



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นสารช่วยสร้างตะกอนและลดการใช้ปริมาณสารส้ม

Recycle of Sludge from Water Supply Treatment System for Using as Coagulant Aid and Reducing of Alum Dose

นามผู้วิจัย นางสาวธมลวรรณ ชูประจง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr.Ing)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ไพโรจน์ บวรเจดิกิจ, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบศิริ มทวีสยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นสารช่วยสร้างตะกอนและลดการใช้
ปริมาณสารส้ม

Recycle of Sludge from Water Supply Treatment System for Using as Coagulant Aid and
Reducing of Alum Dose

โดย

นางสาวธมลวรรณ ชูประจง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ธมลวรรณ ชูประจง 2555: การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นสารช่วย
สร้างตะกอนและลดการใช้ปริมาณสารส้ม ปริณญูวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr.Ing. 135 หน้า

ในกระบวนการผลิตน้ำประปาทั่วไปใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารส้มเป็นสารจับ
ตะกอน ก่อให้เกิดปริมาณตะกอนส่วนเกินเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงนำตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ
Solids Contact Clarifier และตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon) ในกระบวนการผลิตน้ำประปากลับมาใช้
ประโยชน์ใหม่ เป็นสารช่วยจับตะกอน (Coagulant aid) เนื่องจากตะกอนเหล่านี้มีปริมาณสารส้มคงเหลือ
(Alum residual) โดยศึกษาด้วยวิธี Jar Test เมื่อใช้ตะกอนร่วมกับสารส้มซึ่งเป็นสารจับตะกอนจะช่วยลดปริมาณ
สารส้มที่ใช้ (Coagulant) และลดค่าใช้จ่ายของสารเคมีได้ ตะกอนดังกล่าวจะเพิ่มมวลของของแข็งแขวนลอย
และความขุ่นของน้ำดิบ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งน้ำดิบมีค่าความขุ่นต่ำ

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้สารส้มมาใช้เป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1,
47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับ
ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.04%, 97.59%, 98.16%, 98.06% และ 98.10% ตามลำดับ เมื่อนำ
ตะกอนสดกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 23, 50, 64, 55 และ
42.5 mg/l ตามลำดับ ปริมาณตะกอนสดที่เหมาะสมมีค่า 292, 412, 429, 345 และ 275 mg/l ตามลำดับ
ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.41%, 97.81%, 98.67%, 98.68 และ 98.65% ตามลำดับ เมื่อนำตะกอน
แห้งกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 28, 54, 68, 62 และ 50
mg/l ตามลำดับ ปริมาณตะกอนแห้งที่เหมาะสมมีค่า 408, 340, 340, 374 และ 442 mg/l ประสิทธิภาพในการ
กำจัดความขุ่นมีค่า 93.14%, 97.74%, 98.40%, 98.60% และ 98.40% ตามลำดับ การใช้ตะกอนสดและตะกอน
แห้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มได้ โรงผลิตน้ำประปาบางเขน มีถังตกตะกอนแบบ Solids contact
clarifiers จำนวน 18 ถัง มีอัตราการผลิตถังละ 200,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน รวมเป็นอัตราการผลิตทั้งสิ้น มีค่า 3.6
ล้านลูกบาศก์เมตร/วัน จากการทดลองพบว่าเมื่อมีปริมาณการใช้สารส้มในกระบวนการผลิตน้ำประปาลดลง
สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มได้ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว ค่าใช้จ่ายในการ
ใช้สารส้มมีค่า 972,000, 1,836,000, 1,944,000, 1,908,000, และ 1,548,000 บาท/วัน ตามลำดับ กรณีใช้ตะกอนสด
เป็นสารช่วยจับตะกอน ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มลดลง 324,000, 432,000, 180,000, 396,000 และ 360,000
บาท/วัน ตามลำดับ กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มมีลดลง 180,000,
324,000, 72,000, 190,000 และ 144,000 บาท/วัน ตามลำดับ

Thamonwan Chooprajong 2012: Recycle of Sludge from Water Supply Treatment System for Using as Coagulant Aid and Reducing of Alum Dose. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Mongkol Damrongsri, Dr.Ing. 135 pages.

Generally, water supply treatment process has used alum as coagulant in coagulation process. Water supply treatment process produces a large amount of sludge from process. The sludge from solid contact clarifier called wet sludge and sludge lagoon called dry sludge from water supply treatment process to be used again as a coagulant aid substance because of alum residual is composed in its characteristic. In this study uses Jar Test method. From this reason, recovered sludges will be used as coagulant aid for this concerning. In addition to water supply treatment process; alum doses are expected to decrease as well as the reduction of chemical cost. This sludge will increase mass of suspended solids and turbidity of raw water which increase efficiency of chemical coagulation in drought weather that have low turbidity.

In this study, showed that turbidity of raw water samples were 19.1, 46.1, 47.5, 53.0 and 87.9 NTU. The optimum alum doses were 35.5, 66.5, 70, 69 and 55 mg/l respectively when used only alum. The efficiency of removal turbidity were 92.04%, 97.59%, 98.16%, 98.06% and 98.10% respectively than using only alum as coagulant. Optimum alum doses were 23, 50, 64, 55 and 42.5 mg/l 5 mg/l respectively when used wet sludge as coagulant aid with alum. Optimum wet sludge dose were 292, 412, 429, 345 and 275 mg/l respectively. The efficiency of removal turbidity were 92.41%, 97.81%, 98.67%, 98.68 and 98.65% respectively. Optimum alum doses were 28, 54, 71, 62 and 50 mg/l respectively when used dry sludge as coagulant aid with alum. Optimum dry sludge dose were 408, 340, 340, 374 and 442 mg/l respectively. The efficiency of removal turbidity were 93.14%, 97.74%, 98.40%, 98.60% and 98.40% respectively. The usage of wet sludge and dry dry sludge can reduce the cost of alum. Water supply treatment plant at Bangkok have Solids contact clarifier 18 tanks with capacity 200,000 cubic meters/day for each tank. Rate of water production is 3.6 million cubic meters/day. Cost of alum when using only alum as coagulant were 972,000, 1,836,000, 1,944,000, 1,908,000, and 1,548,000 bath/day respectively. Cost of alum when using wet sludge as coagulant aid is decreasing 324,000, 432,000, 180,000, 396,000 and 360,000 bath/day respectively. Cost of alum when using dry sludge as coagulant aid is decreasing 180,000, 324,000, 72,000, 190,000 and 144,000 bath/day respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มงคล คำรงค์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ดร.พริกานต์ บรรเจิดกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย
ตลอดจนให้คำปรึกษาและชี้แนะข้อบกพร่องของงานวิจัย ตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้
งานวิจัย และวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน
รวมทั้งให้กำลังใจ ตลอดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มศึกษา ในขณะที่กำลังศึกษาจนถึงการทำวิทยานิพนธ์จน
สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชลวรรณ ชูประจง

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำสำคัญและความหมาย	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	26
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก หลักการทำงานของถังตกตะกอนแบบ Solid Contact Clarifier	62
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ตะกอนสดและตะกอนแห้ง	68
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดิบ	86
ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์และข้อมูลการทำ Jar Test	96
ภาคผนวก จ ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มในการผลิตน้ำประปา	128
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	135

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง	9
2	ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว	28
3	ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว	34
4	ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน	37
5	ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม	41
6	ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน	45
7	ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม	49

ตารางผนวกที่

ข1	ความหนาแน่นรวมของตะกอนแห้ง	72
ข2	ข้อมูลของ อุณหภูมิและน้ำหนักของขวดที่มีน้ำ	75
ข3	ความถ่วงจำเพาะของตะกอนแห้ง	76
ข4	ค่าความชื้นของตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน	78
ข5	ข้อมูลค่าพีเอชของตะกอนสดและตะกอนแห้ง	80
ข6	ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ของตะกอนสด	82
ข7	ข้อมูลความหนาแน่นของตะกอนสด	84
ข8	ข้อมูลความถ่วงจำเพาะของตะกอนสด	85
ข9	ข้อมูลน้ำหนักจำเพาะของตะกอนสด	85
ค1	ข้อมูลสภาพต่างของตัวอย่างน้ำดิบ	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก2	ข้อมูลค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำดิบ	93
ค3	ข้อมูลค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบ	95
ง1	ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีของน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ชุดที่ 1	100
ง2	ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังจากทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอน ชุดที่ 1	102
ง3	ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนสด ชุดที่ 1	104
ง4	ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนแห้ง ชุดที่ 1	107
ง5	ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีของน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ชุดที่ 2	110
ง6	ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังจากทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอน ชุดที่ 2	112
ง7	ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนสด ชุดที่ 2	114
ง8	ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนแห้ง ชุดที่ 2	117

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตน้ำประปา	4
2	การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ	12
3	หลักการของถังกวนเร็ว (Rapid Mixing)	14
4	หลักการของถังกวนช้า (Slow Mixing)	17
5	เครื่องมือ Jar Test	23
6	วิธีดำเนินการทดลอง	24
7	ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU	31
8	ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU	31
9	ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU	32
10	ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU	32
11	ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU	33
12	การเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนที่ค่าความขุ่นต่างๆของน้ำดิบ	44
13	การเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนที่ค่าความขุ่นต่างๆของน้ำดิบ	52
14	การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนสดและตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม	53

ภาพผนวกที่

ข1	ตัวอย่างตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier	69
ข2	ตัวอย่างตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon)	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข3 การชั่งตะกอนแห้งด้วยตาชั่ง 2 แขน	71
ข4 การนำตะกอนแห้งที่จุ่มพาราฟินผิลงมให้แห้ง	71
ข5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มและอุณหภูมิ	76
ข6 วิธีหาค่า SS ของตะกอนสด	82
ง1 การตกตะกอนทางเคมีน้ำตัวอย่างที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 35.5 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะการกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะการตกตะกอน	120
ง2 การตกตะกอนทางเคมีน้ำตัวอย่างที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 60.5 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะการกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะการตกตะกอน	120
ง3 การตกตะกอนทางเคมีน้ำตัวอย่างที่ค่าความขุ่น 47.5 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 70 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะการกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะการตกตะกอน	121
ง4 การตกตะกอนทางเคมีน้ำตัวอย่างที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 69.0 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะการกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะการตกตะกอน	121
ง5 การตกตะกอนทางเคมีน้ำตัวอย่างที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 55 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะการกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะการตกตะกอน	122
ง6 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU เมื่อ โดยใช้ปริมาณสารส้ม 23 mg/l และปริมาณตะกอนสด 292 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	122

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง7 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 50 mg/l และปริมาณตะกอนสด 412 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	123
ง8 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.5 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 64 mg/l และปริมาณตะกอนสด 429 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	123
ง9 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 55 mg/l และปริมาณตะกอนสด 345 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	124
ง10 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 42.5 mg/l และปริมาณตะกอนสด 275 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	124
ง11 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 28 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 408 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	125
ง12 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 54 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 340 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	125
ง13 การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.5 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 68 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 340 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน	126

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

- | | | |
|-----|---|-----|
| ง14 | การตกตะกอนตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 62 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 374 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน | 126 |
| ง15 | การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 50 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 442 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน | 127 |

