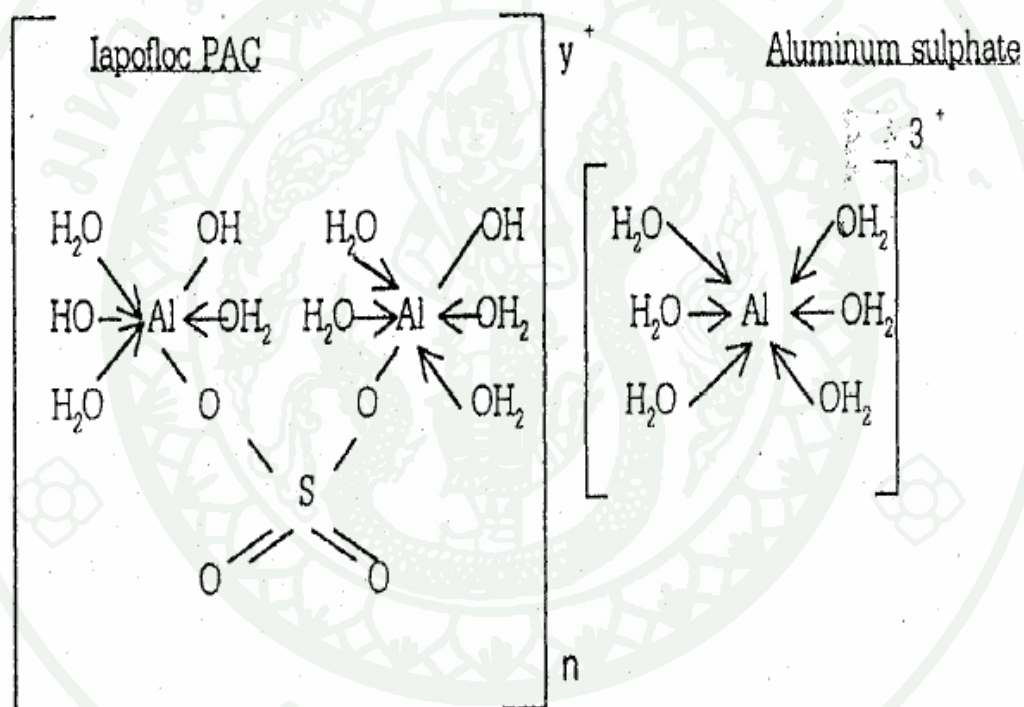
ภาพที่ 3 กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

ที่มา: มั่นสิน (2537)

### 3.2 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

สารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly Aluminum Chloride: PAC) PAC เป็นสารเคมีคุณภาพสูงสำหรับผลิตน้ำประปาและระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเป็นสารช่วยตกตะกอนอีกชนิดหนึ่งที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ไม่ใช่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากนัก PAC เป็นเกลืออะลูมิเนียมที่มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{Al}(\text{OH})\text{Cl}$  ซึ่งเป็นสารประเภทโพลีอินทรีย์ที่เกิดจากการรวมตัว โดยนิวเคลียสหลายตัว (โมเลกุลใหญ่) มีประจุไฟฟ้าบวกมีคุณสมบัติจับตัวสูง และมีเสถียรภาพมาก สามารถใช้ได้ ในกิจกรรมทั่วไป ที่ต้องการตกตะกอนของสารผสมหรือสารแขวนลอยหรือสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการ แล้วที่ให้ตกตะกอนหรือกรองออกไป ลักษณะของกิจกรรมที่มีการ ผลิตน้ำประปา สำหรับใช้ในชุมชนเมือง หรืออุตสาหกรรม โดยใช้ น้ำดิบจากแม่น้ำ-น้ำบาดาล-น้ำเสียจากอุตสาหกรรม การนำสารที่ยังสามารถใช้ประโยชน์ได้กลับมา โดยการตกตะกอนจากน้ำเสียประเภทต่างๆ หรือ การแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า PAC ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แล้วดังนี้ การผลิตน้ำประปาชุมชน การบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมเคมี

อุตสาหกรรมอาหาร โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum Chloride, PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กัน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป PACl ถูกเตรียมขึ้น โดยอลูมิเนียมที่เป็น  $Al_2O_3$  นี้จะทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น  $AlCl_3$  หลังจากนั้นจะทำ ปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูงเพื่อให้ รวมตัวเป็นอลูมิเนียมพอลิเมอร์ ซึ่งเมื่อเติม สารส้มลงไป สารละลายนี้ สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ  $Al_2O_3$  ให้เหลือ 10-11 % และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อไปทำ หน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอลูมิเนียม 2 อะตอม สูตรทั่วไปของ PACl คือ  $Al_n(OH)_m Cl_{3-n-m}$



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของ Lapofloc PACI และ Alum

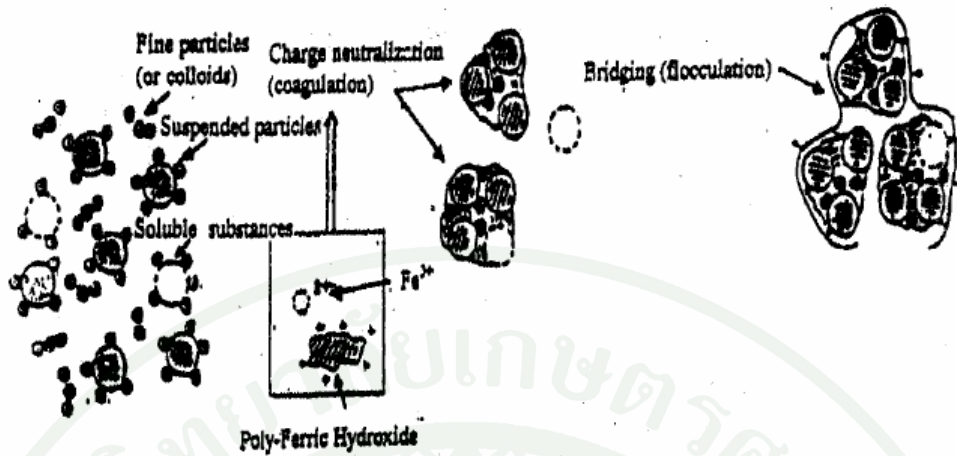
ที่มา: มั่นสิน (2537)

เมื่อ PACl ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ซึ่งตัวที่ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ  $[Al_3O_4(OH)_2]^{+7}$  หรือ  $Al^{+13}$  ซึ่งการรวมตัวเป็นอลูมิเนียมตัวนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของค่ากับกับสารละลายอลูมิเนียมชนิดและความเข้มข้นของค่าความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ อุณหภูมิซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือปริมาณของค่าที่เติมลงไปและ

ระดับของความเป็นกลาง เมื่อนำโพลีลูมิเนียมคลอไรด์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนแทนสารส้มนั้นพบว่า ใช้ได้กับน้ำในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5.5 หรือพีเอชมากกว่า 7 ทำให้เกิดการรวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็วและมีความแข็งแรงกว่าและตกตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้ม ในการใช้ PACI เป็นสารสร้าง ตะกอนจะไม่มี ความจำเป็นต้องใช้สารช่วยสร้างตะกอน(Coagulate aid) เลย ข้อดีของการใช้สาร PAC ใช้ใน ปริมาณที่น้อยกว่าการใช้สารส้ม ลดปริมาณการใช้สารเคมีในการปรับ พีเอช การรวมตัวของฟล็อก ได้เร็วกว่า และตกตะกอนที่เกิดขึ้นจะยึดตัวแน่น ความหนาแน่นของตะกอนสูงกว่า ใช้งานในช่วง พีเอชกว้างกว่าการใช้สารส้ม ปริมาณลูมิเนียมตกค้างน้อยกว่าการใช้สารส้ม

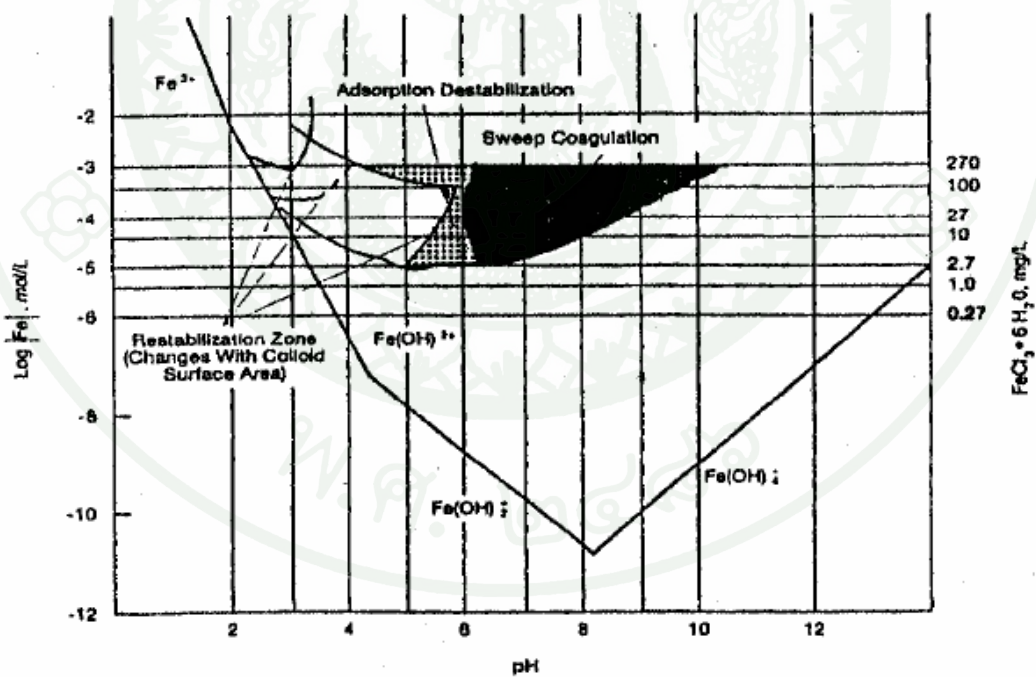
### 3.3 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยเฟอริกคลอไรด์

เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมีคือ  $FeCl_3$  มี ลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือ เหลือง เป็นเม็ดสีเขียวหรือดำ และมีรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติจะละลายน้ำได้ดีและ เติมน้ำดิบในรูปของสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัด กร่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น จะได้ตะกอนเฟอริกไฮดรอกไซด์ เฟอริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของ สารประกอบหลักเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวก สามารถทำ ให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่ เกิดจากของแข็งในน้ำตะกอนด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอริกคลอไรด์ จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอนและ เปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity การสร้าง โคแอกกูเลชันด้วยสารส้มอาจได้ผลไม่ดีนักกับน้ำอ่อนที่มีสีเข้ม กรณีเช่นนี้เฟอริกคลอไรด์ให้ผลดีกว่า เมื่อเติมเฟอริกคลอไรด์ให้กับน้ำจะมีผลึกเฟอริกไฮดรอก ไซด์เกิดขึ้น ข้อดีอีกประการหนึ่งของสารเคมีชนิดนี้คือ สามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำที่มี  $H_2S$  ได้ดีเฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนได้ทั้ง 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 Coagulation เฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่างๆทั้งที่แขวนลอยและละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลาง โดยการดูดซับประจุ และทำปฏิกิริยากับประจุบน ผิวของอนุภาคนั้นๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลง และอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดเป็นตะกอนเล็กๆ ขนาดระหว่าง  $10^{-9}$  หรือ  $10^{-7}$  มม. ขั้นตอนที่ 2 Flocculation เฟอริกคลอไรด์ จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็กๆซึ่งเกิดขึ้นจาก ขั้นตอนที่ 1 ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาด มากกว่า  $10^{-7}$  ม. ซึ่งถือว่าเป็นขนาดของตะกอน ที่ใหญ่และหยาบทำให้ง่ายต่อขบวนการแยก ตะกอนออกจากน้ำในขบวนการต่อไป



ภาพที่ 5 แสดงกระบวนการ Coagulation และ Flocculation ของ  $FeCl_3$

ที่มา: มั่นสิน (2537)



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์

ที่มา: มั่นสิน (2537)

#### 4. การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation Aid)

ในการใช้สารช่วยสร้างตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นสารประเภทพอลิเมอร์ องค์กรประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของพอลิเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว (Long Chain) เป็นสารเคมีชนิดพิเศษสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จากมอนอเมอร์หลาย ๆ ตัวรวมกันหรือสามารถทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มน้ำหนักของมอนอเมอร์ซึ่งเป็นตัวแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นมอนอเมอร์จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของพอลิเมอร์แขนงของมอนอเมอร์ค่อนข้างกว้างจึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์พอลิเมอร์ เช่น acrylamide สารอินทรีย์สังเคราะห์พอลิเมอร์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆคือ Cationic Polymer มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนพอลิเมอร์ ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของไนโตรเจน มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ประจุบวก ได้แก่ Polydiallyldimethyl Ammonium (PDADMA, cat-floc) สาร รวมตะกอน Polyacrylamide ประเภทประจุบวกเตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมีชนิด Polyacrylamide ชนิดไม่มีประจุ หรือเป็นการรวมมอนอเมอร์ประเภทประจุบวกด้วย

- Acrylamide Polymer โดยพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอนเนื่องจากของแข็งใน น้ำตะกอนสดนั้นมีประจุลบ

- Anionic Polymer มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ Acrylamide ที่ละลายอยู่ในกรด Acrylic พอลิเมอร์ชนิดประจุลบ ได้แก่ Polyacrylamide Acid (PAA), Hydrolyzed Polyacrylamide (HPAM) และ Polystyrene Sulfate (PSS) สารรวมตะกอน Polyacrylamide ประเภทประจุลบ มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่ม Amide ( $\text{NH}_2$ ) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของมอนอเมอร์ชนิดประจุลบ จนเป็น Acrylamide Polymer Nonionic polymer ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิด การรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติพอลิเมอร์ประเภทนี้อาจจะเกิดจากการรวมกันของสารอนินทรีย์

- พอลิเมอร์ (Inorganic Polymer) และสารอินทรีย์พอลิเมอร์ (Organic Polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของตะกอน โครงสร้างในรูปสารละลายของ สารอินทรีย์พอลิเมอร์เมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นสารละลาย ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืด ค่าความหนืด (Viscosity) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับของประจุไฟฟ้าที่การเจือจางมากๆ โมเลกุลจะยึดแขนออก เพราะว่าผลของการผลัดจึงทำให้เกิดการประชิดตามความยาวของสายพอลิเมอร์ ที่ความเข้มข้นปกติ สายโซ่ที่ยาวของ

พอลิเมอร์ประจุลบ สันนิษฐานว่ามีรูปร่างคล้ายไส้ไก่ (ม้วนเป็นวง) อย่างไรก็ตามเนื่องจากความยาวของสายโมเลกุลของพอลิเมอร์ค่อนข้างยาวดังนั้นจึงไม่สามารถบอกตัวเลขของสายพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ละลายน้ำซึ่งประมาณพอลิเมอร์ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/ลิตรจะมีสายพอลิเมอร์ ประมาณ 120 ล้านสายต่อน้ำ 1 ลิตร พอลิเมอร์ประจุบวก สามารถใช้เป็นสารสร้างตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ให้แก่บำบัดน้ำที่มีความขุ่นสูงและต่ำได้เมื่อใช้อัตราการกวนเร็วมากกว่า 400 รอบต่อนาที ทำให้ได้ตะกอนที่มี ปริมาตรต่ำจึงง่ายต่อการนำไปกำจัด นอกจากนี้ตะกอนที่เกิดขึ้นจะหนักและมีความหนาแน่น มากกว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้สารสร้างตะกอนที่เป็น สารอนินทรีย์จึงทำให้การตกตะกอน และการรวมตัวกันของตะกอนดีกว่าแต่ในการใช้พอลิเมอร์ในการกำจัดสีจะไม่ ได้ผลที่ดีพอและค่า ความเป็นด่าง ความกระด้าง ฟิเอช และอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการทำงานของพอลิเมอร์ การที่นำพอลิเมอร์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนหรือสารช่วยเร่งให้ตกตะกอนกันอย่างมาก เนื่องจากการใช้พอลิเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำได้ทำให้ได้ กลุ่มตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น (Dense Flocc) ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือเฟอริกคลอไรด์ ทำให้เกิดกลุ่มตะกอน ที่รวดเร็วมากกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน สะดวกในการใช้งาน ไม่มี ความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้ สามารถทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้ม หรือเกลือของเหล็กในการสร้างตะกอน ทำให้สารเคมีบางชนิด เช่น ซัลเฟต ตกค้างในน้ำในปริมาณ ที่น้อย