คำสำคัญและความหมาย

Alum (สารส้ม)	=	สารส้มที่ใช้ในการทดลองใช้สารส้ม 50% W/V และเตรียม stock 1% W/V
Alum Residual (สารส้มคงเหลือ)	=	ปริมาณสารส้มคงเหลือในตะกอนสดและตะกอนแห้งจากระบบผลิตน้ำประปา
Coagulation (กระบวนการสร้างตะกอน)	=	กระบวนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำ
Coagulant (สารจับตะกอน)	=	สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้เกิดตะกอนหรือรวมตัวของตะกอน เช่น สารส้ม (Alum) ปูนขาว (Lime) เฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นต้น
Coagulant Aid (สารช่วยจับตะกอน)	=	สารซึ่งช่วยให้การจับตะกอนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่น ผงดินเหนียว โพลีเมอร์ เป็นต้น ช่วยในการเกิดตะกอนได้ดี กรณีมีสารแขวนลอยต่ำ
Dry Sludge (ตะกอนแห้ง)	=	ตะกอนจากบ่อกักตะกอน (Lagoon) ตะกอนมีค่าความชื้น 31.96%
Flocculation (กระบวนการรวมตะกอน)	=	กระบวนการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว เพื่อให้จับเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น
Jar Test (วิธีจาร์เทส)	=	วิธีการหรือเครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดสอบประสิทธิภาพในการตกตะกอน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของพีเอช และปริมาณสารส้ม
Optimum Alum Dose	=	ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม
Optimum Wet Sludge	=	ปริมาณตะกอนสดที่เหมาะสม
Optimum Dry Sludge	=	ปริมาณตะกอนแห้งที่เหมาะสม
Sedimentation (กระบวนการตกตะกอน)	=	กระบวนการที่แยกอนุภาคแขวนลอยที่อยู่ในน้ำออกจากของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการลดความเร็วการไหลให้ต่ำลงจนถึงจุดที่สารแขวนลอยนั้นจะจมลง

คำสำคัญและความหมาย (ต่อ)

Sludge Lagoon (บ่อกักตะกอน)	=	บ่อซึ่งทำหน้าที่เก็บตะกอนที่มาจากถังตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา
Solids Contact Clarifier (ถังตกตะกอน)	=	เป็นถังกลมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบริเวณตรงกลางถังเป็นส่วนที่ใช้สมานตะกอนและส่วนวงกลมด้านนอกเป็นส่วนที่ใช้สำหรับตกตะกอน
Wet Sludge (ตะกอนสด)	=	ตะกอนซึ่งนำมาจากก้นถังของถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier ในระบบผลิตน้ำประปา

การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นสารช่วยสร้างตะกอนและลดการใช้ปริมาณสารส้ม

Recycle of Sludge from Water Supply Treatment System for Using as Coagulant Aid and Reducing of Alum Dose

คำนำ

การผลิตน้ำประปาถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็น น้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปามาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยต้องมีการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของน้ำดิบอย่างสม่ำเสมอ น้ำดิบที่นำมาผลิตต้องไม่มีสี กลิ่น รสและสิ่งสกปรกปนเปื้อนกว่าที่กำหนดและต้องมีปริมาณเพียงพอที่นำมาผลิตประปาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากน้ำประปาเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ซึ่งต้องผลิตและแจกจ่ายไปตามความต้องการต่างๆ เช่น แหล่งชุมชน อาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น น้ำประปาที่ผลิตได้จึงต้องได้มาตรฐาน คุณภาพและเพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นเหลือตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดและต้องเสียพื้นที่มากที่ใช้ในการฝังกลบตะกอนเหล่านี้อีกด้วย

Ishikawa et al. (2007) ได้กล่าวว่า ในกระบวนการผลิตน้ำประปามีกระบวนการที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (Flocculation) และกระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) ซึ่งอนุภาคนาโนขนาดเล็กทั่วไป ขนาดอยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-3} (มันสิน, 2537) ไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเอง เนื่องจากอนุภาคนาโนมีประจุบางครั้งเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคที่มีประจุเดียวกัน ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆมารวมตัวกันและจับตัวกันเป็นก้อนต้องมีการเติมสารที่ทำให้ตกตะกอนลงไป (Chow et al., 2008) จึงมีกรรมวิธีการแยกตะกอนออกจากน้ำดิบ โดยมีการเติมสารเคมีบางชนิดลงในน้ำดิบ เช่น ปูนขาว คลอรีน สารส้ม โพลิอะลูมินัมคลอไรด์และโพลิเมอร์ (การประปานครหลวง, 2555) ซึ่งในกรณีนี้ใช้สารส้ม (Alum) เป็นตัวสร้างตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีประสิทธิภาพ และหาซื้อง่าย ซึ่งกลไกในกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) มี 2 ขั้นตอน คือ ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์และการให้อนุภาคคอลลอยด์ทั้งหมดเสถียรภาพเคลื่อนที่มาสัมผัสและสัมผัสกันเป็นกลุ่มก้อน กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (Flocculation) เป็นกระบวนการที่สร้างสัมผัสระหว่าง

อนุภาคที่ไม่เสถียรภาพแล้ว เพื่อให้เกาะจับกันเป็นก้อน มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการกวนน้ำให้เคลื่อนที่ ทำให้อนุภาคมาสัมผัสกันได้ กระบวนการตกตะกอนเป็นกระบวนการตกตะกอนฟล็อกที่ได้จาก กระบวนการ ฟล็อกคูเลชัน เพื่อแยกตะกอนกับน้ำใส ซึ่งตะกอนที่เกิดจากสารส้มเป็นตัวสร้าง ตะกอนจะมีปริมาณมากกว่าสารเคมีชนิดอื่น (รัชฎาวรรณ, 2540) อย่างไรก็ตามในการทำให้อนุภาค ของคอลลอยด์จับตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนนั้นต้องใช้ปริมาณสารส้มเป็นจำนวนมาก ทำให้ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ อีกทั้งในกระบวนการผลิตน้ำประปาเหลือตะกอนที่เกิดจาก กระบวนการผลิต จึงได้มีการนำตะกอนเหล่านี้มาเป็นตัวช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) เพื่อให้ การจับตัวเป็นตะกอนเกิดขึ้นได้ดีขึ้นและใช้ปริมาณสารสมน้อยลง

ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมของตะกอนจาก Solid contact และตะกอน จาก Sludge Lagoon ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อนำตะกอนเหล่านี้มาเป็นสารช่วย สร้างตะกอน (Coagulant aid) ร่วมกับสารส้มซึ่งเป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) เพื่อลดปริมาณ การใช้สารส้มในกระบวนการผลิตและอาจสามารถลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย (Jiménez et al., 2007) ซึ่งจากปัจจุบันข้อมูลของการผลิตน้ำประปาจากประปานครหลวงจะเกิดตะกอนที่ต้อง ทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปา คือ 126,000 ตันต่อปี ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบตะกอน ส่วนเกินเหล่านี้เป็นจำนวนมาก หากสามารถลดปริมาณตะกอนได้จะสามารถทำให้ลดค่าใช้จ่าย ดังกล่าวได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่นำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาเป็นสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid)
2. เพื่อศึกษาปริมาณตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่เหมาะสม นำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตน้ำประปา
3. เพื่อศึกษาการลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม (Alum) ในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ขอบเขตของการศึกษา

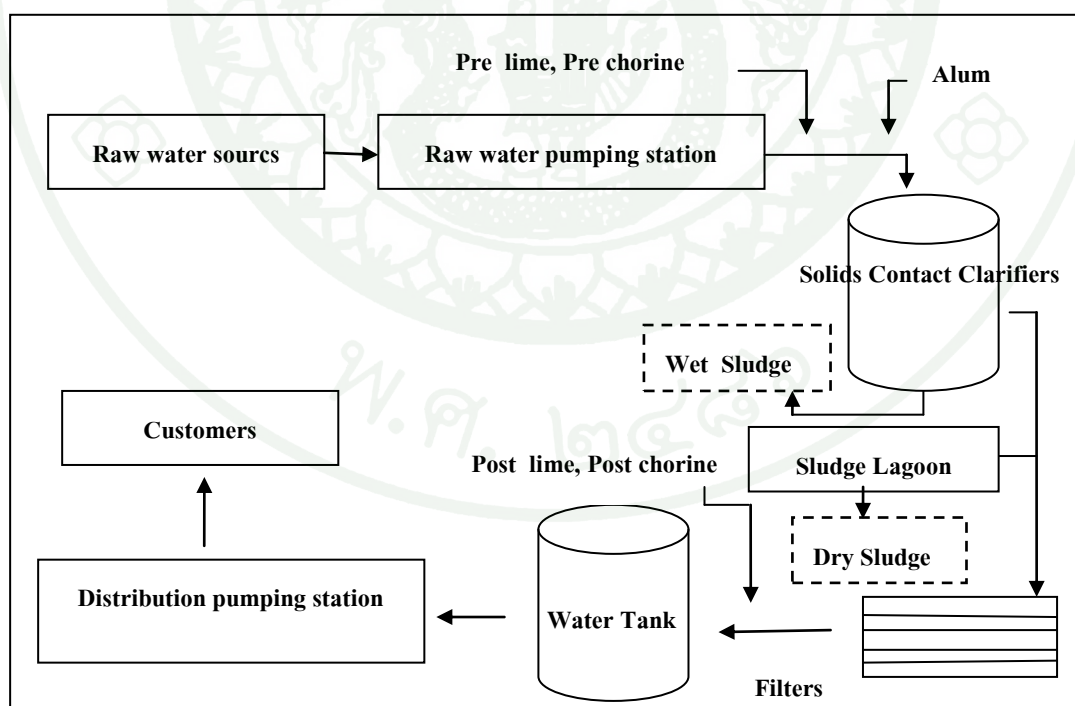
1. ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและการนำตะกอนส่วนเกินจากการผลิตกลับมาใช้ประโยชน์
2. ศึกษาปริมาณตะกอนสดและตะกอนแห้งที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้เป็นสารช่วยจับตกตะกอน (Coagulant aid) เพื่อลดปริมาณการใช้สารส้ม (Alum)

การตรวจเอกสาร

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำประปาเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ทั้งใช้ในการดำรงชีวิตประจำวันใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ การผลิตน้ำประปานั้นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เริ่มจากการนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบมาผ่านกระบวนการตกตะกอน การกรอง การฆ่าเชื้อโรค การตรวจสอบคุณภาพและการแจกจ่ายไปยังภาคส่วนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1 ดังนั้นการผลิตน้ำประปาจึงจำเป็นต้องให้ได้มาตรฐานและมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการในภาคส่วนต่างๆ เช่น แหล่งชุมชนและอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการศึกษาถึงกระบวนการผลิตน้ำประปา กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ฟลอคคูเลชัน (Flocculation) การตกตะกอน (Sedimentation) และการนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้ประโยชน์ (การประปานครหลวง, 2555)

1. กระบวนการผลิตน้ำประปา



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

1.1. ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

1.1.1. น้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปามาจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่นที่จัดเตรียมไว้ ซึ่งอาจจะเป็นน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน น้ำกร่อยหรือน้ำทะเล โดยจะมีการตรวจสอบวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพของน้ำดิบอย่างสม่ำเสมอ น้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนดและต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง ในกรณีที่ใช้แหล่งน้ำผิวดินเพื่อการผลิตน้ำประปา คุณภาพน้ำดิบต้องได้มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 หรือมาตรฐานน้ำบาดาลเพื่อใช้บริโภคได้ ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551

1.1.2. ตะแกรงดักขยะ ก่อนที่จะลำเลียงน้ำดิบเข้าสู่ระบบการผลิตต้องผ่านตะแกรงดักขยะชนิดหยาบและชนิดละเอียด

1.1.2.1. ตะแกรงดักขยะชนิดหยาบ (Course Screen or Bar Screen) มีขนาดช่องเปิดมากกว่า 20- 30 มิลลิเมตรและขนาดแท่งเหล็กหนา 10 มิลลิเมตร

1.1.2.2. ตะแกรงดักขยะชนิดละเอียด (Fine Screen) มีขนาดช่องเปิด มากกว่า 0.8- 6 มิลลิเมตรและมี Head Loss 15 – 80 เซนติเมตร

1.1.3. ปั๊มสูบน้ำดิบ เป็นปั๊มชนิดแรงดันต่ำ (Low Lift Pump) ซึ่งจะทำให้การสูบน้ำดิบจาก แหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่นที่จัดเตรียมไว้เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต

1.1.4. กระบวนการกวนเร็ว (Rapid Mixing) หรือกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) คือ กระบวนการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเพื่อทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์และให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Particles) โดยใช้พลังงาน (McCurdy et al., 2004) ซึ่งขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ทำให้เกิดการหมุนวนเวียน เพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มีการจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งขั้นตอนการออกแบบถึงกวนเร็ว

1.1.4.1. ความเร็วเกรเดียนท์ (G: velocity gradient มีหน่วยเป็นต่อวินาที) G ควรอยู่ในช่วง 200 – 500 วินาที⁻¹

1.1.4.2. ระยะเวลาสัมผัส (T: contact time) T ควรอยู่ในช่วง 1 – 5 นาที

1.1.5. กระบวนการกวนช้า (Slow Mixing) หรือกระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) คือ กระบวนการที่เกิดหลังจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน เป็นการรวมตัวกันของกลุ่มอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกัน เพื่อรวมตัวเป็นกลุ่มตะกอนขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่ายโดยใช้พลังงาน ถังกวนช้า (Slow Mixing Tank) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่กวนให้ปุยตะกอน (floc) จับตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นอาจมีการเติมสารช่วยตกตะกอน (coagulant aid) ด้วย ซึ่งพารามิเตอร์สำหรับออกแบบและควบคุมถังกวนช้ามีดังนี้

1.1.5.1. ความเร็วเกรเดียนท์ (G: velocity gradient มีหน่วยเป็นต่อวินาที) G ควรอยู่ในช่วง 20 – 100 วินาที⁻¹

1.1.5.2. ระยะเวลาสัมผัส (T: contact time) T ควรอยู่ในช่วง 20 – 40 นาที

1.1.6. กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) คือ กระบวนการที่แยกอนุภาคแขวนลอยที่อยู่ในน้ำออกจากของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการลดความเร็วการไหลให้ต่ำลงจนถึงจุดที่สารแขวนลอยนั้นจะจมลง ซึ่งขั้นตอนนี้จะรับน้ำจากกระบวนการรวมตะกอน นำน้ำผสมตะกอนเหล่านั้นให้เข้าสู่ถังตะกอน เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะตกลงสู่ก้นถังและถูกดูดทิ้ง ส่วนน้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่กระบวนการต่อไป

1.1.7. กระบวนการกรอง (Filtration) คือ กระบวนการที่แยกอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กออกจากน้ำโดยผ่านน้ำเข้าไปยังชั้นกรองซึ่งมีรูพรุน วัสดุกรองที่นิยมใช้ ได้แก่ ทรายแม่น้ำหรือแอนทราไซต์ ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำและให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมาก แต่จะมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่นและทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ

1.1.8. กระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) คือ กระบวนการฆ่าเชื้อโรคที่อยู่ในน้ำ โดยการฆ่าจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ ซึ่งน้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วมีความใส แต่อาจมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้ คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกว่า น้ำประปา สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส (ถังเก็บน้ำสะอาด) เพื่อจัดการบริการต่อไป

1.1.9. การสูบน้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้นต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำ โดยส่งผ่านไปตามเส้นท่อ ดังนั้นการสูบน้ำจึงมีความจำเป็น โดยจะส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียงและในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำเพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง

1.2. เงื่อนไขการควบคุมระบบผลิตน้ำ

1.2.1. น้ำดิบ (Raw Water Quality) คุณภาพน้ำดิบต้องได้มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

1.2.2. น้ำออกจากถังตกตะกอน (Effluent Water Quality from Clarifier Tank)

1.2.2.1. Turbidity 7 ± 3 NTU

1.2.2.2. pH 6.5 – 8.5

1.2.2.3. Alkalinity ≥ 50 mg/l

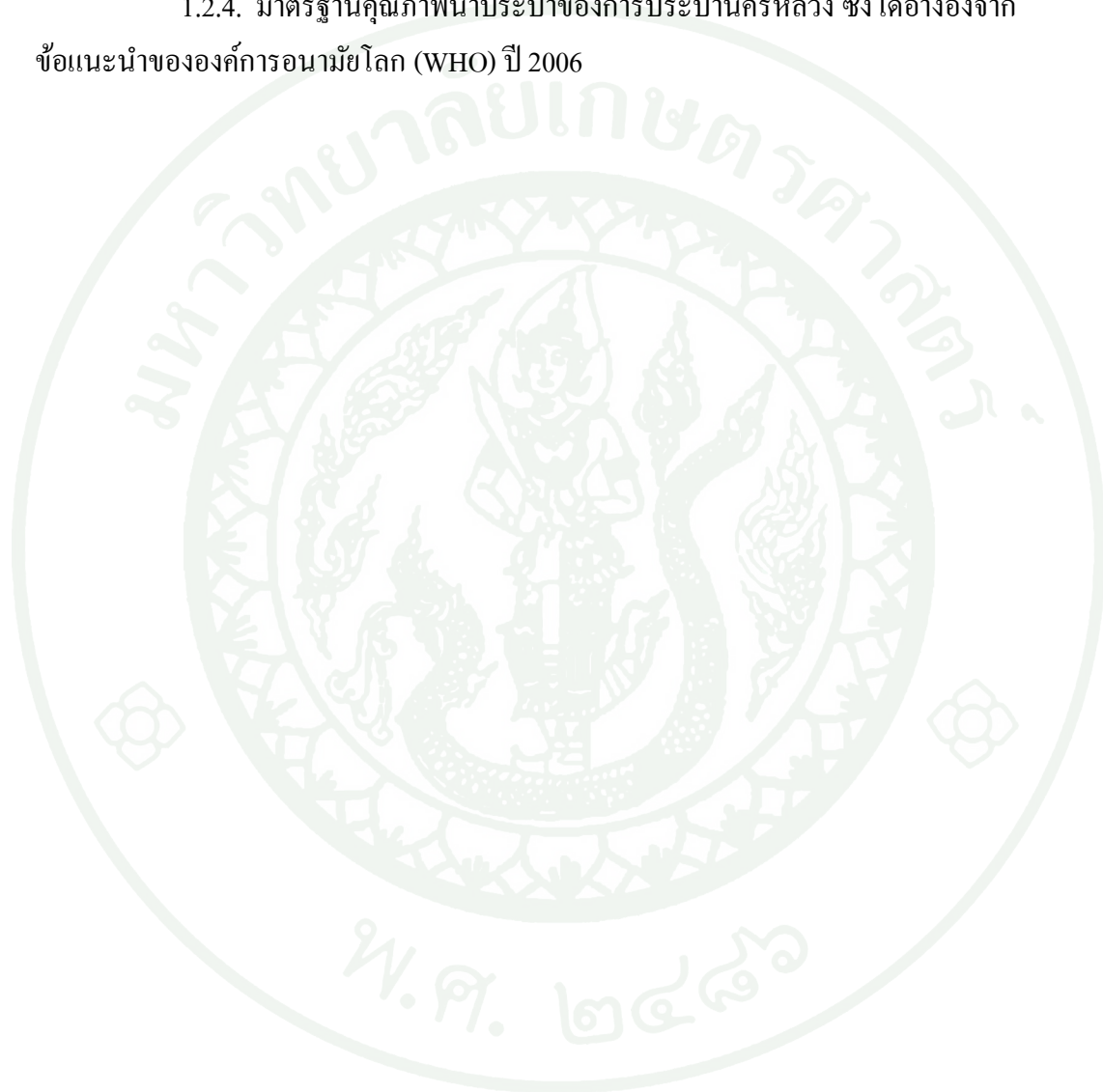
1.2.3. น้ำออกจากถังกรอง (Effluent Water Quality from Filter Tank)

1.2.3.1. Turbidity ≤ 5 NTU

1.2.3.2. pH 7.5 ± 1

1.2.3.3. สี ≤ 15 TCU

1.2.4. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง ซึ่งได้อ้างอิงจาก
ข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2006



ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	ค่าแนะนำ (Guideline value)
1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological quality)		
แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E.coli)	พบ-ไม่พบ / 100 ml	ไม่พบ / 100ml
2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physical and Chemical quality)		
สี ปรากฏ (Apperance colour)	True colour unit	15
ความขุ่น (Turbity)	NTU	5
รส และ กลิ่น (Taste and odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
สารหนู (Arsenic)	mg/l	0.01
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/l	0.07
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
ปรอท (Mercury)	mg/l	0.006
เซเลเนียม (Selenium)	mg/l	0.01
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/l	1.5
คลอไรด์ (Chloride)	mg/l	250
ทองแดง (Copper)	mg/l	2
เหล็ก (Iron)	mg/l	0.3
แมงกานีส (Manganese)	mg/l	0.4
อลูมิเนียม (Aluminium)	mg/l	0.1
โซเดียม (Sodium)	mg/l	200
ซัลเฟต (Sulfate)	mg/l	250

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ (Guideline value)
สังกะสี (Zinc)	mg/l	3
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide)	mg/l	0.05
ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	1,000
ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO_3^-)	mg/l	50
ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (Nitrate as NO_2^-)	mg/l	3
คลอรีนอิสระคงเหลือ (Free residual chlorine)	mg/l	> 0.2
ไตรคลอโรอีทีน (Trichloroethene)	mg/l	0.02
เตตราคลอโรอีทีน (Tetrachloroethene)	mg/l	0.04
ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)	mg/l	0.001
3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)		
อัลดรินและดิลดริน (Aldrin / Dieldrin)	$\mu\text{g/l}$	0.03
คลอเดน (Chlordane)	$\mu\text{g/l}$	0.2
ดีดีที (DDT)	$\mu\text{g/l}$	1
สอง,สี่-ดี (2, 4 - D)	$\mu\text{g/l}$	30
เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์		
(Heptachlor and Heptachlor epoxide)	$\mu\text{g/l}$	0.03
เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	$\mu\text{g/l}$	1
ลินเดน (Lindane)	$\mu\text{g/l}$	2
เมททอกซีคลอ (Methoxychlor)	$\mu\text{g/l}$	20

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ (Guideline value)
เพนตาคลอโรฟีนอล Pentachlorophenol	µg/l	9
4. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes)		1
Sum of the ratio		
คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl ₃)	mg/l	0.3
โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, CHBrCl ₂)	mg/l	0.06
ไดโบรโมไดคลอโรมีเทน (Dibromodichloromethane, CHBr ₂ Cl)	mg/l	0.1
โบรโมฟอร์ม (Bromoform, CHBr ₃)	mg/l	0.1
5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)		
ความเข้มรังสีแอลฟา (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความเข้มรังสีเบต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

ที่มา: การประปานครหลวง (2555)

2. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ฟลอคกูเลชัน (Flocculation) และการตกตะกอน (Sedimentation)

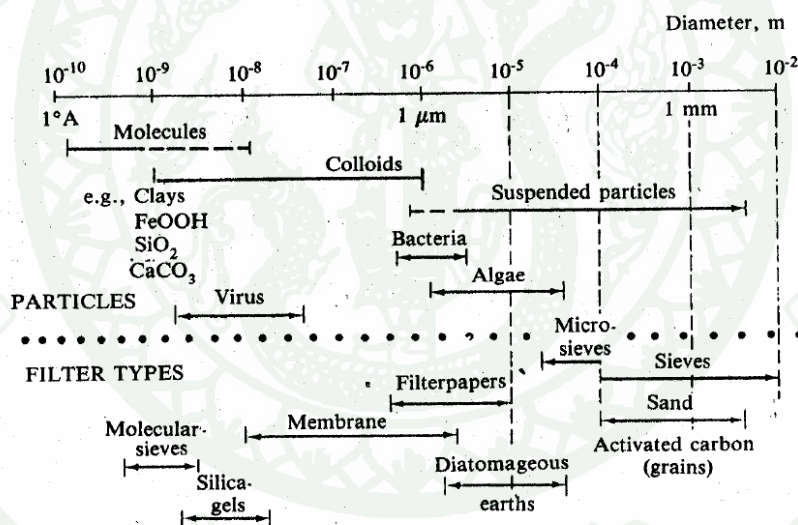
2.1. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

กระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Jiménez et al., 2007) อนุภาคขนาดเล็ก โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มม. ดังภาพที่ 2 เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด

นอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจำตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ(Hydrophilic) จะมีประจุบวกเช่น สารอินทรีย์,สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียวและเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง (มันสิน, 2537) ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและจับกันเป็นก้อนจะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ

2.1.1. ขั้นตอนของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

2.1.1.1. ทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ โดยกลไกวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้



ภาพที่ 2 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ (มันสิน, 2537)

ที่มา: มันสิน (2537)

2.1.1.1.1. กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) กลไกนี้เป็นการทำลายเสถียรภาพทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ โดยลดค่า zeta potential ลงจากการเพิ่ม

จำนวนไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับประจุอนุภาค ผลที่ได้คือ ชั้นกระจายที่มีความหนาลดลง ทำให้ค่า zeta potential ลดลงด้วย (รัชฎาวรรณ, 2540)

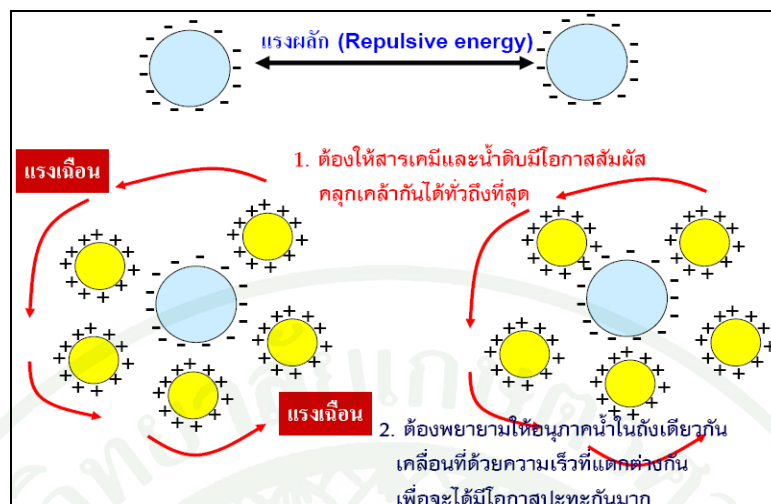
2.1.1.1.2. กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) โดยใช้สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง (มันสิน, 2537) ในกรณีใช้สารเคมี เช่น สารส้ม (Alum) ช่วยในการจับตะกอนซึ่งเกิดในกระบวนการกวนเร็ว (Rapid Mixing) ดังภาพที่ 3

2.1.1.1.3. กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นๆเพื่อทำให้เกิดฟล็อก (มันสิน, 2537)

2.1.1.2. ให้อนุภาคคอลลอยด์ทั้งหมดเสถียรภาพ แล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาค มี 2 วิธี (รัชฎาวรรณ, 2540) คือ

2.1.1.2.1. Orthokinetic flocculation คือ การทำให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสสัมผัสกัน โดยอาศัยแรงหรือพลังจากภายนอก เช่น อุปกรณ์เครื่องกลต่างๆ กวนน้ำให้เกิดความปั่นป่วน ซึ่งในแต่ละจุดความเร็วจะไม่เท่ากันทำให้อนุภาคสัมผัสได้ดี

2.1.1.2.2. Perikinetic flocculation เป็นการสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ที่อาจเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดจากอนุภาคคอลลอยด์ถูกชนด้วยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นกับอุณหภูมิด้วย

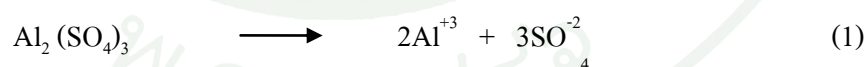


ภาพที่ 3 หลักการของถังกวนเร็ว (Rapid Mixing)

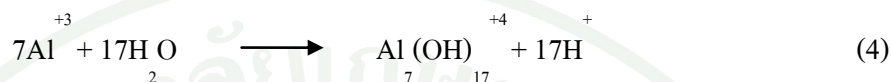
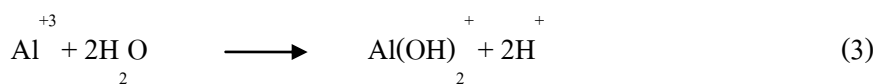
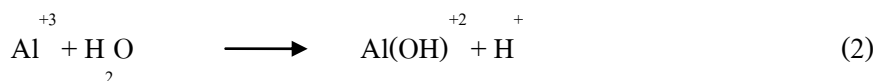
ที่มา: การประปานครหลวง (2555)

2.1.2. กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

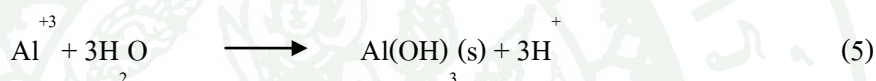
สารส้มเป็นโคแอกกูเลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ ซึ่งโดยปกติ x มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยา



เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก $Al_2(SO_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $Al_2(OH)_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการต่อไปนี้



ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก Al(OH)_3



ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก Al^{+3} ถึง Al(OH)_3 สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Zero Point of Charge) ของ $\text{Al(OH)}_3(\text{s})$ จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น Al(OH)_4^- , Al(OH)_5^{2-} ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะสะเทินทางไฟฟ้าของ $\text{Al(OH)}_3(\text{s})$ ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกเช่น Al(OH)^{+2} , Al(OH)_2^+ , $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$ (มันสิน, 2537)

2.1.3. กลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมินัมคลอไรด์

โพลีอลูมินัมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride, PAC) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา โดยเป็นที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่นและบางประเทศในทวีปยุโรป PAC ถูกเตรียมขึ้น โดยอลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 นี้จะทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น AlCl_3 หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลิเมอร์ ซึ่งเมื่อเติมสารส้มลงไป สารละลายนี้ สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ

Al_2O_3 ให้เหลือ 10-11% และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อทำหน้าที่เชื่อมระหว่างอะลูมิเนียม 2 อะตอม สูตรทั่วไปของ PAC คือ $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ (มันสิน, 2537)

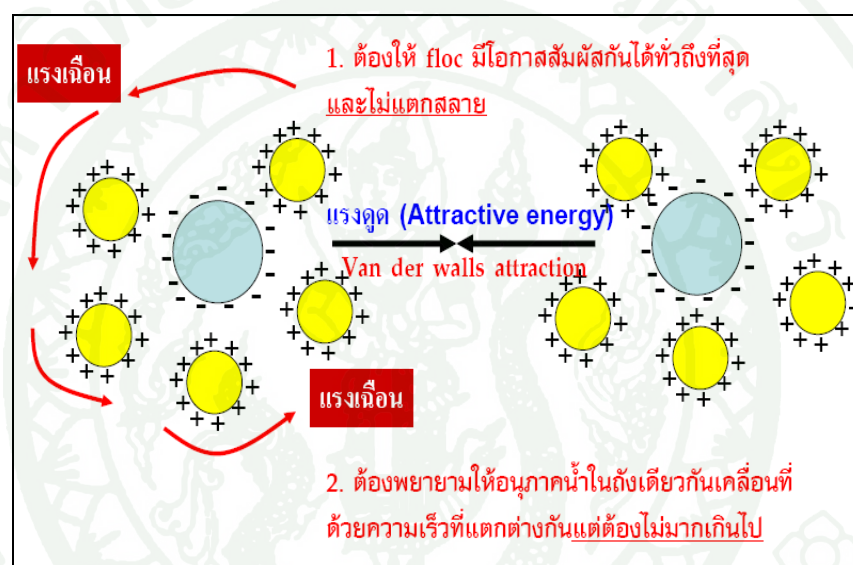
เมื่อละลาย PAC ละลายน้ำไฮโดรไลซ์ทันที ได้สารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{7+}$ หรือ Al^{3+} (Yan et al., 2008) ซึ่งการรวมตัวเป็นอนุภาคนิวเมอเชิงซ้อนตัวนี้ขึ้นอยู่กับ การรวมตัวของค่ากับสารละลายอะลูมิเนียม, ชนิดของความเข้มข้นของค่า, ความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์และอุณหภูมิ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ปริมาณของค่าที่เติมลงไปและระดับของความปั่นกลาง

2.1.4. สารสร้างตะกอน (Coagulants) หมายถึง สารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยาและทำให้เกิดตะกอนหรือรวมตัวของตะกอน เช่น Alum, Lime, $FeSO_4$, $FeCl_3$ เป็นต้น (มันสิน, 2537)

2.1.5. การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation aid) หมายถึง สารเคมีที่เติมพร้อมๆ กับโคแอกกูแลนต์เพื่อช่วยให้เกิดโคแอกกูเลชันได้ดี สารเคมีที่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดมีหลายชนิดซึ่งแตกต่างกันอย่างกว้างขวางแต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Activated Silica สารอินทรีย์โพลีเมอร์ต่างๆ ดินเหนียว (มันสิน, 2537) ในสารช่วยสร้างตะกอนสารโพลีเมอร์เป็นสิ่งที่นิยมมากที่สุด สารโพลีเมอร์เป็นลูกโซ่ของโมโนโพลีเมอร์หลายๆตัวเรียงกันอย่างมีระเบียบ อาจจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ มีการจำแนกโพลีเมอร์ตามประจุ คือ โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบ และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ประจุของโพลีเมอร์เกิดจาก function group ต่างๆ หลายชนิด เช่น คาร์บอกซิลลิกแอซิดและสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของน้ำ เมื่อมีการเติมโพลีเมอร์ลงไป ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนมาสัมผัสและยึดติดกัน (โอภาส, 2546)

2.1.6. การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน จำเป็นต้องรู้ชนิดและปริมาณสารที่เหมาะสมตลอดจนสถานะต่างๆ ที่เอื้ออำนวยต่อการโคแอกกูเลชันซึ่งได้แก่ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วเกรเดียนต์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ ความก้าวหน้าของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโคแอกกูเลชันยังไม่สามารถจะใช้กำหนดและควบคุมตัวแปรต่างๆดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีผู้พยายามพัฒนาวิธีควบคุมโคแอกกูเลชันนอกเหนือจากการทดลองจาร์เจสได้แก่วิธีการควบคุมโดยวัดศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) การควบคุมโดยวิเคราะห์หาสารโคแอกกูแลนต์ที่เหลือ (Residual Coagulant Analysis) และการควบคุมโดยการหาความสามารถในการกรอง (Filterability) เป็นต้น

2.2. ฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) เป็นขั้นตอนต่อจากโคแอกกูเลชัน เป็นการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว เพื่อให้มาเกาะจับกัน มีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีการสร้างสัมผัสให้กับอนุภาคมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำประปา คือ การกวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน ทำให้อนุภาคในน้ำส่วนต่างๆ มีโอกาสมาสัมผัสกันได้ แต่การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่เร็วเกินไป มิฉะนั้น ฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกและหลุดออกจากกันได้ อุปกรณ์ที่ใช้สร้าง ฟล็อกคูเลชันแบบนี้ เรียกว่า ถังกวนช้า ดังภาพที่ 4 เมื่อฟล็อกในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นก็พร้อมที่จะไปตกตะกอนในกระบวนการถัดไป คือ ถังตกตะกอน