## 5. คอลลอยด์

เสถียรภาพของคอลลอยด์ มั่นสิน (2554) กล่าวว่าคอลลอยด์อาจมีเสถียรภาพหรือไม่ก็ได้ คอลลอยด์จะถือว่ามีเสถียรภาพเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนใน เวลาอันสั้นเมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวจากน้ำก็ถือว่าเสถียรภาพของคอลลอยด์ ถูกทำลายและไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไปด้วยเหตุนี้เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและ แรงผลักระหว่างอนุภาคแรงผลักจะต้องสูงกว่าแรงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพถ้าแรงดูด มากกว่าแรงผลักอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อน หรือ ฟล็อกได้ทำให้ คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ

- แรงดูระหว่างอนุภาคเรียกว่าแรงวันเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือ Zeta potential

- ผลลัพท์ระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงดูจะมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักร์ก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ โดยปกติแล้วแรงผลักร์ซึ่งเกิดจากซีต้าโพเทนเชียล ไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้กันจนเกิดการดูดเข้าหากัน การรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิวของคอลลอยด์ได้มีการอธิบายบทบาทของประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวของคอลลอยด์โดย DLVO theory

- (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek) ไว้ว่าความคงตัวของระบบคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ซึ่งสามารถเกิดพันธะต่อกันได้ พันธะที่เกี่ยวข้องนี้เป็นพันธะในกลุ่ม long-range force ซึ่งได้แก่ แรงดึงดูดวันเดอวาล (Van der waals attractions) และ แรงผลักระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ที่มีประจุเหมือนกัน (electrical repulsion) ผลรวมของแรงดูและแรงผลักร์ซึ่งแสดงเป็นศักย์ภาพทางไฟฟ้า (electrical potentials) ขึ้นอยู่กับระยะห่างของคอลลอยด์ เมื่ออนุภาคของคอลลอยด์อยู่ห่างกัน ถึงแม้ผลรวมของศักย์ภาพทางไฟฟ้าจะเป็นลบ คือแรงดูมากกว่าแรงผลักร์ อนุภาคคอลลอยด์จะไม่เกิดการเกาะกลุ่มเนื่องจากอนุภาคอยู่ไกลกันเกินกว่าจะเกิดพันธะในกลุ่มของ short-ranged force เช่น พันธะโควาเลนต์ เมื่ออนุภาคคอลลอยด์เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ผลรวมทางศักย์ภาพทางไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวก คือ แรงผลักร์มากกว่าแรงดึงดูด อนุภาคคอลลอยด์จะไม่เกิดการเกาะกลุ่มกันหรือรวมตัวกันทำให้ระบบคอลลอยด์รักษาความคงตัวไว้ได้ไม่เกิดการตกตะกอนหรือแยกชั้นเมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์ลงในระบบคอลลอยด์ประจุไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์จะเปลี่ยนศักย์ภาพทางไฟฟ้าของระบบคอลลอยด์ทั้งใน dispersed phase และ continuous phase ดังนั้นศักย์ภาพทางไฟฟ้าที่ระยะห่างระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์จะเปลี่ยนไปทำให้แรงผลักร์ลดลงที่ระยะห่างระหว่างคอลลอยด์สั้นๆ ผลรวมของศักย์ภาพทางไฟฟ้าจะมีค่าเป็นลบ คือ แรงดูมากกว่าแรงผลักร์ อนุภาคคอลลอยด์จึงเกิดการเกาะกลุ่ม และทำให้ระบบคอลลอยด์เสียความคงตัว

ก. อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ

1) อนุภาคคอลลอยด์ (colloid) เป็นอนุภาคขนาดเล็กอยู่ในช่วง  $10^{-9}$ - $10^{-6}$  ม. เช่น ขนาดตะกอนดินโคลน (clay)  $< 10^{-6}$  ม. (เปรียบเทียบกับขนาดเส้นผมมนุษย์  $\sim 50 \times 10^{-6}$  ม.)

2) อนุภาคคอลลอยด์สร้างปัญหาในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมันมีขนาดเล็กมาก จนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในเวลาจำกัด ถ้าตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเอง ต้องใช้เวลา ~10 วัน ฉะนั้น ถ้าทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการจับกลุ่มรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จะสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้นและง่ายขึ้น แต่เนื่องจากโดยธรรมชาติของคอลลอยด์ (ดิน โคลน) จะมีประจุลบที่ผิว ทำให้แต่ละอนุภาคมีแรงผลักรันเนื่องจากผลประจุไฟฟ้ามากกว่าแรงดึงดูด (van der Waals force) ซึ่งเป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน จึงทำให้อนุภาคไม่สามารถรวมตัวกันได้ อนุภาคคอลลอยด์จึงแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่รวมตัวกัน เรียกว่าสถานะนี้ว่า “เสถียรภาพ (Stabilization)”

## 6. การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันจำเป็นต้องรู้ชนิดและปริมาณสารที่เหมาะสม ตลอดจนสถานะต่างๆ ที่เอื้ออำนวยต่อการโคแอกกูเลชัน ซึ่งได้แก่ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็ว แกรเดียนท์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ ความกัวหน้าของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโคแอกกูเลชันยังไม่สามารถจะใช้กำหนดและควบคุมตัวแปรต่างๆดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีผู้พยายามพัฒนาวิธีควบคุมโคแอกกูเลชันนอกเหนือจากการทดลองจาร์เทสต์ได้แก่วิธีการควบคุมโดยศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) การควบคุมโดยวิเคราะห์หาสารโคแอกกูแลนท์ที่เหลือ (Residual Coagulant Analysis) และการควบคุมโดยการหาความสามารถในการกรอง (Filterability) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทดลองจาร์เทสต์และการหาความสามารถในการกรอง (มันสิน, 2537)

## 7. การทดลองจาร์เทสต์

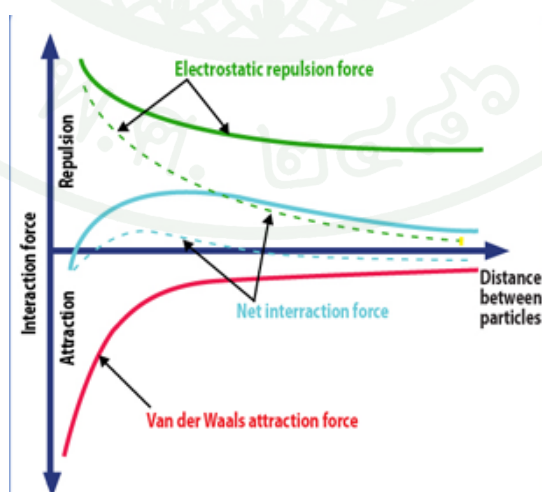
จาร์เทสต์เป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม และปัจจุบันยังใช้อย่างกว้างขวาง จาร์เทสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย โดยทำการทดลองในบีกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนท์และกำหนดสถานะต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาการกวนน้ำ และระยะเวลาในการตกตะกอนไว้ค่าหนึ่งจึงทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนเป็นปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ ส่วนระดับพีเอชอาจแปรเปลี่ยนหรือคงที่ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์จากนั้นก็จะได้ค่าประมาณชนิดของสารโคแอกกูแลนท์และระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูเลชันในการทดลองควรทำหลายๆครั้งเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

## 8. การวัดความเป็นต่าง (อัลคาไลนิตี้)

การวัดความสามารถของสารละลายในการเปลี่ยนสภาพกรดให้เข้าสู่จุดสะเทินของคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนต สภาพต่างเท่ากับผลรวมของปริมาณสัมพันธ์ของเบสในสารละลายนั้น ในสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ สภาพต่างคาร์บอเนตมีผลกระทบต่อสภาพต่างรวมมากที่สุดเนื่องจากการพบได้ทั่วไปและการสลายตัวของหินคาร์บอเนตและการมีอยู่ของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ สามารถวิเคราะห์ได้จากการไตเตรทตัวอย่างสารละลายกับกรดเข้มข้นจนกระทั่งไอออนข้างต้นมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ทั้งหมดเหนือค่า พีเอช ของไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตที่ใช้ไป

## 9. เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า Zeta Rod System

หลักการทํางาน ตัวเก็บประจุตามการกระจายคอลลอยด์ อุปกรณ์ตัวเก็บประจุทรงกระบอกนี้จะถูกใส่เข้าไปโดยใส่จำนวนไฟฟ้าและปิดผนึกเข้าไปในท่อโลหะหรือผนังบริเวณที่ต้องการติดตั้ง โดยระบบทำหน้าที่กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวของประจุบนผิวอนุภาคให้สูงกว่าสภาพปกติและผลจะแสดงออกมาที่อนุภาคคอลลอยด์และพื้นผิวของผนังภาชนะ โดย Zeta rod จะทำหน้าที่ชาร์จประจุบวกเพิ่มเข้าไปรอบๆผิวของคอลลอยด์อย่างหนาแน่นเป็นผลทำให้มีแรงผลักสูงขึ้นระหว่างกัน จึงเป็นทำให้อนุภาคต่างก็ไม่สามารถดูหรือจับตัวรวมกันได้



ภาพที่ 7 การทํางานของเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

## ภาพที่ 7 (ต่อ)

ที่มา: ZETA CORPORATION (2006)

ผลรวมของแรงกระทำ (Net Interaction force) ระหว่างสสาร ในสภาวะความเข้มข้นเกลือสูง (เส้นประ) และความเข้มข้นเกลือต่ำ (เส้นทึบ) Zeta rod คือ แท่งอิเล็กโทรดที่ใช้ในการสร้างและชาร์ตประจุไฟฟ้าบวกลงในน้ำหรือของเหลวที่อยู่รอบๆตัว ใช้พลังงานกระแสสลับ AC เป็นกระแสตรง DC ที่ 35,000 volts DC และให้ค่าความต่างศักย์แก่ อิเล็กโทรด 30-35 kV

ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

Electrode เป็นตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการสร้างประจุไฟฟ้าบวก

- ทนทานต่อการขัดถูที่ความแข็งระดับ 9.0 Mohs hardness

- สามารถทนสภาพกรด, สภาพด่าง และตัวทำละลายได้

- โครงสร้างไม่มีการเชื่อมต่อ รอยต่อบนตัวอิเล็กโทรด

- สามารถปฏิบัติการได้ต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 204°C(400°F) และความดันถึง 500psi

- ทำจากวัสดุที่มีความสามารถในการไม่นำไฟฟ้าสูงในการทดสอบผ่านไม่เกิดสัทธิภาพ

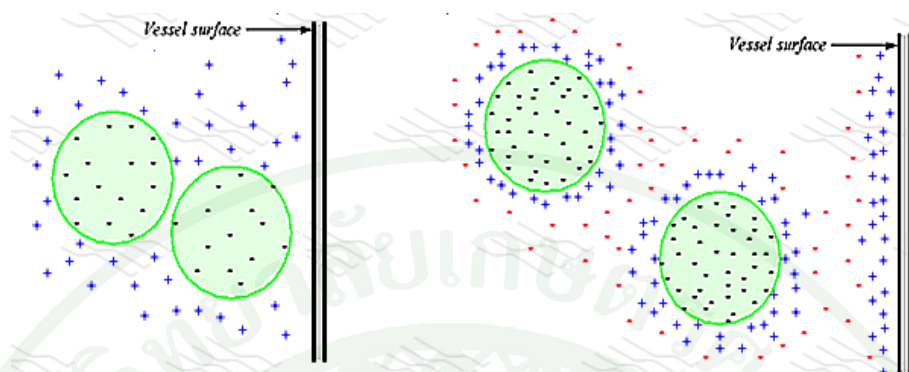
แรงดันไฟฟ้าอย่างน้อย 40kV DC

- Adapter สร้างจาก สเตนเลส 316 ที่ซึ่งติดเกาะกับตัวอิเล็กโทรดด้วยกาว epoxy สร้าง DC output ไม่น้อยกว่า 35 kV

- ปฏิบัติการ โดยใช้ voltage เข้า อยู่ในช่วง 90 ถึง 240 VAC

- มีฟิวส์เพื่อป้องกันการหมุนเวียนไฟฟ้าเกินอัตรา

- ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 120 วัตต์ต่อชั่วโมง



ภาพที่ 8 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ยี่ห้อ Zeta rod

ที่มา: ZETA CORPORATION (2006)

## 10. การทบทวนวรรณกรรม หรือผลงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

Holt et al. (2006) การใช้ประจุไฟฟ้ามาช่วยในการทดลองของการตกตะกอนเป็นประสิทธิภาพและทางเลือกที่เป็นนวัตกรรมใหม่ในการที่ประจุขั้วบวกน้ำปริมาณนี้มีประโยชน์ที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการใช้ตกตะกอนของของแข็งโดยไม่ต้องเพิ่มความเค็มของน้ำ

สมพงษ์ (2551) กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และของแข็งแขวนลอยด้วยการเติมสารเคมี (โคแอกกูแลนต์) ที่ให้ออนที่มีประจุตรงข้าม เช่น สารส้มหรือเฟอริกคลอไรด์ ซึ่งทำให้ประจุของคอลลอยด์เป็นกลางและเกิดการรวมตัวกัน แต่ใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของอออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (anode) และคอลลอยด์ยังถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของอออนโลหะในน้ำ

ศิริประภา (2546) การศึกษาการกำจัดสาหร่ายโดยการตกตะกอนทางเคมี ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองย่อย โดยในส่วนของการตกตะกอนเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นน้ำดิบที่ไม่มีสาหร่าย ซึ่งพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด นั้นมีค่าต่างกันไป โดยต้องใช้ alum 50 mg/L FeCl<sub>3</sub> 30

mg/L PACI 40 mg/L และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณสารสร้างตะกอนทั้งสามชนิดที่ให้ผลดีที่สุดในการตกตะกอนนั้น  $\text{FeCl}_3$  มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสูงสุด ส่วน PACI และ alum มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ

กฤษดา (2553) การทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนในแม่น้ำแม่กลอง สามชนิดได้แก่ alum PACI และ  $\text{FeCl}_3$  การบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์ในน้ำ พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของสารทั้ง 3 ชนิดได้แก่ 40.0 40.0 และ 80 mg/L ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิดทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์สูงขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นสูงกว่าสารอินทรีย์ โดยจากการทดลองต้องใช้ปริมาณ  $\text{FeCl}_3$  มากกว่า Alum และ PACI ในการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์

Kim et al. (1978) การศึกษาแสดงให้เห็นความจริงที่ว่าประจุบวก เป็นสิ่งสำคัญในการ flocculation กลไกและมีปฏิสัมพันธ์กับ polyelectrolyte ในลักษณะเฉพาะประจุบวกที่แลกเปลี่ยนการดูดซับของ flocculant ศักยภาพ Zeta จากตะกอนแสดงถึงความสำคัญของการมีปฏิสัมพันธ์-cation polyelectrolyte *Laboratoire*

Adin and Rebhun (1974) ศึกษาพบว่าการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน เพียงสารเดียวในระบบกรองสามขั้นทำให้ได้ประสิทธิภาพ ควรมีอัตราการกรองอยู่ในช่วง 5-10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และพบว่าการใช้โพลีเล็กโทรไลต์ประจุบวกเป็นสารสร้างตะกอนนั้นสามารถกรองในอัตราการกรองที่สูงได้ถึง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

Shea et al. (1971) การใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนในระบบกรองสามขั้นจะทำให้ได้สลัดจ์ (sludge) เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการตกตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบกับ การใช้โพลีเล็กโทรไลต์เป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งพบว่า จะใช้สาร โพลีเล็กโทรไลต์ในปริมาณที่น้อยกว่าและสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจะมาจากของแข็งแขวนลอย ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเดิมนั่นเอง

Yan (2007) ผลิตกัณฑ์อลูมิเนียมมีประสิทธิภาพมากในกำจัดความขุ่น นี่คือผลที่ได้รับการยืนยัน โดยการทดสอบระดับ pilot-scale โดยอนุภาคและอินทรีย์วัตถุมีการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพขึ้นในการที่ใช้สารชนิดนี้ร่วมกัน

Zhao et al. (2012) การใช้น้ำสังเคราะห์จากดินคาโอติน สามารถนำไปใช้ได้กับการทดลองของกระบวนการสร้างและตกตะกอน โดยมีสารสร้างตะกอนที่ใช้คือ อลูมิเนียมซัลเฟต เฟอริกคลอไรด์ และไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ โดยประสิทธิภาพของการตกตะกอน ดูจากปริมาณของความขุ่นที่ลดลงของ

Rossini et al. (1998) พบว่าการกวนผสมมีความสำคัญในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยมีการใช้สารสร้างตะกอน อลูมิเนียมซัลเฟต หรือ เฟอริกคลอไรด์ ซึ่งเป็นการใช้ระยะเวลากวนผสมในระยะเวลาเพียงสั้นๆ เท่านั้น มีผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดการสัมผัสกันของอนุภาคของคอลลอยด์

Zheng et al. (2012) กระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยการทดลองจาร์เทส สามารถยืนยันได้ว่าทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างต่อเนื่องในการสร้างตะกอนของสารส้ม ทำให้ผิวหน้าของตะกอนเกิดการรวมตัวกันและลดลงของความหนาแน่นของชั้นผิวหน้า ของตะกอนในน้ำอย่างต่อเนื่อง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ยี่ห้อ Zeta Rod
2. อุปกรณ์ทดสอบการรวมตะกอน (Jar test) พร้อมภาชนะ
3. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ Hanna instrument
4. เครื่องวัดความขุ่น ยี่ห้อ Scientific,inc.
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด ยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT
6. เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
7. เครื่องปั้มน้ำ
8. สารอลูมิเนียมซัลเฟต(สารส้ม) เฟอริกคลอไรด์ และ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์
9. ดินเหนียว (ดินขาว)

### วิธีการ

#### 1. วิธีการเตรียมน้ำสังเคราะห์

เตรียมน้ำตัวอย่างน้ำดิบโดยใช้ดินเหนียว (ดินขาว) ผสมกับน้ำประปา โดยควบคุมความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบที่  $110 \pm 10$  NTU ค่าความเป็นด่างที่  $120 \pm 20$  มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  และพีเอชที่  $9 \pm 0.5$

## 2. วิธีการสร้างและรวมตะกอน

2.1 ทดลองกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยชุดอุปกรณ์จาร์เทสต์ โดยใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม)  $Al_2(SO_4)_3 \cdot x H_2O$ , เฟอริกคลอไรด์  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  และพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์  $Al_n(OH)_m Cl_{(3n-m)}$

2.2 ในสภาวะการทดลองครั้งนี้ กวนเร็วด้วยอัตราหมุนใบกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าด้วยอัตราหมุนใบกวน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำใสเหนือตะกอนไปวิเคราะห์พารามิเตอร์

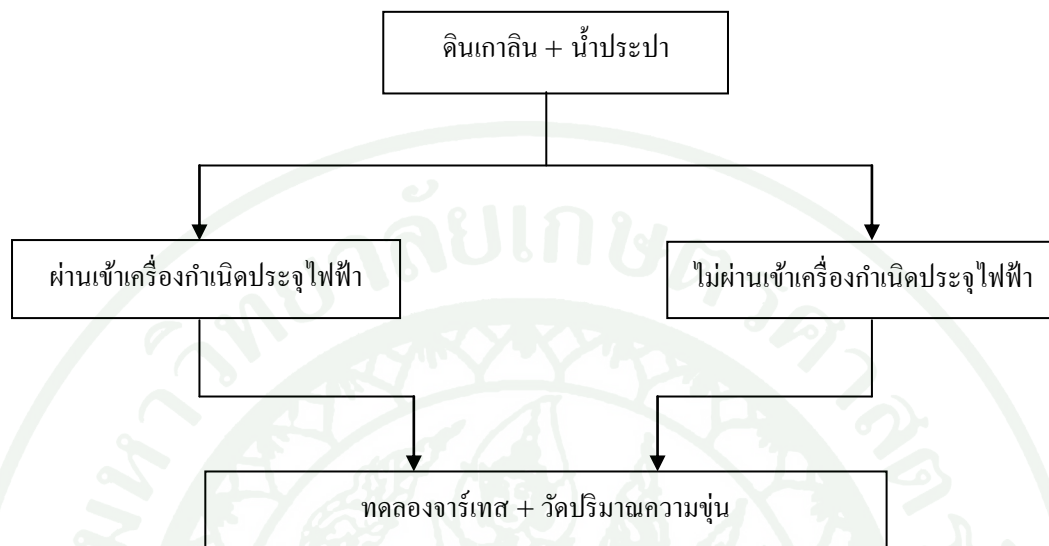
2.3. ใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ยี่ห้อ Zeta Rod รุ่น ZR-R30 เพื่อเติมประจุไฟฟ้าบวกลงในน้ำดิบและสารสร้างตะกอน เป็นเวลานาน 5 นาที ก่อนนำน้ำดิบและสารสร้างตะกอนไปทำการตกตะกอนด้วยชุดอุปกรณ์จาร์เทสต์

2.4. ตรวจสอบค่าพีเอชและความขุ่น ก่อนและหลังผลการทดลอง นำน้ำก่อนและหลังการตกตะกอนไปวัดค่าความเป็นด่าง โดยการใส่สารอินดิเคเตอร์ เป็นเมทิลออเรนจ์ และไตเตรทด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ )



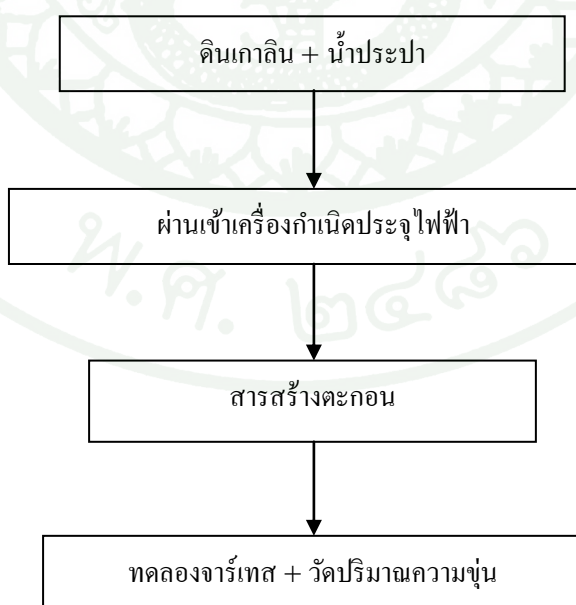
ภาพที่ 9 เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ายี่ห้อ Zeta rod รุ่น ZR-R30

### วิธีการทดลองแบบที่ 1



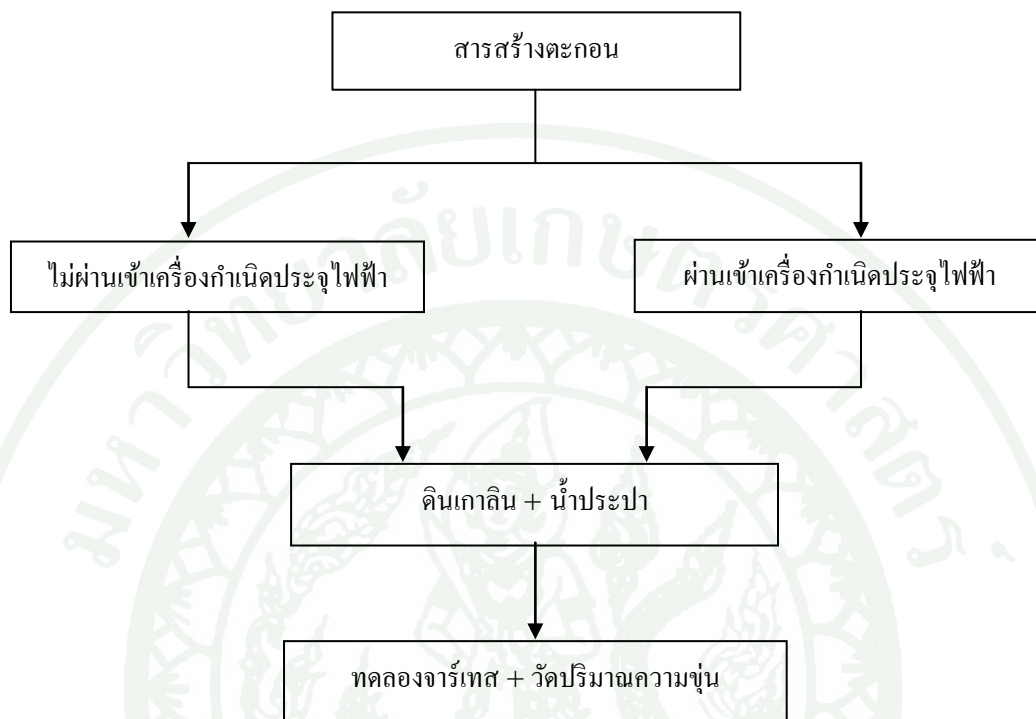
ภาพที่ 10 วิธีการทดลองแบบที่ 1

### วิธีการทดลองแบบที่ 2



ภาพที่ 11 วิธีการทดลองแบบที่ 2

### วิธีการทดลองแบบที่ 3

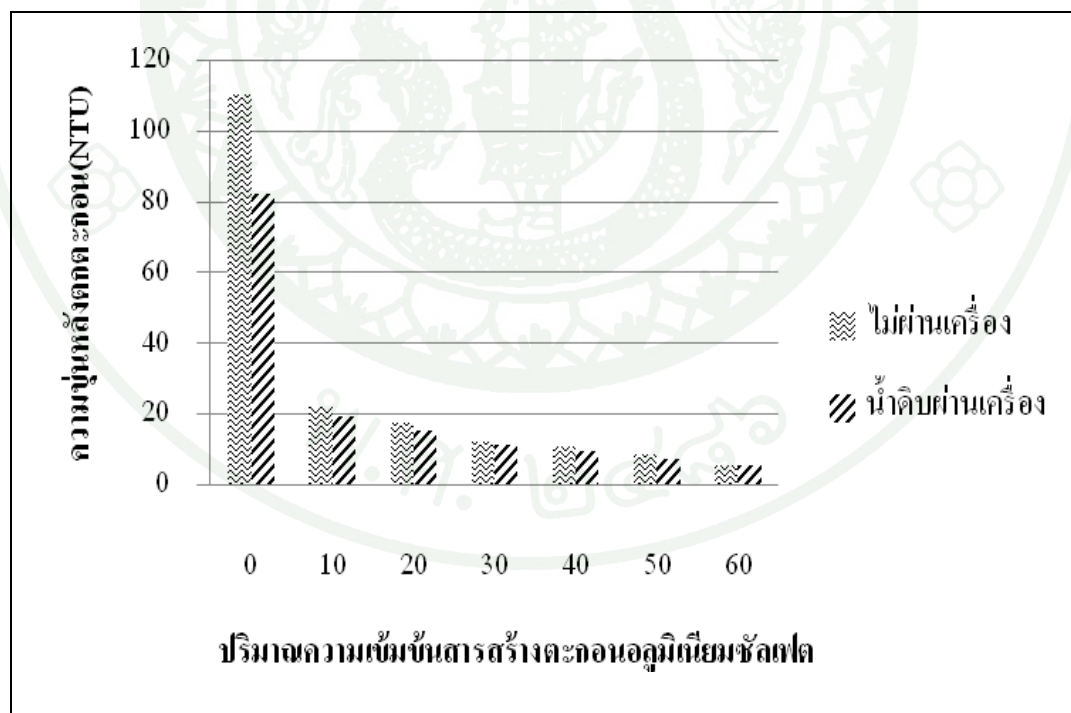


ภาพที่ 12 วิธีการทดลองแบบที่ 3

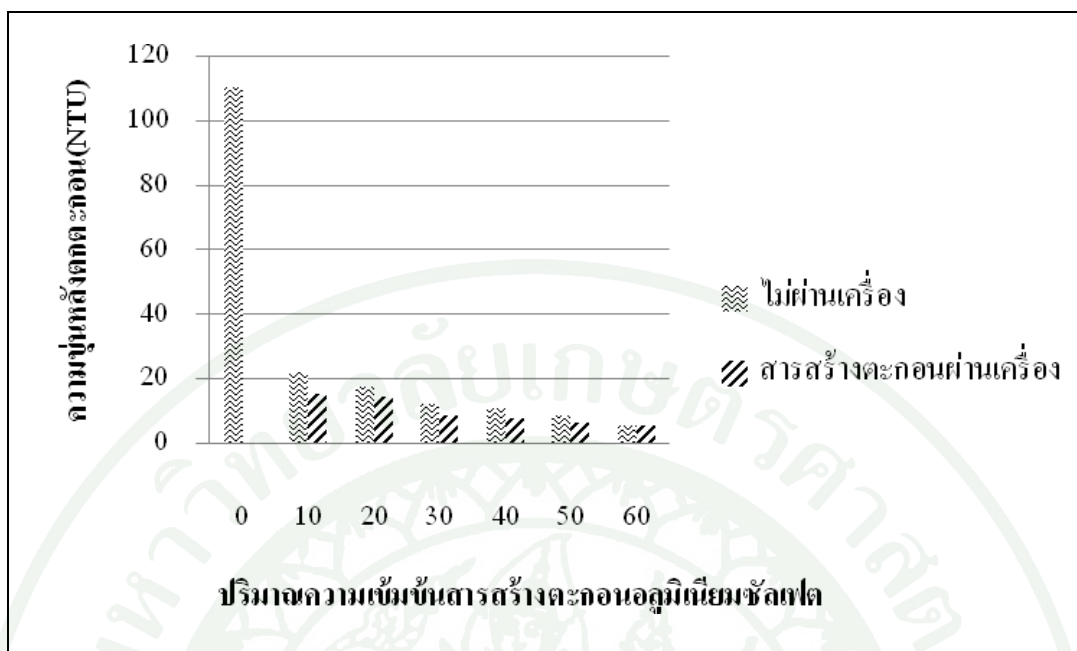
## ผลและวิจารณ์

ตารางที่ 1 แสดงผลความขุ่นของสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่องกำเนิด ประจุไฟฟ้า (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิด ประจุไฟฟ้า(NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง(NTU)
ความเข้มข้น 0 (mg/L)	110.0	82.0	-
ความเข้มข้น 10 (mg/L)	22.0	19.5	15.4
ความเข้มข้น 20 (mg/L)	17.6	15.2	14.3
ความเข้มข้น 30 (mg/L)	12.1	11.5	8.8
ความเข้มข้น 40 (mg/L)	11.0	9.4	7.7
ความเข้มข้น 50 (mg/L)	8.8	7.2	6.6
ความเข้มข้น 60 (mg/L)	5.5	5.4	5.5