ภาพที่ 4 หลักการของถังกวนช้า (Slow Mixing)

ที่มา: การประปานครหลวง (2555)

2.3. กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) หมายถึง กระบวนการที่แยกอนุภาคแขวนลอยที่อยู่ในน้ำออกจากของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการลดความเร็วการไหลให้ต่ำลงจนถึงจุดที่สารแขวนลอยนั้นจะจมลง ซึ่งขั้นตอนนี้จะรับน้ำจากกระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) นำน้ำเหล่านั้นให้เข้าสู่ถังตกตะกอนที่มีขนาดเพียงพอโดยทั่วไปมีเวลากักเก็บน้ำประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่งตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะตกลงสู่ก้นถังและถูกดูดทิ้ง ผลของการตกตะกอน คือ น้ำใส ตะกอนเหลวหรือสลัดจ์ ซึ่งการตกตะกอนในกระบวนการ

ผลิตน้ำประปา มีความมุ่งหมายเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยจากน้ำ (โสภณ, 2545) ส่วนน้ำใส
ด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.4. ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมตัวของการตกตะกอน (ปริศนา, 2545)

2.4.1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

น้ำจากแต่ละสถานที่ที่มีช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันไป ทำให้เกิดการ
รวมตัวและการตกตะกอนได้ดีแตกต่างกัน ดังนั้นการเติมสารเคมีเพื่อสร้างตะกอนควรอยู่ในค่าความ
เป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม เช่น การลดค่าความขุ่นของน้ำ โดยใช้สารส้มต้องใช้ปริมาณสารส้มน้อย
ที่สุด 50 ppm. ซึ่งเกิดได้ดีในช่วง pH 6.8-7.8 (รัชฎาวรรณ, 2540)

2.4.2. เกลืออนินทรีย์

น้ำตามธรรมชาติมักมีเกลืออนินทรีย์ละลายอยู่ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันซึ่ง
จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ระยะเวลาในการจับตัวเป็น
ตะกอน ปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีสร้างตะกอนและปริมาณสารเคมีสร้างตะกอนที่หลงเหลือ
ในน้ำ

2.4.3. ความขุ่นของน้ำ

ความขุ่นในน้ำเกิดจากเศษดินและแร่ธาตุต่างๆหรือพวกของแข็งแขวนลอยต่างๆ
เช่น อนุภาคดินเหนียว อนุภาคขนาดทรายแป้งและสิ่งมีชีวิตต่างๆ สำหรับการผลิตน้ำประปาจะต้อง
มีการเติมสารเคมีเพื่อเป็นสารสร้างตะกอนและปริมาณสารเคมีจะเพิ่มขึ้นตามความขุ่นของน้ำที่
เพิ่มขึ้น

2.4.4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาเคมี ความหนืดของน้ำ อัตราการตกตะกอนและค่าความเป็นกรด-ด่าง ถ้าอุณหภูมิตดลงจะทำให้ ความหนืดของน้ำจะเพิ่มขึ้น การเกิดปฏิกิริยาเกิดช้าและ อัตราการตกตะกอนช้าลง

2.4.5. การกวนตะกอน

การกวนเร็วทำให้สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยในน้ำได้ทั่วถึง มีผลทำให้มีการจับตัวของตะกอนได้ดีขึ้น

2.4.6. ชนิดของสารเคมีที่สร้างตะกอน

ชนิดสารเคมีสร้างตะกอน ได้แก่ อะลูมินัมซัลเฟต , ฟอรัคคอลลอยด์ , ปูนขาว และโพลิเมอร์ ซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดจะมีความสามารถที่ทำให้เกิดการรวมการตัวของตะกอนที่แตกต่างกัน (Elliott et al., 1990)

3. ปัญหาของตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

3.1. ประเด็นปัญหา

การกำจัดตะกอนดินซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยการนำน้ำดิบตามธรรมชาติจากแม่น้ำซึ่งมีสารแขวนลอยปนอยู่ มาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการฟล็อกคูเลชันและกระบวนการตกตะกอนแล้วกรองเอาดินที่ละลายอยู่ในน้ำออกจนได้แต่น้ำใส จากข้อมูลจากการประปานครหลวงพบว่าตะกอนดินที่ถูกแยกออกจากน้ำดิบเหล่านี้มีปริมาณมาก มีจำนวนมากถึงปีละ 126,000 ตัน (ตะกอนแห้ง) ทุก ๆ วันของการผลิตน้ำประปาจะมีการปล่อยตะกอนดินทิ้งออกมา ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะมีสภาพเป็นโคลนละเอียด เหลวและ ลื่น เป็นมัน และมีสารส้มและปูนขาว (สารใช้เป็นตัวเร่งการตกตะกอนน้ำ ส่วนปูนขาว ปรับสภาพน้ำเพื่อลดความเป็นกรด ป้องกันการกัดกร่อนในเส้นท่อประปา) ออกมาด้วยในปริมาณมาก ตะกอนเหลวเหล่านี้จะถูกระบายออกมาเข้าบ่อกักตะกอน (Lagoon) ปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ แล้วจะใช้เรือสูบน้ำ

เข้าบ่อดักตะกอน เพื่อทำการปรับปรุงสภาพให้เข้มข้นขึ้นอีก ส่วนน้ำที่ระบายออกจากบ่อดักและบ่อดักตะกอน เรานำกลับมาเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Recycle) หลังจากนั้นจะใช้เครื่องจักรขนย้ายไปยังลานกว้าง ๆ ที่เรียกว่าลานตากตะกอน แล้วตากตะกอนให้แห้งซึ่งในระหว่างนี้ต้องใช้รถขูด พลิกตะกอนข้างล่างขึ้นมาข้างบนเพื่อเร่งให้แห้งเร็วขึ้น สภาพของดินตะกอนที่แห้งแล้วจะมีลักษณะร่วนซุย ละเอียดเหมือนผงแป้ง จากนั้นก็จะใช้รถขูดมาตักใส่รถบรรทุกนำไปทิ้งที่อื่นซึ่งมีค่าใช้จ่ายไม่ต่ำกว่า 5 แสนบาทต่อเดือนซึ่งเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากและเสียพื้นที่การฝังกลบ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยต่างๆ ได้ทำการศึกษา การนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปากลับมาใช้ประโยชน์ ใหม่ เช่น การนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การทำคอนกรีตปูพื้น ใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนสีในน้ำกากส่าและอื่นๆ ตามข้อมูลการตรวจเอกสาร (ดูรายละเอียดตามหัวข้อ 4)

3.2. แนวทางการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้

สำหรับงานวิจัยนี้ มีแนวความคิดในการที่นำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่มีปริมาณตะกอนที่ต้องทิ้งไปเป็นจำนวนมากดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เพื่อใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) ในการผลิตน้ำประปาโดยตรง ทั้งนี้เพื่อมุ่งหวังในการลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารสร้างตะกอน (Coagulant) ในที่นี้ คือ สารส้ม (Alum) และอาจสามารถทำการลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตน้ำประปาดังกล่าวได้อีกด้วย

4. การนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปากลับมาใช้ประโยชน์

เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยการแยกตะกอนออกจากน้ำดิบ ซึ่งตะกอนเหล่านี้เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งแขวนลอยในน้ำดิบกับสารเคมีต่างๆ ตะกอนเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ เช่น

4.1. ด้านเกษตรกรรม กุลนรี (2551) ได้กล่าวไว้ว่าตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีโดยทั่วไปคล้ายดิน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นดินในการปลูกพืชได้ แต่ควรมีการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเติมลงไปด้วย เพื่อให้ธาตุอาหารครบถ้วน

4.2. ด้านอุตสาหกรรม กรณ์ชัย (2548) ได้กล่าวไว้ว่าตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถนำมาเป็นวัสดุพอลิโซลานในการทำบล็อกคอนกรีตปูพื้นได้

4.3. ด้านการบำบัดน้ำเสีย พิงอร์ (2545) ได้กล่าวไว้ว่าตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถนำมาเป็นสารช่วยสร้างตะกอนได้ เมื่อใช้ร่วมกับสารส้มจะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำได้ร้อยละ 96.5% ดังนั้นการใช้ตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว อีกทั้งตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากชุมชน 40-50% และบำบัดฟอสฟอรัสได้สูงถึง 90% (ณัฐวิทย์, 2522) นอกจากนี้ ปภาวดี (2551) พบว่า ตะกอนน้ำประปาและเถ้าลอยแอสฟัลท์ที่มีความสามารถในการลดซีโอไลต์และสีในน้ำกากส่า เมื่อใช้ร่วมกับการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปาสามารถดูดซับสารหนูได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสมการการดูดซับของ Langmuir

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เครื่องแก้วพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. เครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตะกอน
3. อุปกรณ์จาร์เทส

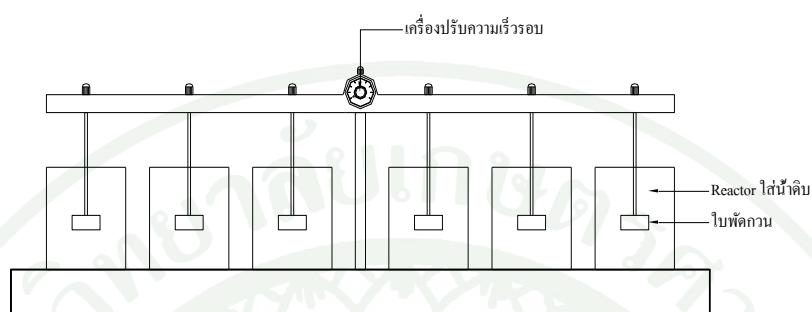
วิธีการ

1. สืบค้นงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา กลับมาใช้ประโยชน์
2. สํารวจเก็บตัวอย่างของตะกอนจากถังตกตะกอนแบบ Solids contact และตะกอนจาก บ่อกักตะกอน (Sludge Lagoon) ที่โรงผลิตน้ำประปาต่างๆ
3. ดำเนินการทดลอง