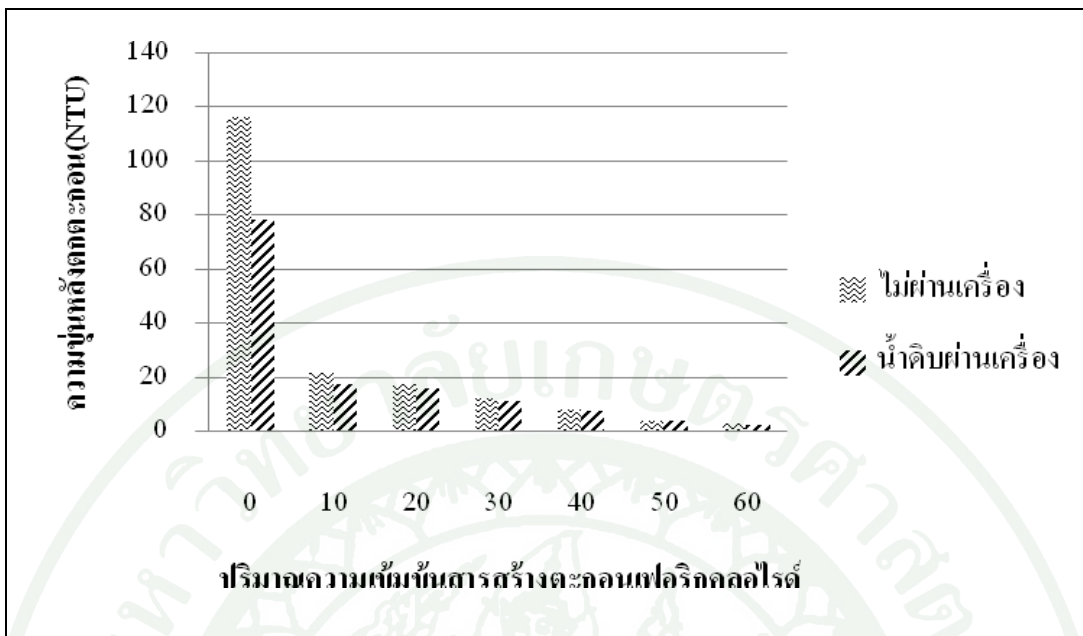
ภาพที่ 13 แสดงปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต



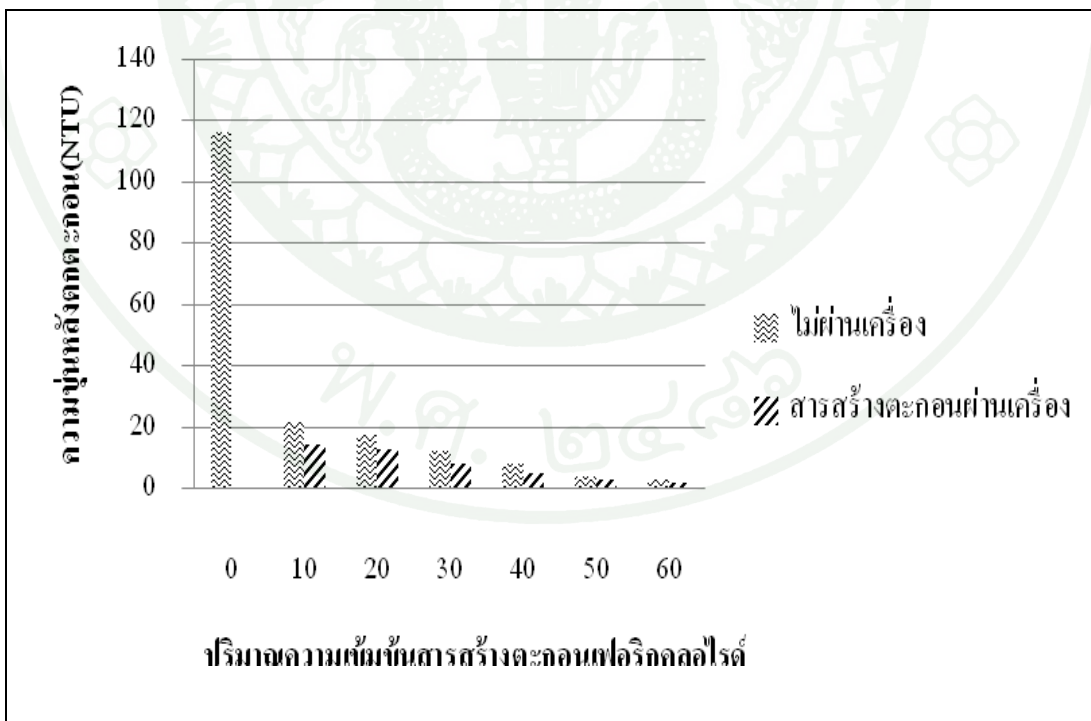
ภาพที่ 14 แสดงปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ตารางที่ 2 แสดงผลความขุ่นของสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า(NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า(NTU)	สารสร้างตะกอนผ่านเครื่อง(NTU)
ความเข้มข้น 0 (mg/L)	116.0	78.0	-
ความเข้มข้น 10 (mg/L)	21.5	17.3	14.5
ความเข้มข้น 20 (mg/L)	17.6	15.9	13.0
ความเข้มข้น 30 (mg/L)	12.2	11.1	8.3
ความเข้มข้น 40 (mg/L)	8.0	7.6	4.8
ความเข้มข้น 50 (mg/L)	4.2	3.8	3.1
ความเข้มข้น 60 (mg/L)	2.7	2.4	2.1



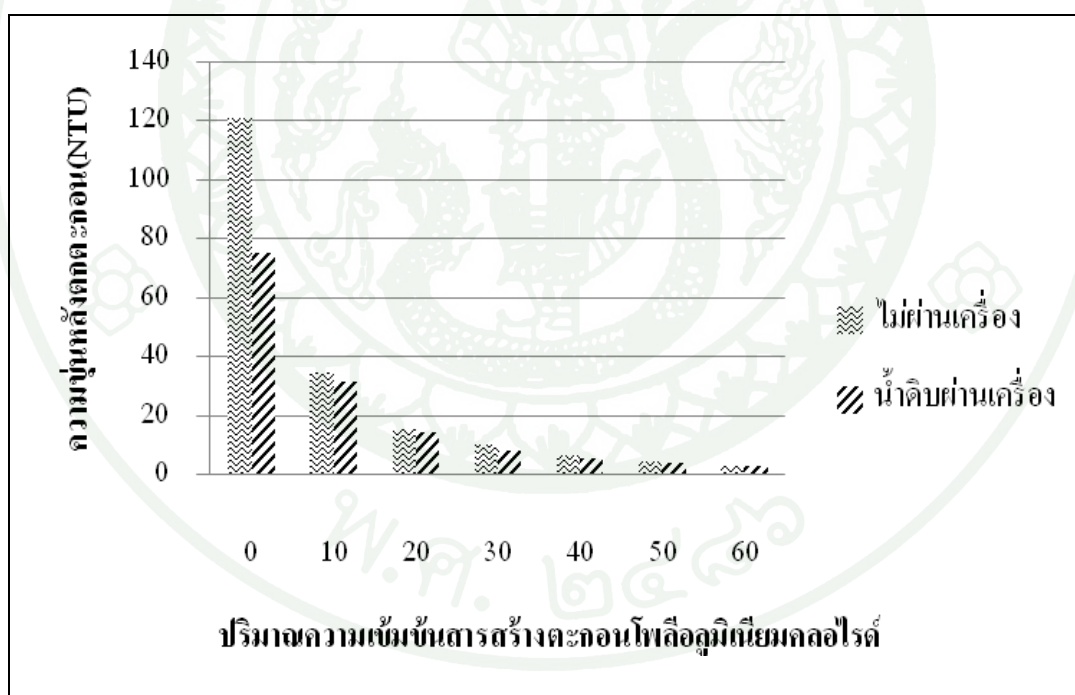
ภาพที่ 15 แสดงปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์



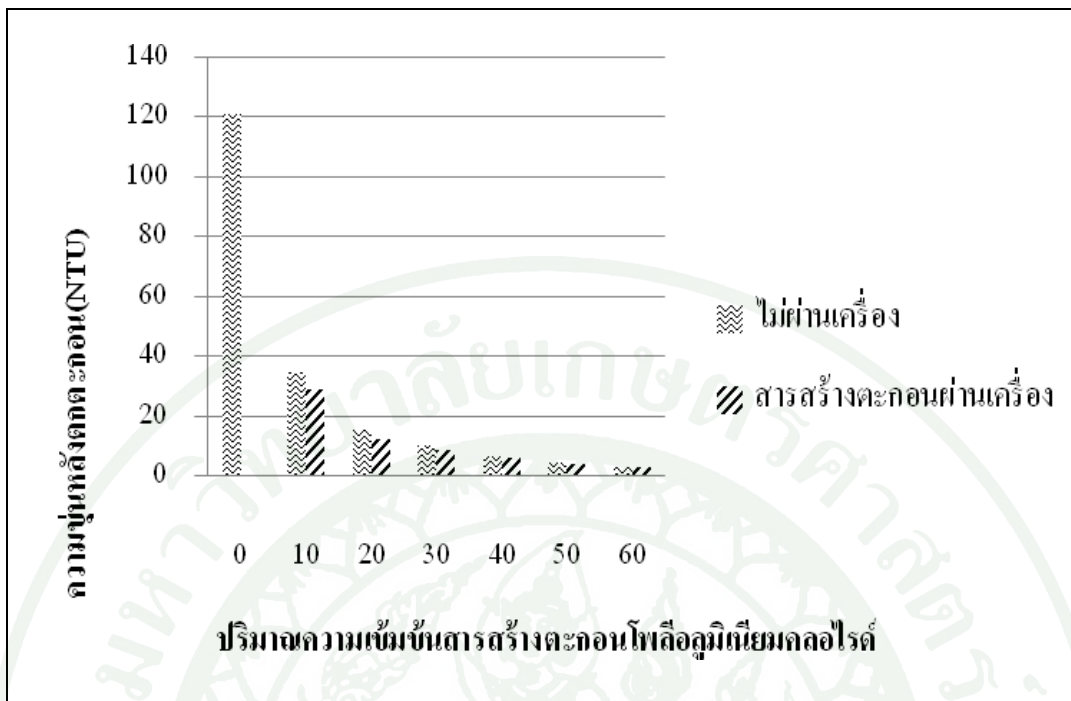
ภาพที่ 16 แสดงปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์

ตารางที่ 3 แสดงผลความขุ่นของสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมซัลเฟต

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่องกำเนิด ประจุไฟฟ้า(NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิด ประจุไฟฟ้า(NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง(NTU)
ความเข้มข้น 0 (mg/L)	121.0	75.0	
ความเข้มข้น 10 (mg/L)	34.7	31.4	28.8
ความเข้มข้น 20 (mg/L)	15.1	14.3	12.3
ความเข้มข้น 30 (mg/L)	10.3	8.19	8.5
ความเข้มข้น 40 (mg/L)	6.6	5.6	5.9
ความเข้มข้น 50 (mg/L)	4.7	4.2	4.0
ความเข้มข้น 60 (mg/L)	3.0	2.7	2.8



ภาพที่ 17 แสดงปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมซัลเฟต



ภาพที่ 18 แสดงปริมาณความขุ่นลดลงเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนสเซนส์

จากภาพที่ 13 ภาพที่ 15 ภาพที่ 17 ผลการทดลอง พบว่า ค่าความขุ่นของน้ำดิบจากการสังเคราะห์ลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนที่เพิ่มขึ้น

ผลจากการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า พบว่า การผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบจากการสังเคราะห์ มีความขุ่นหลังการตกตะกอนมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

จากภาพที่ 14 ภาพที่ 16 ภาพที่ 18 ผลการทดลองจากการผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอน ค่าความขุ่นหลังตกตะกอนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารสร้างตะกอนที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

ปริมาณพีเอชเริ่มต้นก่อนการตกตะกอนมีปริมาณ  $7 \pm 0.5$  และพีเอชหลังการตกตะกอนมีปริมาณ  $9 \pm 0.5$

ซึ่งค่าความที่เหมาะสม (optimum dose) ของปริมาณความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ ดังนี้คือ สารสร้างตะกอนลูมิเนียมซัลเฟตมีความเหมาะสมที่ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์ค่าความเหมาะสมอยู่ในช่วง 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารสร้างตะกอนโพลิออลูมิเนียมซัลเฟตมีความเหมาะสมที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเหมาะสมของสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุ โดยปริมาณความขุ่นหลังตกตะกอน พบว่าสารสร้างตะกอนทั้งสามชนิดที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ามีค่าความเหมาะสมที่อยู่ในช่วง 20-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณที่ลดลงของความขุ่นหลังตกตะกอน เกิดจากการเพิ่มประสิทธิภาพของประจุบวกเข้าไปมากขึ้นและการมีหลากหลายกลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ของเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า ซึ่งการที่คอลลอยด์ถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนืองของอออนโลหะในน้ำ

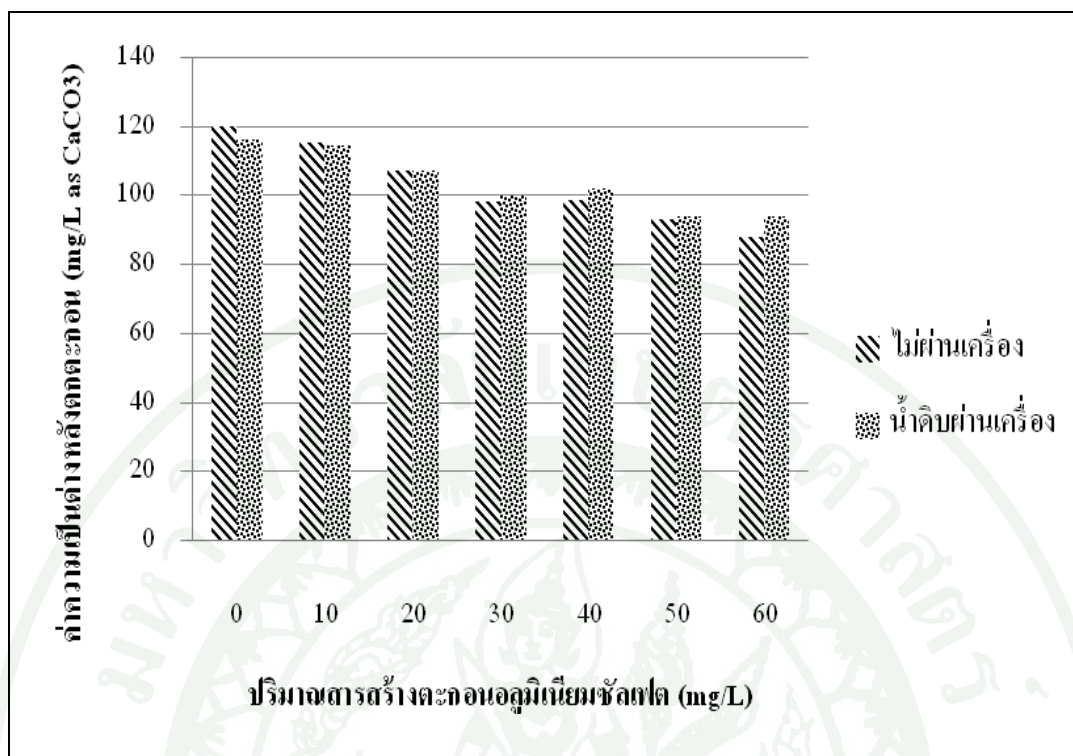
การศึกษาแสดงให้เห็นความจริงที่ว่าประจุบวก เป็นสิ่งสำคัญในการฟล็อกกูเลชันกลไก และมีปฏิสัมพันธ์กับโพลิอิเล็กโตรไลต์ และมีกลไกคอลลอยด์ที่สามารถเปลี่ยนประจุของอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงข้ามกับของเดิม (Charge Reversal) จากการที่ใช้สารสร้างตะกอนที่มากเกินไป ซึ่งเป็นการแสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างอออนต่างประจุกับอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถ

เอาชนะแรงผลักดันระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้ ส่งผลต่อการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการใช้ในปริมาณที่น้อยลง

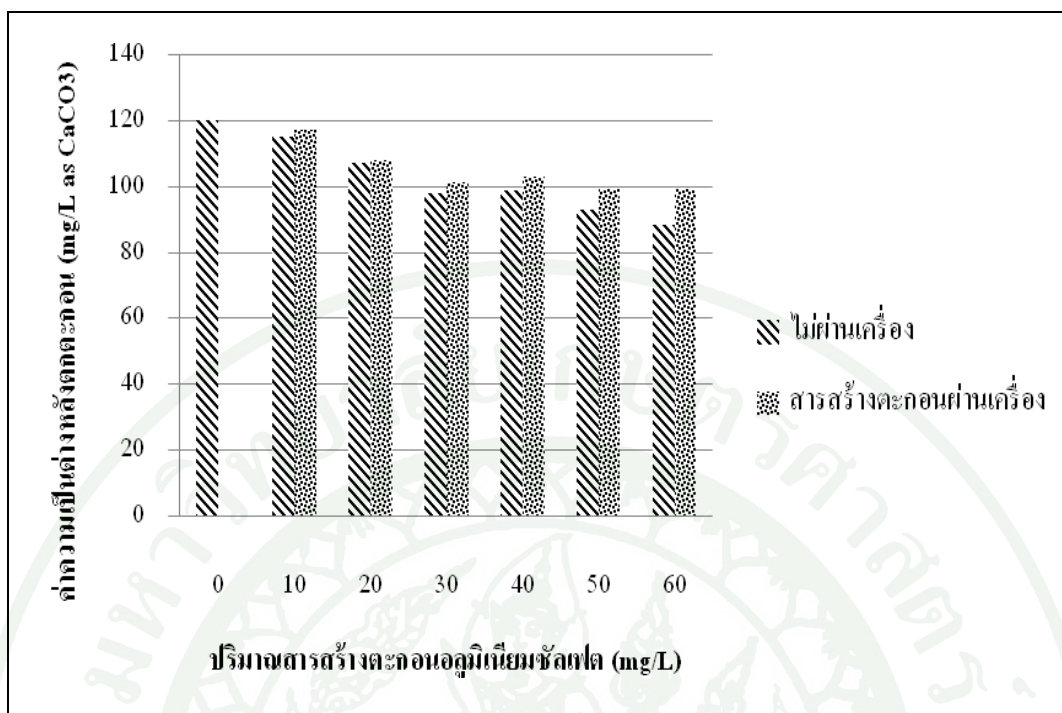
ผลการทดลองจากการทดลองหาค่าความเป็นด่าง

ตารางที่ 5 แสดงผลค่าความเป็นด่างของสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่อง (mg/Las CaCO <sub>3</sub> )	น้ำดิบผ่านเครื่อง (mg/Las CaCO <sub>3</sub> )	สารสร้างตะกอนผ่าน เครื่อง(mg/Las CaCO <sub>3</sub> )
ความเข้มข้น 0 (mg/L)	120.0	116.0	
ความเข้มข้น 10 (mg/L)	115.0	114.2	117.0
ความเข้มข้น 20(mg/L)	107.0	107.0	108.0
ความเข้มข้น 30 (mg/L)	98.0	99.7	101.0
ความเข้มข้น 40 (mg/L)	98.5	102.0	103.0
ความเข้มข้น 50 (mg/L)	93.0	94.0	99.0
ความเข้มข้น 60 (mg/L)	88.0	94.0	99.0



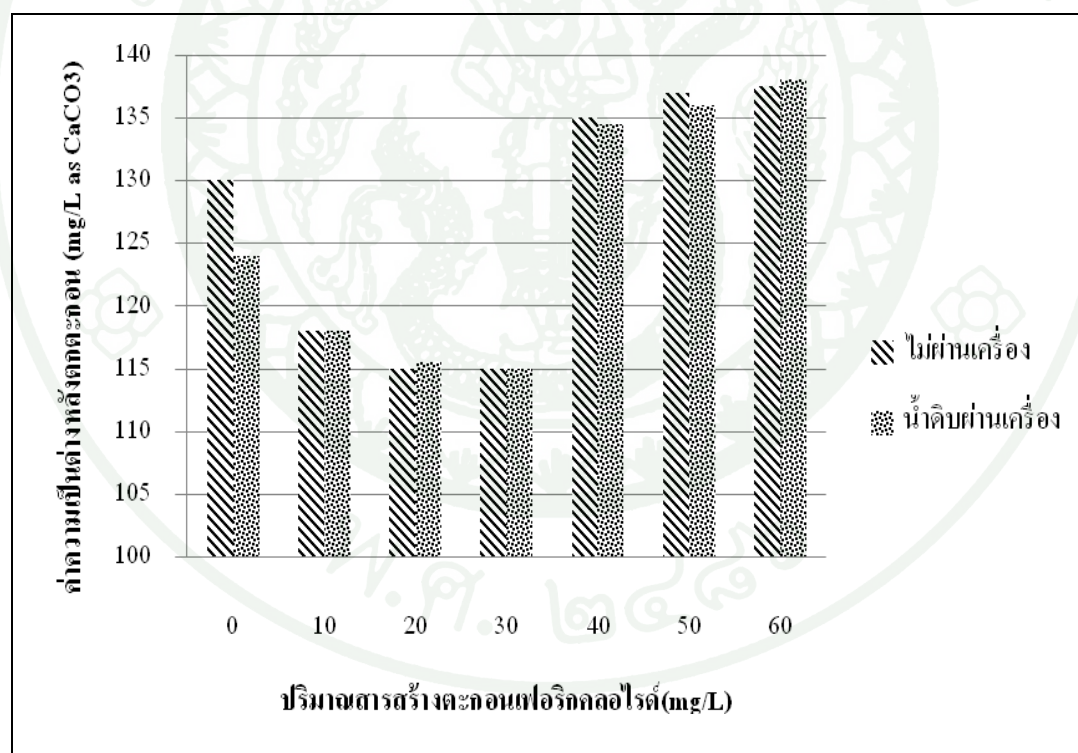
ภาพที่ 19 ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต



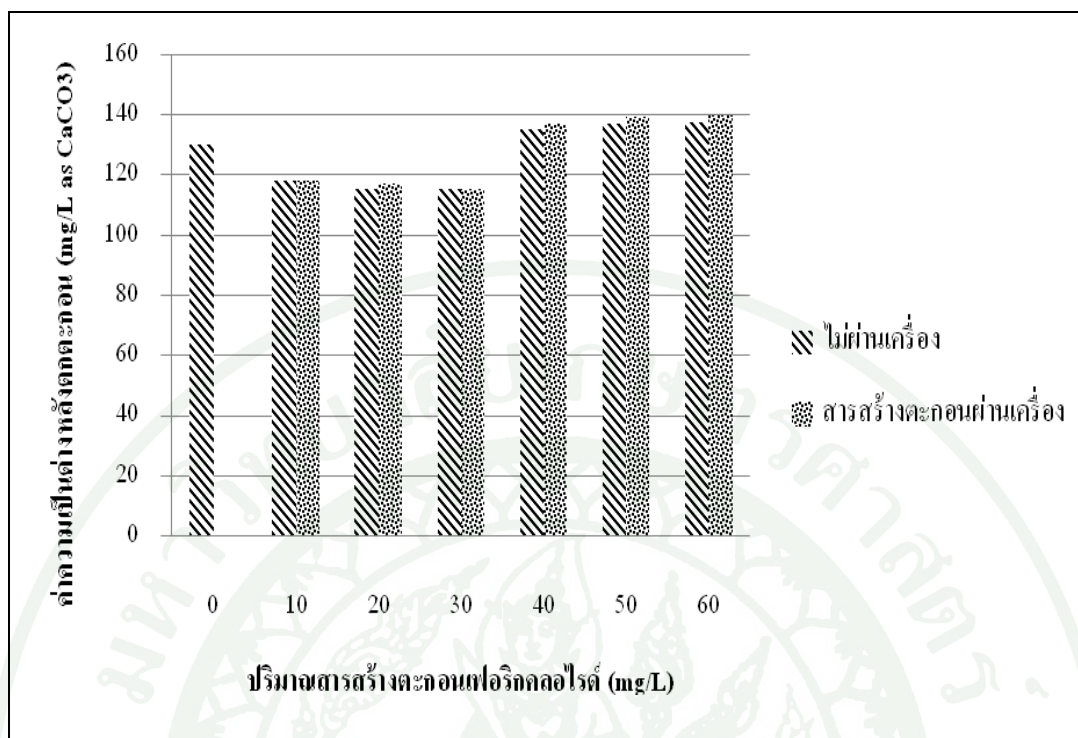
ภาพที่ 20 ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ตารางที่ 6 แสดงผลค่าความเป็นต่างของสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่อง (mg/Las CaCO <sub>3</sub> )	น้ำดิบผ่านเครื่อง (mg/Las CaCO <sub>3</sub> )	สารสร้างตะกอนผ่าน เครื่อง(mg/Las CaCO <sub>3</sub> )
ความเข้มข้น 0(mg/L)	130.0	124.0	
ความเข้มข้น 10(mg/L)	118.0	118.0	118.0
ความเข้มข้น 20 (mg/L)	115.0	115.5	117.0
ความเข้มข้น 30 (mg/L)	115.0	115.0	115.0
ความเข้มข้น40 (mg/L)	135.0	134.5	137.0
ความเข้มข้น 50 (mg/L)	137.0	136.0	139.0
ความเข้มข้น 60 (mg/L)	137.5	138.0	139.5



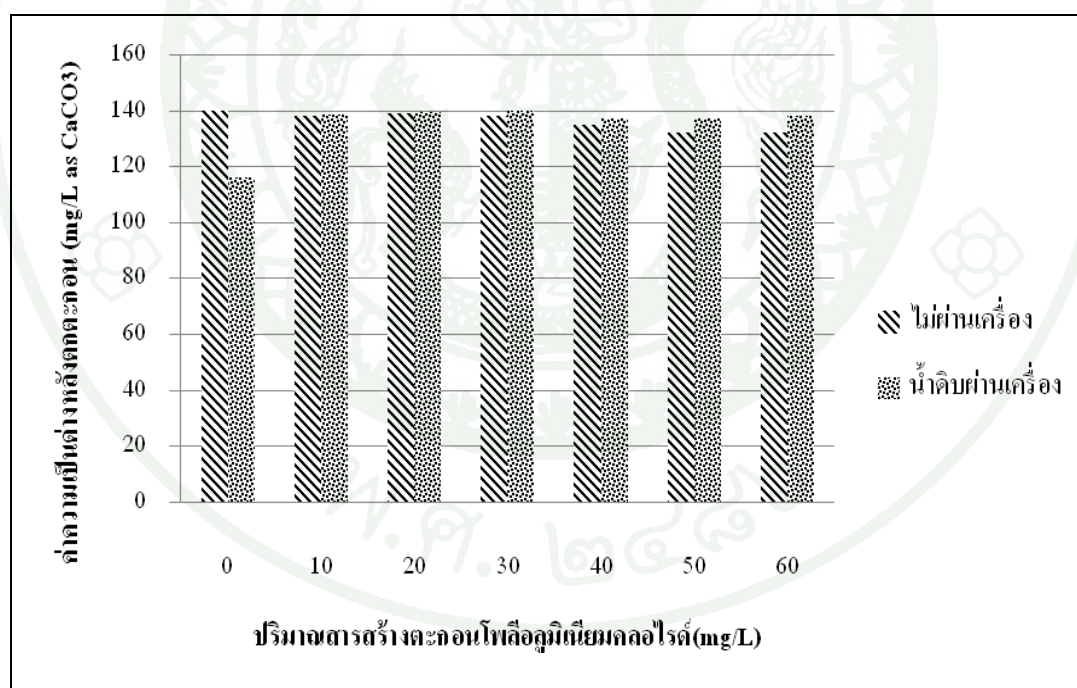
ภาพที่ 21 ปริมาณความเป็นต่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์



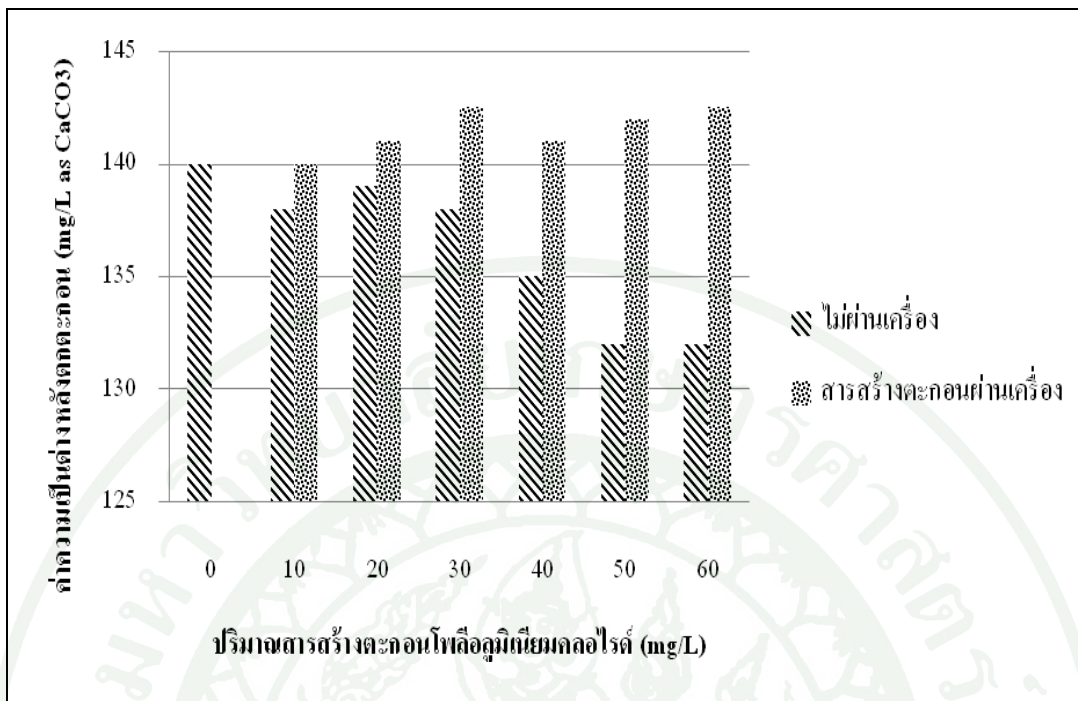
ภาพที่ 22 ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์