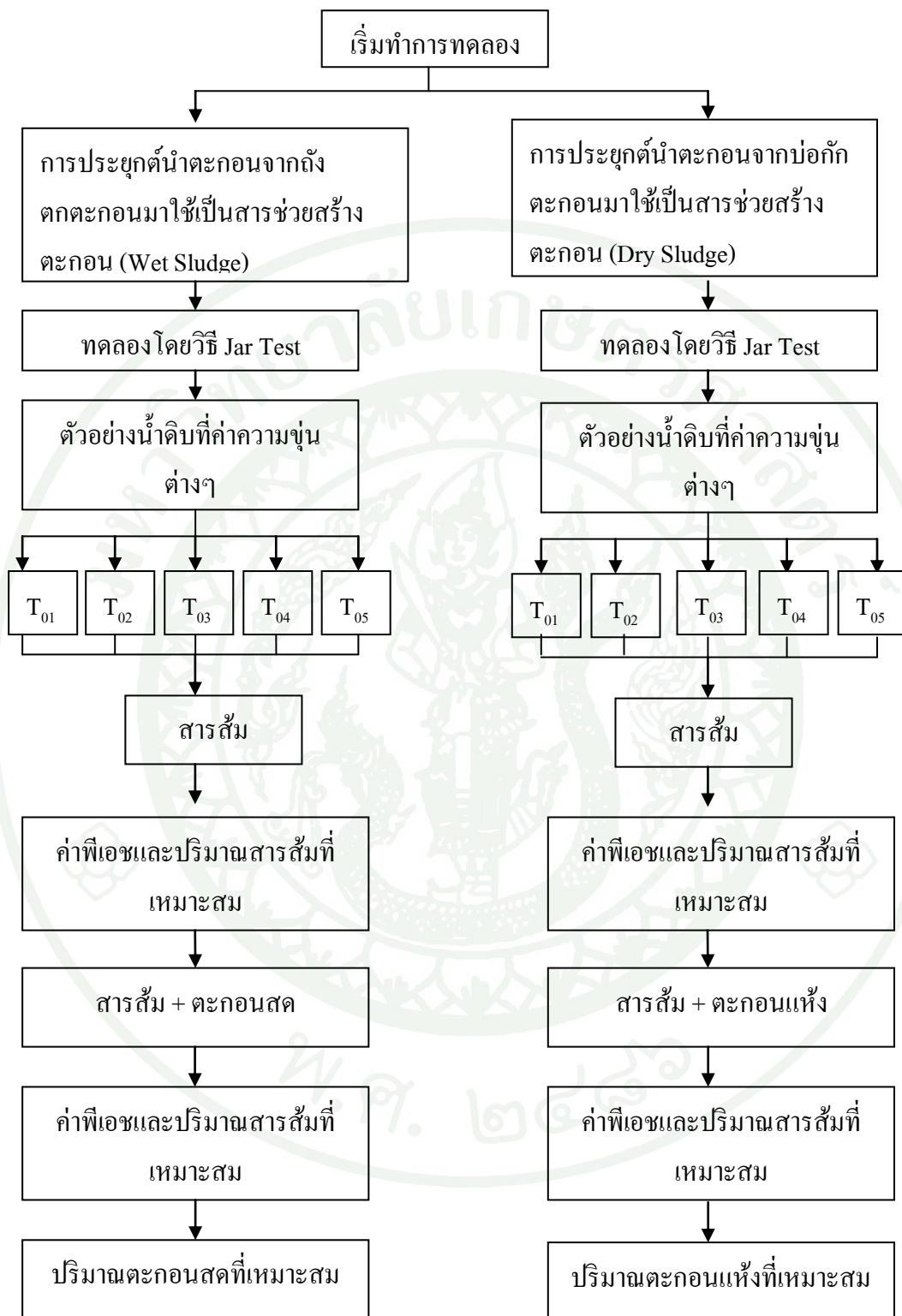
นำตะกอนตะกอนจากถังตกตะกอนแบบ Solids contact Clarifier และตะกอนจากบ่อ กักตะกอน (Sludge Lagoon) มาทำการทดลอง

นำน้ำดิบมาทดลองด้วยวิธี Jar Test พร้อมทั้งหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมและหลังจาก หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมได้จึงไปหาค่า pH ที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนแล้ววัดค่าความขุ่น ที่เหลืออยู่ หลังจากนั้นนำตะกอนจากถังตกตะกอน Solids contact clarifier และตะกอนจากบ่อ กักตะกอน (Sludge Lagoon) ที่ได้จากกระบวนการผลิตประปามาทดลองโดยใช้เป็นสารช่วยจับ ตะกอน(Coagulant aid) เพื่อหาปริมาณตะกอนที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน

(Coagulant aid) เพื่อลดการใช้ปริมาณสารส้มในการจับตะกอน ซึ่งวิธีการทดลอง ดังภาพที่ 6 โดยใช้เครื่องมือ Jar Test ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องมือ Jar Test



ภาพที่ 6 ขั้นตอนวิธีการทดลอง

เมื่อ	T_{01}	=	ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU
	T_{02}	=	ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU
	T_{03}	=	ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU
	T_{04}	=	ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU
	T_{05}	=	ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU



ผลและวิจารณ์

การวิจัยนี้ศึกษาการนำตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solids contact clarifier ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังภาคผนวก ก. และตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังภาคผนวก ค. โดยนำตะกอนเหล่านี้มาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน (Coagulant aid) เพื่อใช้ร่วมกับสารส้มซึ่งเป็นสารจับตะกอน (Coagulant) เนื่องจากในตะกอนสดและตะกอนแห้งมีปริมาณสารส้มที่คงเหลืออยู่ (Alum Residual) งานวิจัยนี้ศึกษาโดยใช้วิธี Jar Test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์การตกตะกอนทางเคมี โดยหาปริมาณสารส้มและค่า พีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอน ในการทดลองต้องปรับตัวอย่างน้ำดิบให้มีค่าพีเอชที่เหมาะสมและวัดสภาพความเป็นด่างก่อนทดลองด้วยวิธี Jar Test เนื่องจากค่าพีเอชและสภาพความเป็นด่างมีอิทธิพลในการตกตะกอนทางเคมี ถ้าค่าพีเอชและสภาพความเป็นด่างมีค่าไม่เหมาะสม สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการตกตะกอนทางเคมีได้ ซึ่งขั้นตอนและวิธีการทดลอง ดังภาคผนวก ง. ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้สารส้มในการตกตะกอนทางเคมีของกระบวนการผลิตน้ำประปาได้

การเตรียมสารส้มเพื่อใช้เป็นสารจับตะกอน สารส้มที่ใช้เป็นสารส้มน้ำจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ค่าความเข้มข้น 50 % (W/V) ซึ่งการทดลองด้วยวิธี Jar Test ต้องเตรียมเป็น 1% (W/V)

โดยเตรียมสารส้ม 50% (W/V) เป็น สารส้ม 1% (W/V)

$$\begin{aligned} N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\ 50(V_1) &= 1(1000) \\ V_1 &= 20 \end{aligned}$$

เมื่อ	V_1	=	ปริมาตรสารของสารส้ม 50% W/V (ml)
	V_2	=	ปริมาตรสารของสารส้ม 1% W/V (ml)
	N_1	=	ค่าความเข้มข้นของสารส้ม 50% W/V
	N_2	=	ค่าความเข้มข้นของสารส้ม 1% W/V

ดังนั้น จึงเตรียมสารส้ม 1% W/V โดยการนำสารส้ม 50%W/V ปริมาตร 20 ml. มาเติมด้วย
น้ำกลั่น ให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 ml.

$$\begin{aligned}\text{สารส้ม 1\% W/V} &= 10,000 \text{ mg./l} \\ &= 10 \text{ mg./ 1 ml.}\end{aligned}$$

ดังนั้น สารส้ม 1 ml. มีเนื้อสารส้ม 10 mg.



ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum pH	Alum Dose (mg/l)	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃			Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
19.1	7.52	77	6.5	33	1.79	6.34	37
19.1	7.52	77	6.5	34	1.63	6.33	35
19.1	7.52	77	6.5	35	1.55	6.31	34
19.1	7.52	77	6.5	36	1.53	6.26	34
19.1	7.52	77	6.5	37	1.87	6.21	34
19.1	7.52	77	6.5	38	2.12	6.16	33
46.1	7.54	75	6.5	64	2.06	6.23	23
46.1	7.54	75	6.5	65	1.51	6.11	22
46.1	7.54	75	6.5	66	1.11	6.09	20
46.1	7.54	75	6.5	67	1.19	5.97	18
46.1	7.54	75	6.5	68	1.27	5.90	17
46.1	7.54	75	6.5	69	1.53	5.89	19

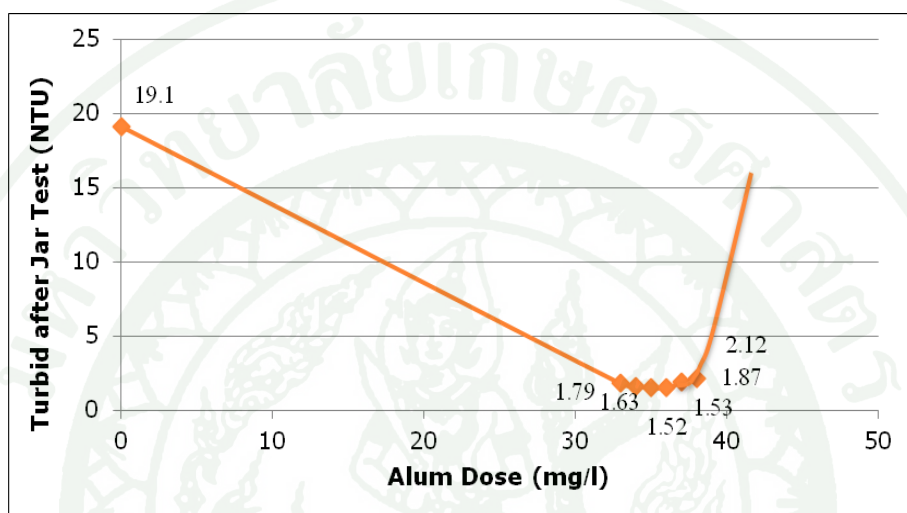
ตารางที่ 2 (ต่อ)

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum pH	Alum Dose (mg/l)	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃			Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
47.4	7.52	75	6.5	67	1.23	6.19	32
47.4	7.52	75	6.5	68	1.09	6.17	30
47.4	7.52	75	6.5	69	0.99	6.09	29
47.4	7.52	75	6.5	70	0.87	6.04	24
47.4	7.52	75	6.5	71	1.11	6.00	23
47.4	7.52	75	6.5	72	1.25	5.97	21
53.0	7.62	81	6.5	67	1.32	6.03	23
53.0	7.62	81	6.5	68	1.24	6.02	23
53.0	7.62	81	6.5	69	1.03	6.03	21
53.0	7.62	81	6.5	70	1.10	5.97	20
53.0	7.62	81	6.5	71	1.19	5.91	20
53.0	7.62	81	6.5	72	1.45	5.85	21

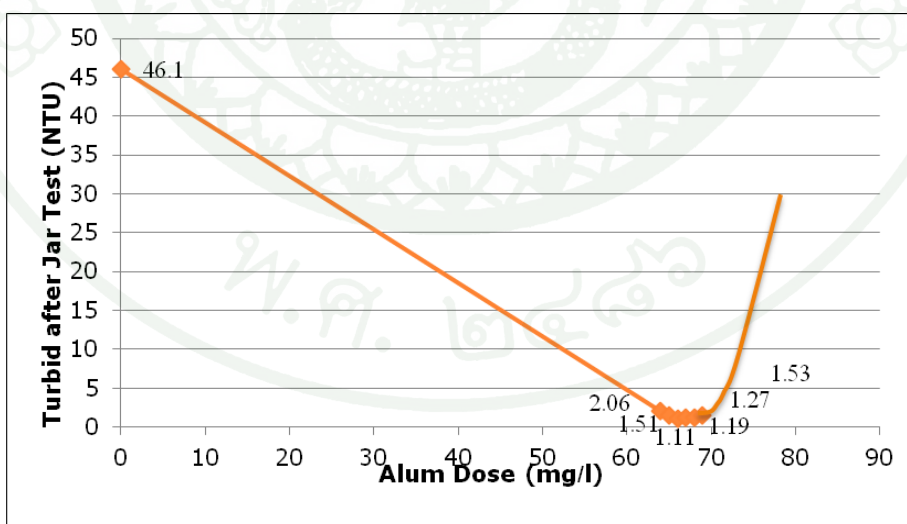
ตารางที่ 2 (ต่อ)

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum pH	Alum Dose (mg/l)	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃			Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
87.9	7.60	66	6.5	51	2.63	6.24	23
87.9	7.60	66	6.5	52	2.55	6.16	22
87.9	7.60	66	6.5	53	2.16	6.09	19
87.9	7.60	66	6.5	54	1.87	6.07	16
87.9	7.60	66	6.5	55	1.67	6.06	15
87.9	7.60	66	6.5	56	2.12	5.96	14