ตารางที่ 7 แสดงผลค่าความเป็นด่างของสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่อง (mg/Las CaCO <sub>3</sub> )	น้ำดิบผ่านเครื่อง (mg/Las CaCO <sub>3</sub> )	สารสร้างตะกอนผ่าน เครื่อง(mg/Las CaCO <sub>3</sub> )
ความเข้มข้น 0(mg/L)	140.0	116.0	
ความเข้มข้น 10(mg/L)	138.0	138.5	140.0
ความเข้มข้น 20(mg/L)	139.0	139.5	141.0
ความเข้มข้น 30(mg/L)	138.0	140	142.5
ความเข้มข้น 40 (mg/L)	135.0	137.0	141.0
ความเข้มข้น 50 (mg/L)	132.0	137.0	142.0
ความเข้มข้น 60 (mg/L)	132.0	138.0	142.5



ภาพที่ 23 ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับน้ำดิบที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพลีลูมิเนียมคลอไรด์



ภาพที่ 24 ปริมาณความเป็นด่างเมื่อไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้ากับสารสร้างตะกอนที่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าจากการทดลองกับสารสร้างตะกอนโพสิโวลูมิเนียมคลอไรด์

จากภาพที่ 19 และภาพที่ 20 จากผลการทดลอง สภาพความเป็นด่างเริ่มต้นมีค่า  $120 \pm 20$  มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ  $\text{mg/L as CaCO}_3$  พบว่า การนำน้ำที่ผ่านการทดลอง หลังการทำจาร์ เทสพบว่า ค่าความเป็นด่าง ของสารอลูมิเนียมซัลเฟต โดยการไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $88-115 \text{ mg/L as CaCO}_3$  การทดลองโดยผ่านน้ำดิบจากการสังเคราะห์ผสมกับสารสร้างตะกอนอยู่ในช่วง  $116-124 \text{ mg/L as CaCO}_3$  และเมื่อสารสร้างตะกอนผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $99-117 \text{ mg/L as CaCO}_3$

จากภาพที่ 21 และ 22 ค่าความเป็นด่าง ของสารเพอริกคลอไรด์โดยการไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $118-137.5 \text{ mg/L as CaCO}_3$  การทดลองโดนผ่านน้ำดิบจากการสังเคราะห์ผสมกับสารสร้างตะกอนอยู่  $116-138 \text{ mg/L as CaCO}_3$  และค่าความเป็นด่างของสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $118-139.5 \text{ mg/L as CaCO}_3$

จากภาพที่ 23 และ ภาพที่ 24 สาร โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์โดยการไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $132-139 \text{ mg/L as CaCO}_3$  การทดลองโดนผ่านน้ำดิบจากการสังเคราะห์ผสมกับสารสร้างตะกอนอยู่ในช่วง  $116-138 \text{ mg/L as CaCO}_3$  เมื่อสารสร้างตะกอนผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $140-143 \text{ mg/L as CaCO}_3$

ค่าพีเอชก่อนการทดลองมีปริมาณ  $9 \pm 0.5$  หลังการทดลองมีค่า  $4 \pm 0.5$

จากผลการทดลองสภาพความเป็นด่างที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า มีแนวโน้มลดลงจากความสามารถของอนุภาคที่สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ ได้หลายตำแหน่งทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพกรดให้เข้าสู่จุดสะเทินของคาร์บอเนตหรือไปคาร์บอเนต

สำหรับค่าความเป็นด่างของน้ำดิบจากการสังเคราะห์และสารสร้างตะกอนเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า มีลักษณะแนวโน้มที่คงที่ เกิดจากการมีหลายกลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยส่งผลทำให้การเกาะติดมาจากแรงของปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกัน โดยที่มีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาค ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ซึ่งมีความสามารถของสารสร้างตะกอนในการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาค ทำให้สภาพความเป็นด่างถึงจุดสมมูลที่ทำให้มีค่าคงที่ ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันเล็กน้อย ส่งผลต่อการบำบัดน้ำที่สามารถช่วยลดการใช้สารเคมีในการปรับพีเอชก่อนการบำบัด

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการรวมและตกตะกอนทางเคมี ก่อให้เกิดหลากหลายกลไกในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคของคอลลอยด์โดยการดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาค หรือการมีกลไกสะพานเชื่อมอนุภาค ส่งผลต่อประสิทธิภาพของประจุบวกทำให้ การนำน้ำดิบจากการสังเคราะห์และสารละลายผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าโดยตรงสามารถลดความขุ่นในน้ำ โดยมีค่าลดลงมากกว่าการที่ไม่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

น้ำดิบจากการสังเคราะห์และสารสร้างตะกอนที่ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าพบว่าสารสร้างตะกอนอะลูมิเนียมซัลเฟต มีประสิทธิภาพสูงในช่วง 86-97 เปอร์เซ็นต์ สารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์ มีประสิทธิภาพสูงในช่วง 88-98 เปอร์เซ็นต์ และสารสร้างตะกอนโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในช่วง 86-98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับความเข้มข้น 10-60 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการผลการศึกษาประสิทธิภาพสูงที่สุดในการตกตะกอนทางเคมีคือการนำสารสร้างตะกอนผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าโดยตรง

จากสภาพความเป็นต่างของการศึกษาพบว่า มีสภาพความเป็นต่างของสารสร้างตะกอนผ่านเข้าเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าโดยตรง มีสภาพความเป็นต่างที่มีแนวโน้มที่ เกิดจากการมีหลากหลายกลไกร่วมการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ โดยเฉพาะกลไก สะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Bridging) มีประสิทธิภาพยึดเกาะอนุภาคในหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและที่ว่างส่งผลต่อการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ส่งผลให้สภาพความเป็นต่างมีแนวโน้มค่าคงที่

จากการศึกษาสามารถเป็นแนวทางในการลดปริมาณสารเคมีในกระบวนการผลิตน้ำประปาหรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนได้และ ค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีเกินความจำเป็นในอนาคต ลดปริมาณการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารเคมี สามารถเกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งทางภาครัฐและเอกชน

### ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าในขนาดเล็ก ทำให้ผลการศึกษาที่ได้ มีช่วงในความเหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพของกำลังงานของเครื่องมือ ซึ่งในการศึกษาในอนาคต หากมีการใช้เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่ อาจมีประสิทธิภาพความแตกต่างที่ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมทั้งจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนสำหรับการลดใช้สารเคมีในการปรับปรุงประสิทธิภาพ



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปาเล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปาเล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อรทัย ชวาลภาฤทธิ. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์วิศวกรรม  
สถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2003. กระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกกูเลชัน .ส่วนวิเคราะห์  
จัดการสิ่งแวดล้อม กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ.
- วรรณรัตน์ วัฒนชัย. 2547. กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสำหรับน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนัก  
จากโรงงานประกอบรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation),  
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.
- วิโรจน์ ทรัพย์สัตย์. 2544. การศึกษาการกำจัดความขุ่นของแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนว  
ชิราลงกรณ์ โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์.
- อัญชลี กัดคภิบาล. 2543. การกำจัดความขุ่นในระบบการรองลงโดยใช้ชั้นตัวกลางพลาสติกลอยใน  
การผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริประภา ตรีเดช. 2546. การกำจัดสาหร่ายโดยระบบผลิตน้ำประปาที่ใช้ถังกรองแบบเม็ดพลาสติก  
ลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กฤษดา ทองนาค. 2553. การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนกรณีตัวอย่างแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. 2554. ค่าเฉลี่ยลำน้ำปี 2545. แหล่งที่มา:

<http://www.haii.or.th/wiki/index.php>, 15 พฤษภาคม 2556.

Fan,A., J. Nicholas and P.Turro Somasundaran. 1999. A study of dual polymer flocculation. **Colloids and Surfaces** 162: 141–148.

Dongsheng,Y.,W. Jiuhui, Q. Jinren, N.Christopher and W.K. Chow Enhanced. 2007. Coagulation for high alkalinity and micro-polluted water: The third way through coagulant optimization. **Water Research** 42: 2278 – 2286

Abidin, Z., N. S. Mohd Shamsudina, N. Madehi and S. Sobri. 2012. Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal. **Industrial Crops and Products** 42: 319– 323

Y. Zhao,Y. Wang, B. Gao a, H. Shon ,J. Kim and Q. Yue. 2012. Coagulation performanceevaluation of sodium alginate used as coagulant aid with aluminum sulfate, iron chloride and titanium tetrachloride. **Desalination** 299: 79–88

M. Rossini, J.Garcia and M.Galluzzo . 1998. Optimisation of the coagulation flocculation treatment : influence of rapid mix parameters .**Pergamon** 8: :1817-1826

Wen-Zheng Yu , Hui-Juan Liu ,Ting Liu, Rui-Ping Liu and Jiu-Hui Qu. 2012. Comparison of submerged coagulation and traditional coagulation on membranefouling: Effect of active floccs. **Desalination** 309:11-17

Zeta Corporation. 2006. **Zeta Rod system**.2006. Available source:

<http://www.zetarod.com/wordpress>, August 5, 2012.







## ความขุ่น

ความขุ่น (Turbid) หมายถึง น้ำที่มีสารแขวนลอยหรืออนุภาคคอลลอยด์ซึ่งขัดขวางทางเดินของแสงที่ผ่านน้ำนั้น ความขุ่นของน้ำเกิดจากการที่มีสารแขวนลอย (Suspended Matter) อยู่ในน้ำ เช่น อนุภาคดินเหนียว ดินละเอียด อินทรีย์สาร แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สารเหล่านี้จะทำให้เกิดการกระเจิงของแสง (Scattering of Light) และดูดซับแสง (Absorbed) แทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านเป็นเส้นตรง สารแขวนลอยในน้ำซึ่งเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ของความขุ่น อาจจะมีขนาดเล็ก (เล็กกว่า  $10^2$  ไมครอน แต่ใหญ่กว่า 0.2 ไมครอน) จนกระทั่งถึงหยาบ ( $10^2$ - $10^3$  ไมครอน) ซึ่งสารแขวนลอยหรืออนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่จะมีตกตะกอนได้ง่าย แต่คอลลอยด์ขนาดเล็กจะไม่ตกตะกอนทำให้เกิดความขุ่นในแหล่งน้ำ เช่น ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ถ้าในน้ำมีปริมาณสารแขวนลอยดังกล่าวอยู่ในปริมาณมากเมื่อแสงส่องมากระทบสารแขวนลอยนี้จะทำให้เกิดการหักเหของแสง กระเจิงไปทำให้มองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น

สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำนี้อาจจะมีหรือไม่มีผลต่อสุขภาพอนามัยหรือระบบนิเวศน์วิทยาของแหล่งน้ำก็ได้ สารแขวนลอยบางชนิดที่ทำให้น้ำมีความขุ่นอาจจะไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคมากนัก แต่ทำให้น้ำนั้นไม่น่าใช้ในการอุปโภคบริโภค ทำให้น้ำรังเกียจและมีผลต่อระบบการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ เช่น มีผลกระทบต่อระบบการกรองทำให้เครื่องกรองอุดตันและเสียเร็ว และมีผลต่อระบบการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน เนื่องจากสารแขวนลอยจะห่อหุ้มจุลินทรีย์ไว้ ทำให้คลอรีนไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ความขุ่นในแหล่งน้ำยังทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำเป็นไปได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากความขุ่นจะบดบังแสงอาทิตย์ที่จะผ่านลงไปใต้น้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีน้อยและมีผลต่อการมองเห็นของสัตว์น้ำด้วย แต่ก็มีสารแขวนลอยบางชนิดที่ไม่ละลายในน้ำทำให้น้ำขุ่นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและไม่สามารถจะนำน้ำนั้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ได้ สารประเภทนี้ส่วนมากจะมาจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาลและแหล่งกำเนิดสารพิษ (Hazardous Waste) ต่างๆ

โดยค่าความขุ่นและสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำส่วนใหญ่ตรวจวัดในน้ำสะอาดมากกว่าน้ำเสีย การวัดค่าความขุ่นเป็นการตรวจวัดปริมาณแสงซึ่งถูกดูดกลืน และกระจายโดยของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ซึ่งการดูดกลืนและการกระจายแสงจะขึ้นกับขนาดและลักษณะผิวหน้าของของแข็งแขวนลอย ดังนั้นการวัดค่าความขุ่นจึงไม่ใช่การวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยโดยตรง ค่าความขุ่นจึงตรวจวัดในน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติและน้ำประปา รวมถึงน้ำดื่ม

ความขุ่นของตัวอย่างน้ำคือการลดลงของการยอมให้แสงผ่านเนื่องจากการปรากฏของของแข็งแขวนลอยในน้ำ ซึ่งได้แก่ ดิน ทราย สารอินทรีย์ขนาดเล็ก แพลกต์ตอน จุลชีพขนาดเล็ก ซึ่งจะดูดกลืนและกระจายแสงมากกว่าจะยอมให้แสงผ่านได้โดยตรง ค่ามาตรฐานความขุ่นของน้ำอุปโภค บริโภคมีค่าไม่เกิน 5 หน่วย ค่าความขุ่นไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าของของแข็งแขวนลอยในน้ำ เนื่องจาก ขนาด รูปร่างและดัชนีการสะท้อนแสงของสารซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการมองเห็น แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นและน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยนั้นๆ การตรวจวัดความขุ่นนั้น สามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธี คือ

1. Turbidimetric Method เป็นวิธีที่วัดความขุ่นของน้ำโดยการให้แสงสีขาวส่องผ่านตัวอย่างน้ำแล้วเปรียบเทียบกับแสงที่ส่องผ่าน Standard Suspension วิธีนี้แตกต่างจากวิธี Nephelometric Method ซึ่งเป็นวิธีที่วัดการกระเจิงของแสง เครื่องมือวัดความขุ่นที่อาศัยหลักการนี้ได้แก่ Jackson Candle Turbidimeter

2. Nephelometric Method เป็นวิธีที่ใช้ความขุ่นโดยเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่กระเจิงของตัวอย่างน้ำกับสารมาตรฐานภายใต้สภาวะต่างๆ ที่เหมือนกัน ความเข้มของแสงที่กระเจิงจะแปรผันกับความขุ่นของน้ำนั้น โดยแสงจะถูกปล่อยให้กระทบกับตัวอย่างเป็นมุมฉากกับตาผู้สังเกตหรือ Photoelectric Cell หลักการของวิธีเนฟโฟโลเมตริกเป็นวิธีเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างกับของสารมาตรฐานภายใต้สภาวะเดียวกัน ความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายมากก็จะมีค่าความขุ่นมาก สารละลายความขุ่นมาตรฐานที่ใช้คือ ฟอว์มาซิน โพลีเมอร์ ประกอบด้วยสารละลาย 2 อย่างคือ สารละลายไฮดราซีนซัลเฟต กับสารละลายเฮกซาเมทิลลิน เดตระมีน

การวัดความขุ่น

การทดลองใช้เครื่องวัดความขุ่น TN-100 ที่มีหน่วยเป็น NTU โดยเครื่องไม่สามารถอ่านค่าตัวอย่างที่มีความขุ่นเกินกว่า 1000 NTU ได้

การทดสอบการตกตะกอนโดยใช้เครื่อง Jar Test

Coagulation/flocculation คือกระบวนการจับตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนได้ง่าย ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่นี้เรียกว่าFloc การเกิด Floc และการตกตะกอนอย่างเหมาะสมจะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำได้ คุณสมบัติของน้ำในบ่อบำบัดที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้ต้องเปลี่ยนปริมาณของสารที่ทำให้ตกตะกอนเพื่อให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปริมาณของสารที่ทำให้ตกตะกอนที่เหมาะสมสามารถทดลองโดยใช้เครื่อง Jar Test ที่มีการเลียนแบบสภาวะของบ่อบำบัด ขั้นตอนของการทดลองคือ เติมสารที่ทำให้ตกตะกอนลงไปใต้น้ำแล้วกวนอย่างรวดเร็วในช่วงสั้นๆ เพื่อให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นลดความเร็วลงโดยใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเพื่อให้ตะกอนเกาะกลุ่มกัน จากนั้นหยุดกวนเพื่อให้เกิดการตกตะกอน ชนิดของน้ำจะเป็นตัวบ่งบอกว่าจะใช้งาน Jar Test บ่อยแค่ไหน การบำบัดน้ำใต้ดินจะใช้เวลานานๆ ครั้ง เพราะน้ำจากใต้ดินอาจจะมีอนุภาคหรือความขุ่นขนาดเล็กมากๆ ซึ่งกำจัดได้ยาก และคุณสมบัติของน้ำค่อนข้างคงที่ ส่วนน้ำผิวดินจะแตกต่างออกไปเนื่องจากน้ำผิวดินมีความขุ่นสูง

การวิเคราะห์หาความเป็นด่างโดยใช้อินดิเคเตอร์ (APHA, AWWA and WEF, 1995)

หลักการ สภาพด่างของน้ำหาได้โดยการไตเตรตน้ำนั้นด้วยกรดแก่ที่แตกตัวให้  $H^+$  สูง เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน จนกระทั่งถึงจุดสมมูลย์ของไบคาร์บอเนตและกรดคาร์บาอิกตามลำดับ วิธี บอกรถึงจุดสมมูลย์หรือจุดยุติของการไตเตรตมี 2 วิธีคือการใช้อินดิเคเตอร์และกาใช้พีเอชอินดิเคเตอร์ที่ใช้มี 2 อย่างคือ ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) และเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) หรือ ส่วนผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีน (Bromocresol Green) และเมทิลออเรด (Methyl Red) ก็ได้ สภาพด่างที่วัดได้โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์เรียกว่าสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีน หรือ P-Alkalinity ส่วนสภาพด่างที่วัดได้โดยใช้เมทิลออเรนจ์หรืออินดิเคเตอร์ผสมเรียกว่าสภาพด่าง MO หรือ T-Alkalinity ในกรณีที่ใช้พีเอชเป็นตัวบอจุดยุติของการไตเตรต ค่า P-Alkalinity จะมีจุดยุติอยู่ที่พีเอชประมาณ 8.3 ส่วนจุดยุติของ T-Alkalinity จะอยู่ที่พีเอชประมาณ 4.3-4.5

เครื่องมืออุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มล.
3. ปิเปต

วิธีอินดิเคเตอร์นี้เหมาะสำหรับน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้งที่ไม่มีสี และน้ำที่ไม่มีความขุ่นรบกวน เพราะสามารถเห็นสีของอินดิเคเตอร์ได้ชัดเจน ดังกล่าวแล้วข้างต้นว่าความเป็นด่างของน้ำเกิดจากไฮดรอกไซด์ไอออน คาร์บอเนตไอออน และไบคาร์บอเนตไอออนเป็นหลัก ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์หาปริมาณความเป็นด่างได้ด้วยการไตเตรตกับกรดแก่ซึ่งแตกตัวให้โปรตอนสูง เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริก จนกระทั่งถึงจุดสมมูลย์ของไบคาร์บอเนตและกรดคาร์บาอิกตามลำดับ ซึ่งดูได้จากสีของอินดิเคเตอร์หรือพีเอชของสารละลายที่เปลี่ยนไป การไตเตรตหาความเป็นด่างจะเป็นไปตามสมการข้างล่างนี้

## น้ำยาเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มอล อบโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ประมาณ 3-5 กรัม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งสารที่ได้ 2.5 -0.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร สารละลายนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 1 อาทิตย์

2. สารละลายกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (standard sulfuric acid หรือ hydrochloric acid) 0.1 นอร์มอล (เลือกใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง)ละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น (concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$  acid) 3.0 มิลลิลิตรหรือกรดไฮโดรคลอริก (concentrated HCl acid) 8.3 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร (ข้อควรระวังต้องเติมกรดลงในน้ำเท่านั้น ห้ามเติมน้ำลงในกรดเข้มข้นโดยเด็ดขาด เพราะทำให้เกิดการ ionize ของกรด และเกิดระเบิดได้) เทียบมาตรฐานความเข้มข้นของกรด

การเทียบมาตรฐานความเข้มข้นของกรด (Standardization) กับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 0.05 นอร์มอล ทำได้ดังนี้

1) ควบสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มอล มา 40.0 มิลลิลิตรใส่ในฟลาสกรู๊ปชมพู (ควรทำอย่างน้อย 3 ซ้ำ) แล้วไตเตรทกับสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มอลจนสารละลายมีพีเอชประมาณ 5 จุดปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรท

2) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มประมาณ 3-5 นาที (ขณะต้มสารละลายปิดด้วยกระจกนาฬิกา) ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ล้าง (rinse) สารละลายที่เกาะอยู่ตามกระจกนาฬิกา ลงในฟลาสกรู๊ปชมพู (ข้อสังเกต เมื่อต้มแล้วทำให้เย็นจะมีไอน้ำเกาะอยู่ตามกระจกนาฬิกา)

3) นำไปไตเตรทด้วยกรดต่อ จนสารละลายเปลี่ยนสี (พีเอช = 4.5)

4) คำนวณความเข้มข้นของกรด (Normality) ดังนี้

$$N = \frac{A \times B}{53.00 \times C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของโซเดียมคาร์บอเนตในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1 ลิตร (เท่ากับ 2.50 กรัม)

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่นำมาในเตรท (เท่ากับ 40.0 มิลลิลิตร)

C = จำนวนมิลลิลิตรของกรดที่ใช้ในเตรท (ประมาณ 18.86 มิลลิลิตร)

สารละลายกรดเข้มข้น 0.1 นอร์มอลปริมาตร 1 มิลลิลิตรเท่ากับ 5.0 มิลลิลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ )

3. สารละลายกรดมาตรฐานเข้มข้น 0.02 นอร์มอล (ใช้กรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกก็ได้) ดูดสารละลายกรดมาตรฐานเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 200 มิลลิลิตร (สารละลายกรดมาตรฐานตามข้อ 2) แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร ซึ่งจะได้ว่าสารละลายกรดเข้มข้น 0.02 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร เท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตร

4. สารละลาย phenolphthalein indicator ละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 1 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นอีก 100 มิลลิลิตร

5. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างโบรโมครีซอลกรีนกับเมทิลเรดเตรียมด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

1) ละลายเมทิลเรด (methyl red) 20 มิลลิกรัม และบรอมครีซอลกรีน (bromocresol green) 100 มิลลิกรัม ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 เปอร์เซ็นต์ หรือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) 100 มิลลิลิตร

2) ละลายโซเดียมเมทิลเรด (sodium methyl red) 20 มิลลิกรัมและโซเดียมบรอมครีซอลกรีน (sodium bromocresol green) 100 มิลลิกรัม ด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

6. สารละลาย methyl orange indicator ละลายเมทิลออร์เรนจ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator) 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

ขั้นตอนวิเคราะห์

- 1). ตวงน้ำตัวอย่างที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง 100 มิลลิลิตร ลงในพลาสติกรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2). หยดฟีนอล์ฟทาเลอินอินดิเคเตอร์ 4-5 หยดถ้าสารละลายมีสีชมพูทำการไตเตรท จนสีชมพูหมดไป (ค่าที่ได้เรียกว่า phenolphthalein alkalinity)
- 3). หยดโบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 3 หยด ถ้าตัวอย่างมีสีฟ้าเรื่อยๆ ไตเตรท สารละลายด้วยกรดต่อ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอมเขียว (หากใช้เมธิลอร์เรนจ์ อินดิเคเตอร์ สีของสารละลายจะมีสีเหลือง เมื่อถึงจุดยุติ สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้ม)
- 4). บันทึกปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรดที่ใช้ในข้อ 2 และข้อ 3 แล้วคำนวณหาค่าความเป็นต่างดังนี้

$$\text{Phenolphthalein Alkalinity (as mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง(mL)}}$$

$$\text{Alkalinity (as mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (mL)}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของกรดที่ใช้ไตเตรทน้ำตัวอย่างถึงพีเอช 8.3 (ตามข้อ 2)

B = มิลลิลิตรของกรดที่ใช้ไตเตรทน้ำตัวอย่างถึงพีเอชประมาณ 4.5 (ตามข้อ 3)

N = นอร์มอลของกรด

$$\text{total Alkalinity} = \text{phenolphthalein alkalinity} + \text{alkalinity}$$

จากการวิเคราะห์หาค่าความเป็นด่างด้วยวิธีการไตเตรทกับกรดแก่โดยอาศัยการเปลี่ยนสีด้วยสารละลายอินดิเคเตอร์ จึงสามารถเรียกความเป็นด่างตามลักษณะของการเปลี่ยนสีและพีเอชของสารละลายได้ว่า phenolphthalein alkalinity , methyl orange alkalinity และ total alkalinity ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

- การไตเตรทสารละลายถึงพีเอช 8.3 หรือจุดเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน เรียกว่า phenolphthalein alkalinity

- การไตเตรทสารละลายจากพีเอช 8.3 จนถึงพีเอชประมาณ 4.5 หรือจุดเปลี่ยนสีของ methyl orange เรียกว่า methyl orange alkalinity สำหรับ total alkalinity เป็นผลรวมของ phenolphthalein alkalinity กับ methyl orange alkalinity เป็นที่น่าสังเกตว่าถ้าน้ำตัวอย่างหรือสารละลายมีพีเอชต่ำกว่า 8.3 จะไม่มีค่า phenolphthalein alkalinity

**ตารางผนวกที่ ก1** ความสัมพันธ์ระหว่าง Total Alkalinity, Phenolphthalein Alkalinity กับสถานะรูปต่างๆ ของสารประกอบ hydroxide และ carbonate ได้ดังนี้

Alkalinity	OH <sup>-</sup> Alkalinity	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> Alkalinity	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Alkalinity
p = 0	0	0	T
p < ?T	0	2P	2P-T
p = ?T	0	2P	0
p > ?T	2P-T	2P-T	0
P = T	T	0	0

หมายเหตุ T = Total Alkalinity , P = Phenolphthalein Alkalinity

ที่มา: APHA, AWWA and WEF (1995)

## วิธีวิเคราะห์

### 1. การเลือกปริมาตรตัวอย่าง

ถ้าเป็นน้ำธรรมชาติทั่วไปมักใช้ตัวอย่าง 50-100 มล. หรือโดยเลือกปริมาตร ตัวอย่างที่จะใช้ปริมาตรกรดในการไตเตรดไม่เกิน 25 มล. และเลือกความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล สำหรับสภาพด่างน้อยกว่าน้อยกว่า 1,000 มก/ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ถ้ามากกว่าควรใช้ 0.1 นอร์มัล

### 2. ถ้าต้องการทราบสภาพด่าง ฟีนอล์ฟทาลิน (P)

ปิเปตตัวอย่างใส่ขวดรูปกรวย หยดฟีนอล์ฟทาเลียอินดิเคเตอร์ 2 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ ทำการไตเตรดด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก จนกระทั่งสีชมพูของน้ำตัวอย่างหายไป ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาลินลงในตัวอย่างแล้วไม่เกิดชมพู แสดงว่าไม่มีสภาพฟีนอล์ฟทาลินลงในตัวอย่างแล้วไม่เกิดสีชมพู แสดงว่าไม่มีสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลิน จดปริมาตรกรดที่ใช้ โดยปกติถ้าพีเอชของตัวอย่างน้อยกว่า 8.3 จะไม่มีสภาพด่าง P ถ้าต้องการทราบสภาพด่างทั้งหมด (T)

ปิเปตตัวอย่างใส่ขวดรูปกรวย หยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีเซอกรีนดและเมทิลเรด 3 หยด ลงในตัวอย่างน้ำซึ่งได้ทำการหาสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลินแล้วหรือ ใช้ตัวอย่างใหม่เลยแล้วไตเตรดด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกจากสีฟ้าจนสีชมพูอมส้ม อาจใช้เมทิลออเรนจ์แทน โดยไตเตรดจากสีเหลืองเป็นสีส้ม จดปริมาตรที่ใช้ถ้าใช้ตัวอย่างน้ำเดิมจากข้อ 3 ต้องคำนวณสภาพด่างทั้งหมดจากปริมาตรกรดรวมที่ได้จาก ข้อ 3 และ 4

## วิธีวิเคราะห์ พีเอช

pH ย่อมาจากคำว่า positive potential of the hydrogen ions คือ ค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) หรือไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) ใช้ออกความเป็นกรดหรือเบสของสารละลาย โดยค่า pH ของสารละลายเป็นค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน  $pH < 7$  สารละลายเป็นกรด,  $pH = 7$  สารละลายเป็นกลาง,  $pH > 7$  สารละลายเป็นเบส

1. วิธีเปรียบเทียบสี วิธีนี้เป็นการวัด pH โดยประมาณ (มีความถูกต้อง 0.5 หน่วย pH) ซึ่งทำได้โดยเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมลงในสารละลายที่ต้องการวัด pH แล้วเปรียบเทียบกับสารละลาย ทำได้โดยเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมลงในสารละลายที่ต้องการวัด pH แล้วเปรียบเทียบกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ทราบค่า pH แน่นอน ซึ่งได้เติมอินดิเคเตอร์ชนิดเดียวกันไปแล้ว หรือใช้กระดาษชูปอินดิเคเตอร์ (กระดาษ pH) จุ่มลงไปแล้วเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน
2. วิธีวัดความต่างศักย์วิธีนี้วัด pH ได้อย่างละเอียด (มีความถูกต้อง 0.01 หน่วย pH) โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า พีเอชมิเตอร์ ซึ่งวัด pH ของสารละลายได้โดยการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว

คุณภาพน้ำจากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ปี2544-2546

สถานการณ์คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในกลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน ปี2545-2546 สรุปได้ดังนี้

-ปัญหาคุณภาพน้ำโดยรวม ได้แก่ การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม การปนเปื้อนของแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด ค่าออกซิเจนละลาย ค่าความขุ่น ค่าแอมโมเนีย และอื่นๆ

-ปัญหาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสายสำคัญคือ แม่น้ำเจ้าพระยาและท่าจีน โดยแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างตั้งแต่ อ.เมือง จ.นนทบุรี ผ่านกรุงเทพฯ ถึงปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม เนื่องจากเป็นที่รองรับน้ำเสียปริมาณจากตอนกลางและตอนบน รวมทั้งน้ำเสียจากพื้นที่ตอนล่าง และคลองต่างๆ โดยเฉพาะคลองสำโรงและคลองพระโขนงมีค่าความสกปรกสูง ส่วนแม่น้ำท่าจีน โดยเฉพาะตอนล่างตั้งแต่ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม จนถึงปากแม่น้ำจังหวัดสมุทรสาคร คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมากเช่นกัน ปัญหาที่สำคัญคือ ฟาร์มสุกรที่ไม่มีระบบการจัดการของเสีย น้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม การระบายน้ำของพื้นที่นาข้าวช่วงที่มีน้ำท่วมขังจากปริมาณฝนที่ตกในฤดูเก็บเกี่ยว และน้ำทิ้งจากคูคลอง โดยเฉพาะคลองเจดีย์บูชาและคลองบางแก้ว ในจังหวัดนครปฐมที่รองรับน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร คลองสีวามหาสวัสดิ์ คลองภาษีเจริญ คลองครุและคลองแค ในจังหวัดสมุทรสาคร ที่รองรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