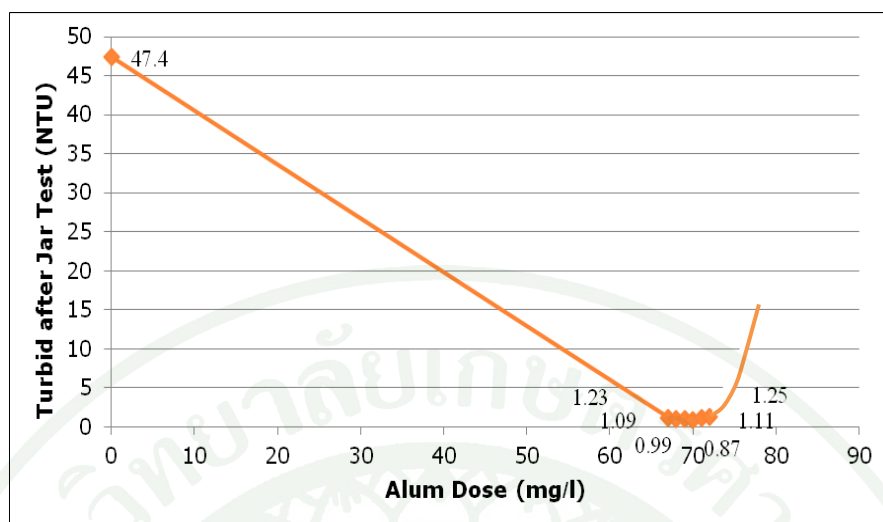
จากตารางที่ 2 เป็นผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม เมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 7, 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ ผลของปริมาณสารส้มที่เหมาะสมขณะการกวนเร็วและการตกตะกอน ดังภาพผนวกที่ 7, 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ



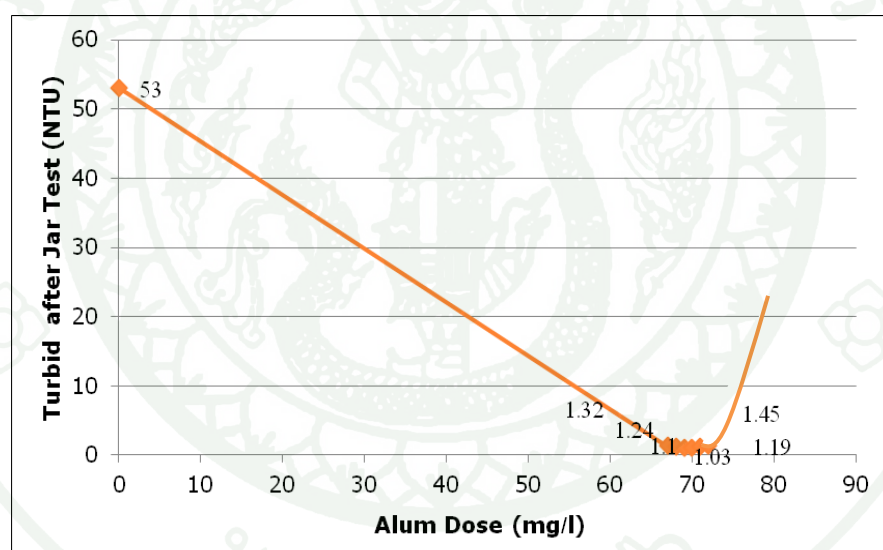
ภาพที่ 7 ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU



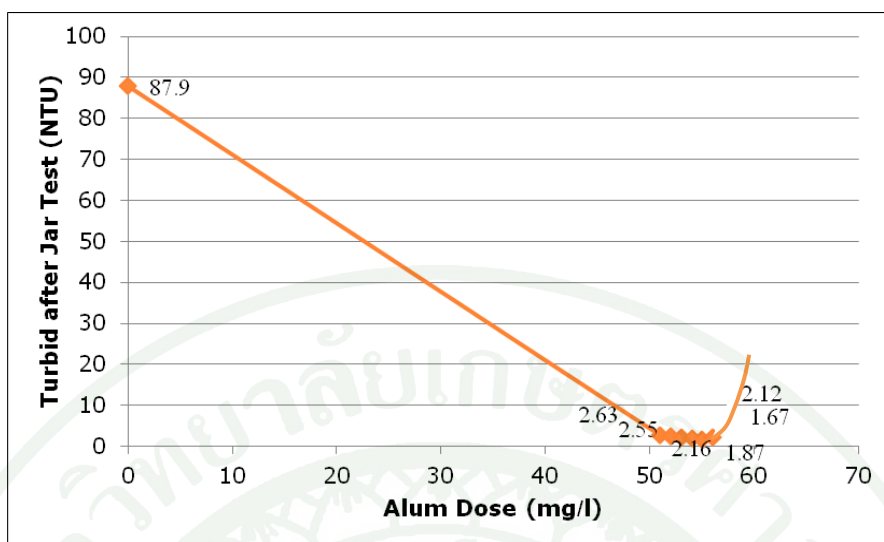
ภาพที่ 8 ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU



ภาพที่ 9 ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU



ภาพที่ 10 ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU



ภาพที่ 11 ผลวิเคราะห์ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว

Run Number	Raw Water		Optimum pH	Optimum Alum Dose (mg/l)	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃			pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	Turbidity (NTU)
A-01-1	7.52	77	6.5	35	6.26	35	1.53
A-01-2	7.52	77	6.5	36	6.19	35	1.51
A-01-AV	7.52	77	6.5	35.5	6.23	35	1.52
A-02-1	7.54	75	6.5	66	6.10	20	1.13
A-02-2	7.54	75	6.5	67	6.08	20	1.09
A-02-AV	7.54	75	6.5	66.5	6.09	20	1.11
A-03-1	7.52	92	6.5	70	6.01	25	0.70
A-03-2	7.52	92	6.5	70	6.05	23	1.04
A-03-AV	7.52	92	6.5	70	6.03	23	0.87

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Run Number	Raw Water		Optimum pH	Optimum Alum Dose (mg/l)	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃			pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	Turbidity (NTU)
A-04-1	7.62	81	6.5	69.0	6.03	21	1.02
A-04-2	7.62	81	6.5	69.0	6.01	21	1.04
A-04-AV	7.62	81	6.5	69.0	6.02	21	1.03
A-05-1	7.60	66	6.5	55.0	6.06	15	1.70
A-05-2	7.60	66	6.5	55.0	6.05	15	1.63
A-05-AV	7.60	66	6.5	55.0	6.05	15	1.67

เมื่อ A-01 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU
A-02 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU
A-03 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU
A-04 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU
A-05 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU
A-AV = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำดิบ

จากตารางที่ 3 เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 19.1 NTU ค่าพีเอช 7.52 สภาพความเป็นด่าง 77 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 35.5 mg/l ดังภาพผนวกที่ ง1 พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.52 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.23 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 35 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 46.1 NTU ค่าพีเอช 7.54 สภาพความเป็นด่าง 75 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 66.5 mg/l ดังภาพผนวกที่ ง2 พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.11 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.09 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 20 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 47.4 NTU ค่าพีเอช 7.52 สภาพความเป็นด่าง 92 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 70 mg/l ดังภาพผนวกที่ ง3 พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.01 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.03 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 23 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 53.0 NTU ค่าพีเอช 7.62 สภาพความเป็นด่าง 81 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 69.0 mg/l ดังภาพผนวกที่ ง4 พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.03 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.02 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 21 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 87.9 NTU ค่าพีเอช 7.60 สภาพความเป็นด่าง 66 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 55.0 mg/l ดังภาพผนวกที่ ง5 พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.67 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.05 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 15 mg/l

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Wet Sludge	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	pH	Dose (mg/l)	Dose (mg/l)	Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
19.1	7.52	77	6.5	23	240	1.92	6.38	38
19.1	7.52	77	6.5	23	257	1.73	6.38	38
19.1	7.52	77	6.5	23	275	1.65	6.38	39
19.1	7.52	77	6.5	23	292	1.45	6.39	38
19.1	7.52	77	6.5	23	308	1.60	6.39	39
19.1	7.52	77	6.5	23	396	1.73	6.39	39
46.1	7.54	75	6.5	50	378	1.57	6.08	28
46.1	7.54	75	6.5	50	395	1.43	6.11	24
46.1	7.54	75	6.5	50	412	1.04	6.13	28
46.1	7.54	75	6.5	50	429	1.25	6.12	26
46.1	7.54	75	6.5	50	446	1.36	6.07	27
46.1	7.54	75	6.5	50	463	1.50	6.08	27

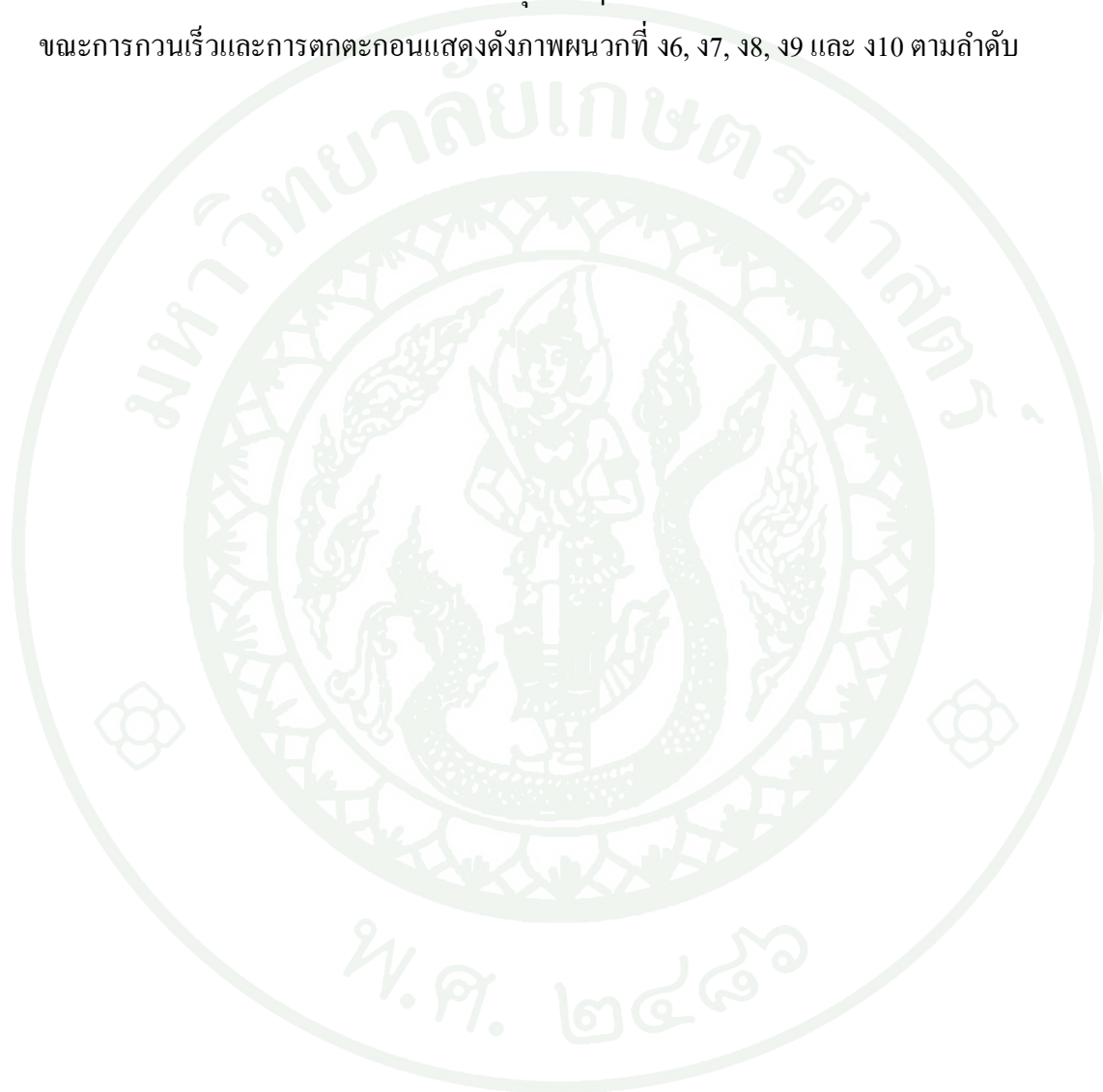
ตารางที่ 4 (ต่อ)