-ปัญหาค่าความขุ่น โดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลากในเดือน พฤษภาคม- มิถุนายน 2546 อันเกิดจากสภาพธรรมชาติที่เป็นพื้นที่สูง จากการกัดเซาะและพังทลายของหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำ ปัญหารองลงมาได้แก่ การปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ซึ่งจะมีปริมาณที่สูงในบริเวณที่ผ่านเทศบาลเมืองโดยแม่น้ำยม และน่าน มีปัญหาความขุ่นสูงในช่วงหน้าฝน บริเวณชุมชนเมืองในจังหวัดแพร่ น่าน สุโขทัย พิษณุโลก ลำปาง และมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียสูง

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงค่าเฉลี่ยลำน้ำปี 2545-2546

แหล่งน้ำ	ค่าเฉลี่ยทั้งลำน้ำ ปี 2545											ค่าเฉลี่ย ทั้งลำ น้ำ ปี 2546
	DO (มก./ ล.)	BOD (มก./ ล.)	FCB (มก./ ล.)	TCB (มก./ ล.)	NH~3~ (มก./ ล.)	ความ ขุ่น (มก./ ล.)	DO (มก./ ล.)	BOD (มก./ ล.)	FCB (มก./ ล.)	TCB (มก./ ล.)	NH~3~ (มก./ ล.)	ความ ขุ่น (มก./ ล.)
ปึง	7.1	1.0	2,000	8,700	0.05	36	7.4	0.7	1,600	5,100	0.13	45
วัง	7.3	1.0	6,300*	13,700	0.09	51	8.2	0.9	5,000*	19,300	0.11	75
ยม	6.6	1.1	5,000*	26,700*	0.02	220	6.8	0.6	900	6,700	0.11	80
น่าน	7.1	0.9	7,600*	20,600*	0.01	160	7.2	0.6	1,100	17,500	0.05	75
บึงบอระเพ็ด	7.3	1.5	20	290	0.11	20	6.6	3.5*	2	90	0.03	40
เจ้าพระยา ตอนบน	5.9	1.2	2,300	6,400	0.13	180	6.3	0.7	850	3,700	0.03	70
เจ้าพระยา ตอนกลาง	3.9	1.3	2,800	27,000	0.15	95	4.5	0.7	2,800	9,700	0.04	100
เจ้าพระยา ตอนล่าง	1.0	4.2	70,000	158,500	0.62	60	1.0*	2.8	12,400	33,500	0.53	70
ทำนบกอนบน	5.2	1.2	4,800	9,600	0.06	70	5.2*	0.7	1,200	11,100	0.15	40
ทำนบกอน ตอนกลาง	2.1	1.6	27,000	32,600	0.40	40	1.6*	4.1*	2,700	9,800	0.85	25
ทำนบกอน ตอนล่าง	1.4	2.7	84,000	107,000	1.13	40	1.3*	7.0*	9,800	38,200	1.64	77
ป่าสัก	5.5	2.1	6,100	44,700	0.09	300	6.0	0.8	5,000	10,600	0.09	200
ลพบุรี	3.4	1.5	3,700	24,400	0.22	70	4.7	2.0	4,100	28,400*	0.34	35

ที่มา: สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร





ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าขี้หื้อ Zeta rod



ภาพผนวกที่ ข2 ดินคาโอลิน



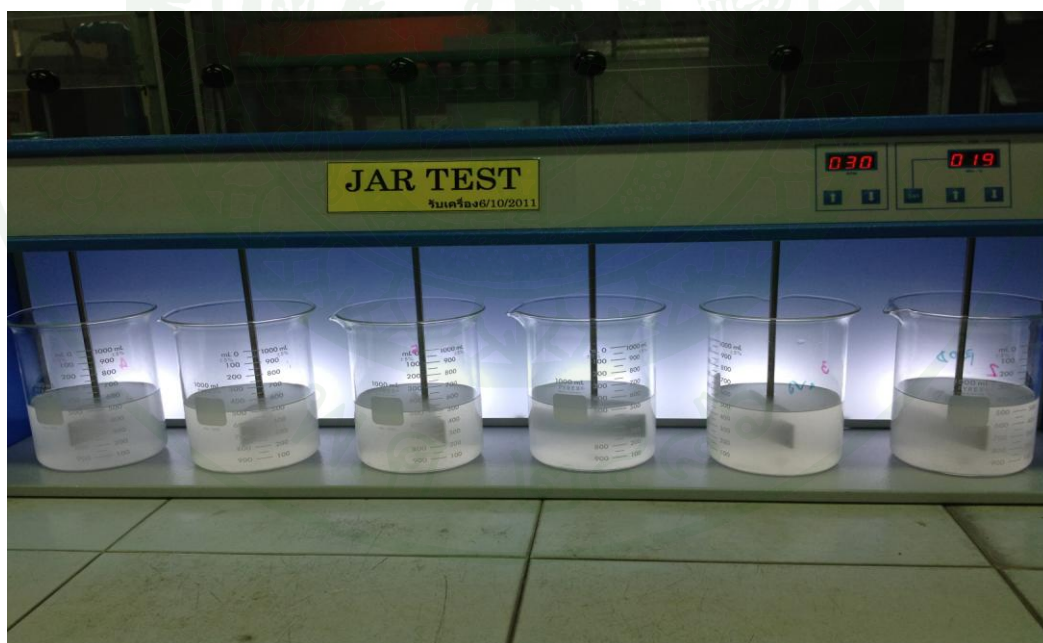
ภาพผนวกที่ ข3 เครื่องวัดความขุ่น



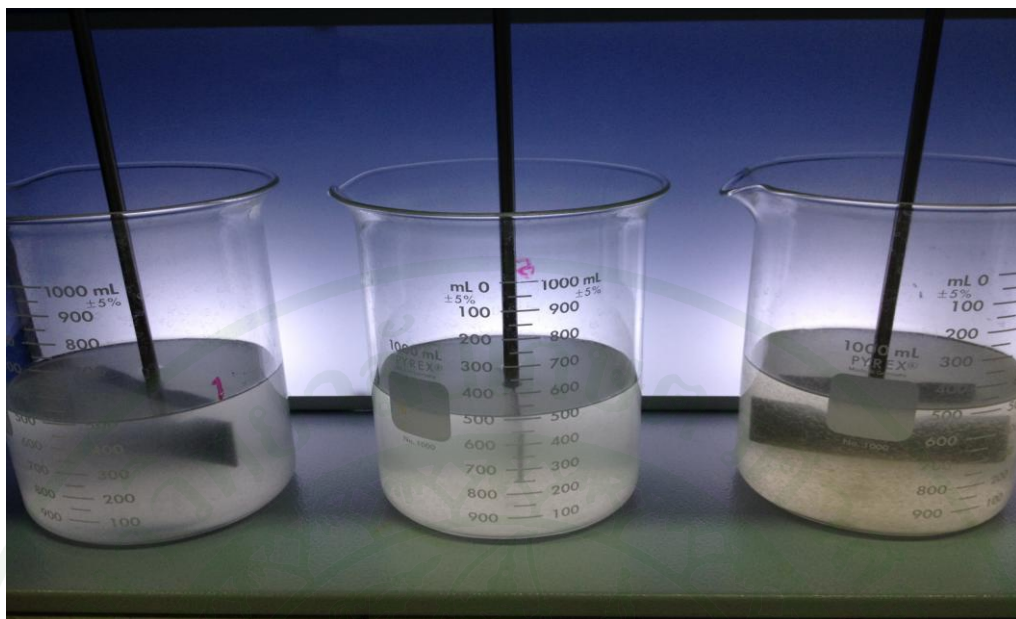
ภาพผนวกที่ ข4 เครื่องวัดพีเอช



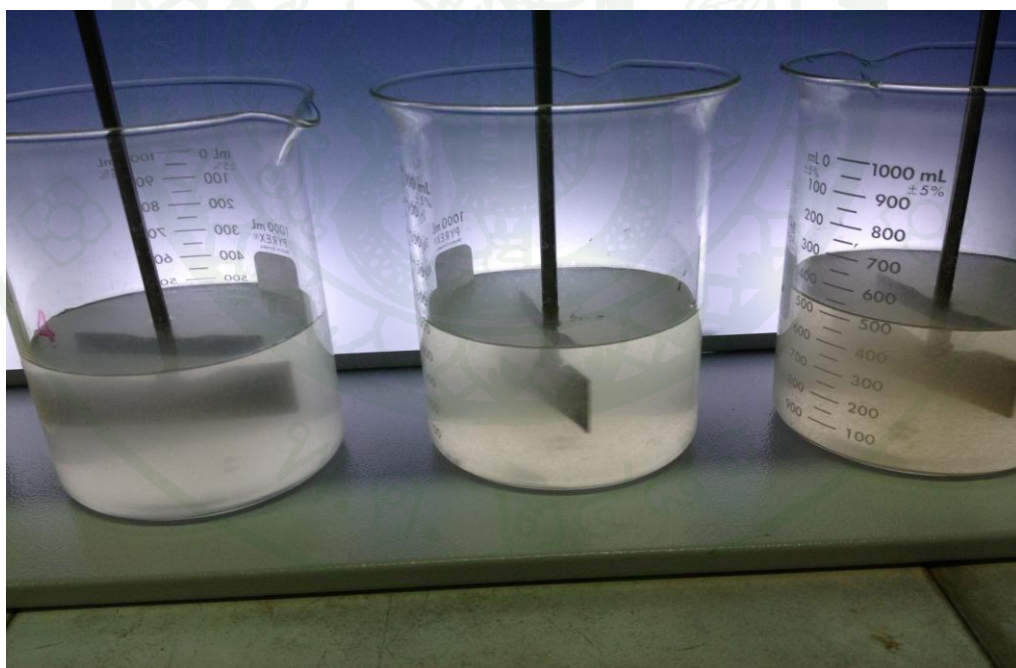
ภาพผนวกที่ ข5 การกวนเร็ว



ภาพผนวกที่ ข6 การกวนช้า



ภาพผนวกที่ ข7 การทดลองโดยไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า



ภาพผนวกที่ ข8 การทดลองโดยผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงค่าความขุ่นไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้าง  
ตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	110	112	107
ความเข้มข้น(mg/L)10	22	23	20
ความเข้มข้น(mg/L)20	18	17	18
ความเข้มข้น(mg/L)30	12	10	13
ความเข้มข้น(mg/L)40	11	12	9
ความเข้มข้น(mg/L)50	8	9.4	9
ความเข้มข้น(mg/L)60	4.5	6.5	5

ตารางผนวกที่ ข2 แสดงค่าความขุ่นน้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสาร  
สร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ความเข้มข้น(mg/L)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	83	82	80
ความเข้มข้น(mg/L)10	18	19	21
ความเข้มข้น(mg/L)20	116	15.5	113
ความเข้มข้น(mg/L)30	10	11.5	12
ความเข้มข้น(mg/L)40	7.5	9.5	10
ความเข้มข้น(mg/L)50	8	7.5	5.5
ความเข้มข้น(mg/L)60	7.5	6	3

**ตารางผนวกที่ ข3** แสดงค่าความสารสร้างตะกอนผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของ  
สารสร้างตะกอนอลูมิเนียมซัลเฟต

ความเข้มข้น(mg/L)	สารสร้างตะกอนผ่าน เครื่อง (NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	-	-	-
ความเข้มข้น(mg/L)10	16.5	12	16
ความเข้มข้น(mg/L)20	12	15	15.2
ความเข้มข้น(mg/L)30	7.5	10	8
ความเข้มข้น(mg/L)40	4.5	8	7.5
ความเข้มข้น(mg/L)50	4	7.5	6
ความเข้มข้น(mg/L)60	3.3	6.8	5.5

**ตารางผนวกที่ ข4** แสดงค่าความขุ่นไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้าง  
ตะกอนเฟอริกคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	116	117	114
ความเข้มข้น(mg/L)10	21.5	22.5	19
ความเข้มข้น(mg/L)20	17.6	18.5	15.5
ความเข้มข้น(mg/L)30	12.2	13	10.4
ความเข้มข้น(mg/L)40	8.1	9	6.2
ความเข้มข้น(mg/L)50	4.2	5	2.7
ความเข้มข้น(mg/L)60	2.8	3.5	2.2

ตารางผนวกที่ ข5 แสดงค่าความขุ่นน้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสาร  
สร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	79	77	78
ความเข้มข้น(mg/L)10	15.2	18.4	17.6
ความเข้มข้น(mg/L)20	17	14	16
ความเข้มข้น(mg/L)30	8	12.5	11
ความเข้มข้น(mg/L)40	5.8	8.7	7.7
ความเข้มข้น(mg/L)50	3.2	5	3.8
ความเข้มข้น(mg/L)60	2.5	3.5	2.3

ตารางผนวกที่ ข6 แสดงค่าความสารสร้างตะกอนผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของ  
สารสร้างตะกอนเฟอริกคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0			
ความเข้มข้น(mg/L)10	12.2	14.5	14.5
ความเข้มข้น(mg/L)20	11	13	13
ความเข้มข้น(mg/L)30	6.3	8.3	8.3
ความเข้มข้น(mg/L)40	2.8	4.7	4.7
ความเข้มข้น(mg/L)50	2.8	3.2	3.2
ความเข้มข้น(mg/L)60	2	2	2

ตารางผนวกที่ ข7 แสดงค่าความขุ่นไม่ผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสารสร้าง  
ตะกอน โพลีลูมิเนียมคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)	ไม่ผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	121	122	118.5
ความเข้มข้น(mg/L)10	34.3	35.8	32
ความเข้มข้น(mg/L)20	15	16	13
ความเข้มข้น(mg/L)30	10	8	11.5
ความเข้มข้น(mg/L)40	6.7	7.5	4.1
ความเข้มข้น(mg/L)50	4.7	5.6	3.1
ความเข้มข้น(mg/L)60	2.8	4	2.5

ตารางผนวกที่ ข8 แสดงค่าความขุ่นน้ำดิบผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของสาร  
สร้าง โพลีลูมิเนียมคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)	น้ำดิบผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	77	75	72
ความเข้มข้น(mg/L)10	32.5	31	30
ความเข้มข้น(mg/L)20	15.4	14	12.2
ความเข้มข้น(mg/L)30	9.3	8.2	6.1
ความเข้มข้น(mg/L)40	3.5	5.7	6.8
ความเข้มข้น(mg/L)50	5.2	4.3	2.5
ความเข้มข้น(mg/L)60	3.1	2.7	2.7

ตารางผนวกที่ ๗9 แสดงค่าความสารสร้างตะกอนผ่านเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้าหลังตกตะกอนของ  
สารสร้างตะกอนโพลีลูมเนียมคลอไรด์

ความเข้มข้น(mg/L)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)	สารสร้างตะกอน ผ่านเครื่อง (NTU)
ความเข้มข้น(mg/L)0	-	-	-
ความเข้มข้น(mg/L)10	29	30	26.2
ความเข้มข้น(mg/L)20	12	13.5	10.1
ความเข้มข้น(mg/L)30	8.5	9.5	6.4
ความเข้มข้น(mg/L)40	5.9	7.1	3.5
ความเข้มข้น(mg/L)50	3.9	5	2.1
ความเข้มข้น(mg/L)60	2.8	3.9	2.4

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาวกนกวรรณ อินทรโม  
เกิดวันที่ 20 มิถุนายน 2531  
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดตรัง  
ประวัติการศึกษา วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ตำแหน่งปัจจุบัน -  
สถานที่ทำงานปัจจุบัน -  
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการ  
ตกตะกอนทางเคมีด้วยเครื่องกำเนิดประจุไฟฟ้า  
ทุนการศึกษาที่ได้รับ -