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum	Optimum	Optimum Wet Sludge	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	pH	Alum Dose (mg/l)	Dose (mg/l)	Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
47.4	7.52	92	6.5	64	395	0.78	6.11	33
47.4	7.52	92	6.5	64	412	0.70	6.12	34
47.4	7.52	92	6.5	64	429	0.63	6.10	33
47.4	7.52	92	6.5	64	446	0.70	6.09	33
47.4	7.52	92	6.5	64	463	0.77	6.08	33
47.4	7.52	92	6.5	64	480	0.84	6.09	33
53.0	7.62	81	6.5	55	309	0.92	6.21	32
53.0	7.62	81	6.5	55	326	0.86	6.15	31
53.0	7.62	81	6.5	55	345	0.70	6.20	34
53.0	7.62	81	6.5	55	360	0.80	6.23	34
53.0	7.62	81	6.5	55	378	0.81	6.23	32
53.0	7.62	81	6.5	55	395	1.09	6.23	33

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Wet Sludge	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	pH	Dose (mg/l)	Dose (mg/l)	Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
87.9	7.60	66	6.5	43	240	1.59	6.11	18
87.9	7.60	66	6.5	43	257	1.39	6.11	17
87.9	7.60	66	6.5	43	275	1.19	6.10	16
87.9	7.60	66	6.5	43	292	1.31	6.07	16
87.9	7.60	66	6.5	43	309	1.38	6.06	15
87.9	7.60	66	6.5	43	343	1.47	6.02	15

จากตารางที่ 4 เป็นผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 23, 50, 64, 55 และ 42.5 mg/l ตามลำดับ ดังภาพที่ 12 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนที่ค่าความขุ่นต่างๆของน้ำดิบ ผลของปริมาณสารส้มที่เหมาะสมขณะการกวนเร็วและการตกตะกอนแสดงดังภาพผนวกที่ ง6, ง7, ง8, ง9 และ ง10 ตามลำดับ



ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม

Run Number	Raw Water		Optimum pH	Optimum Alum Dose (mg/l)	Optimum Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃				pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	Turbidity (NTU)
B-WS-01-1	7.52	77	6.5	23	292	6.37	38	1.42
B-WS-01-2	7.52	77	6.5	23	292	6.40	38	1.48
B-WS-01-AV	7.52	77	6.5	23	292	6.39	38	1.45
B-WS-02-1	7.54	75	6.5	50	412	6.15	28	1.02
B-WS-02-2	7.54	75	6.5	50	412	6.10	28	1.00
B-WS-02-AV	7.54	75	6.5	50	412	6.13	28	1.01
B-WS-03-1	7.52	92	6.5	64.0	429	6.12	32	0.61
B-WS-03-2	7.52	92	6.5	64.0	429	6.07	33	0.65
B-WS-03-AV	7.52	92	6.5	64.0	429	6.10	32.5	0.63

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Run Number	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Wet	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	pH	Dose (mg/l)	Sludge Dose (mg/l)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	Turbidity (NTU)
B-WS-04-1	7.62	81	6.5	55	345	6.23	34	0.68
B-WS-04-2	7.62	81	6.5	55	345	6.17	33	0.71
B-WS-04-AV	7.62	81	6.5	55	345	6.2	33.5	0.70
B-WS-05-1	7.60	66	6.5	43	275	6.09	15	1.22
B-WS-05-2	7.60	66	6.5	42	275	6.11	16	1.15
B-WS-05-AV	7.60	66	6.5	42.5	275	6.10	15.5	1.19

เมื่อ B-WS-01 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

B-WS-02 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

B-WS-03 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

B-WS-04 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

B-WS-05 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

B-WS-AV = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำดิบ เมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน

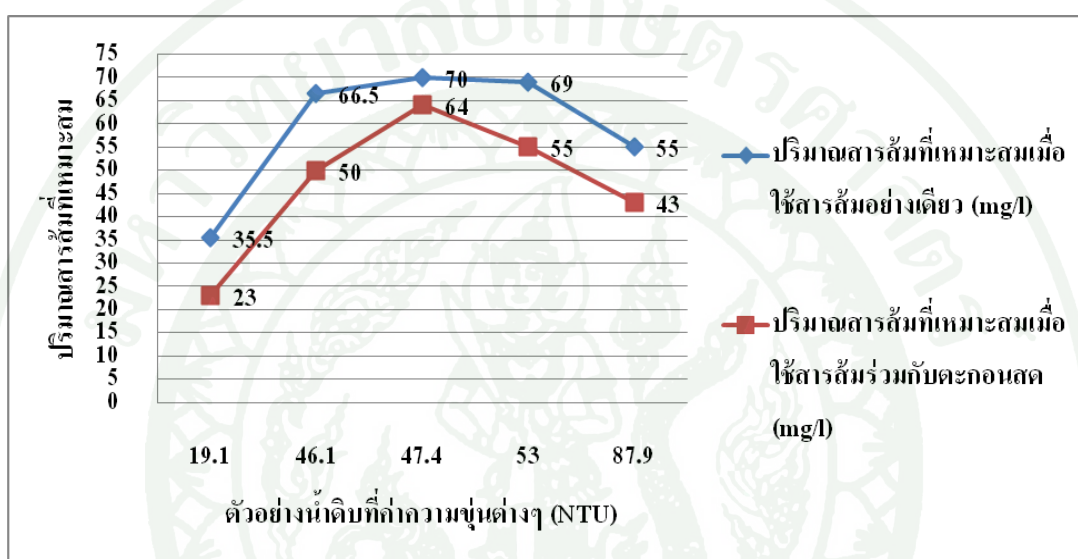
จากตารางที่ 5 เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 19.1 NTU ค่าพีเอช 7.52 สภาพความเป็นด่าง 77 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนสดจากถังตกตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 23.0 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.45 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.39 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 38 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 46.1 NTU ค่าพีเอช 7.54 สภาพความเป็นด่าง 75 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนสดจากถังตกตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 50.0 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.01 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.13 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 28 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 47.4 NTU ค่าพีเอช 7.52 สภาพความเป็นด่าง 92 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนสดจากถังตกตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 64.0 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 0.63 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.10 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 32.5 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 53.0 NTU ค่าพีเอช 7.62 สภาพความเป็นด่าง 81 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนสดจากถังตกตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 55 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 0.70 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.20 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 33.5 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 87.9 NTU ค่าฟิโอส 7.60 สภาพความเป็นด่าง 66 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและฟิโอสที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนสดจากถังตกตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 42.5 mg/l ฟิโอสที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.19 NTU ค่าฟิโอสลดลงเหลือ 6.10 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 15.5 mg/l



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนที่ค่าความขุ่นต่างๆของน้ำดิบ

จากภาพที่ 12 เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนทางเคมี พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียวนั้นมีค่า 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.04%, 97.59%, 98.16%, 98.06 และ 98.10% ตามลำดับ เมื่อนำตะกอนสดกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับกับสารส้ม พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 23, 50, 64, 55 และ 43 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.41%, 97.81%, 98.67%, 98.68 และ 98.65% ตามลำดับ การนำตะกอนสดกลับมาใช้ ในกระบวนการผลิตน้ำประปาอีกครั้ง ทำให้ลดปริมาณการใช้สารส้มในการผลิตน้ำประปาได้ และ ประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่นมีค่ามากกว่าการใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว อีกด้วย

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Dry Sludge	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	Dose (mg/l)	Turbidity	pH	Alkalinity (mg/l)
		as CaCO ₃				(NTU)		as CaCO ₃
19.1	7.52	77	6.5	28	340	1.55	6.38	34
19.1	7.52	77	6.5	28	374	1.49	6.37	35
19.1	7.52	77	6.5	28	408	1.31	6.39	36
19.1	7.52	77	6.5	28	442	1.39	6.40	35
19.1	7.52	77	6.5	28	476	1.56	6.41	36
19.1	7.52	77	6.5	28	510	1.64	6.36	36
46.1	7.54	75	6.5	54	272	3.73	6.10	25
46.1	7.54	75	6.5	54	306	1.23	6.16	25
46.1	7.54	75	6.5	54	340	1.04	6.15	26
46.1	7.54	75	6.5	54	374	1.16	6.14	26
46.1	7.54	75	6.5	54	408	1.20	6.14	25
46.1	7.54	75	6.5	54	442	2.33	6.14	25

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Dry Sludge	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l)	pH	Dose (mg/l)	Dose (mg/l)	Turbidity	pH	Alkalinity (mg/l)
		as CaCO ₃				(NTU)		as CaCO ₃
47.4	7.52	92	6.5	68	272	1.33	6.06	32
47.4	7.52	92	6.5	68	306	0.82	6.00	33
47.4	7.52	92	6.5	68	340	0.77	6.00	35
47.4	7.52	92	6.5	68	374	1.18	5.96	35
47.4	7.52	92	6.5	68	408	1.49	5.98	33
47.4	7.52	92	6.5	68	442	1.55	5.99	34
53.0	7.62	81	6.5	62	272	1.03	6.01	24
53.0	7.62	81	6.5	62	306	0.94	6.00	24
53.0	7.62	81	6.5	62	340	0.85	6.00	20
53.0	7.62	81	6.5	62	374	0.74	6.01	23
53.0	7.62	81	6.5	62	408	0.81	6.02	23
53.0	7.62	81	6.5	62	442	1.05	6.06	23

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Turbidity of Raw Water	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Dry Sludge	Treated Water after Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	pH	Dose (mg/l)	Dose (mg/l)	Turbidity (NTU)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃
87.9	7.60	66	6.5	66	374	1.50	5.93	16
87.9	7.60	66	6.5	66	408	1.42	5.94	17
87.9	7.60	66	6.5	66	442	1.29	5.99	18
87.9	7.60	66	6.5	66	476	1.37	6.02	18
87.9	7.60	66	6.5	66	510	1.55	6.04	18
87.9	7.60	66	6.5	66	544	1.80	6.03	18

จากตารางที่ 6 เป็นผลวิเคราะห์หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 28, 54, 68, 62 และ 50 mg/l ตามลำดับ ดังภาพที่ 13 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนที่ค่าความขุ่นต่างๆของน้ำดิบ ผลของปริมาณสารส้มที่เหมาะสมขณะการกวนเร็วและการตกตะกอนแสดงดังภาพผนวกที่ ง11, ง12, ง13, ง14 และ ง15 ตามลำดับ



ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม

Run Number	Raw Water		Optimum pH	Optimum Alum Dose (mg/l)	Optimum Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃				pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	Turbidity (NTU)
C-DS-01-1	7.52	77	6.5	28	408	6.41	36	1.34
C-DS-01-2	7.52	77	6.5	28	408	6.36	36	1.27
C-DS-01-AV	7.52	77	6.5	28	408	6.39	36	1.31
C-DS-02-1	7.54	75	6.5	54	340	6.18	26	1.01
C-DS-02-2	7.54	75	6.5	54	340	6.12	26	1.07
C-DS-02-AV	7.54	75	6.5	54	340	6.15	26	1.04
C-DS-03-1	7.52	92	6.5	68	340	5.96	34	0.77
C-DS-03-2	7.52	92	6.5	68	340	6.03	35	0.76
C-DS-03-AV	7.52	92	6.5	68	340	6.00	34.5	0.76

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Run Number	Raw Water		Optimum	Optimum Alum	Optimum Dry	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	pH	Dose (mg/l)	Sludge Dose (mg/l)	pH	Alkalinity (mg/l) as CaCO ₃	Turbidity (NTU)
C-DS-04-1	7.62	81	6.5	62	374	5.98	22	0.70
C-DS-04-2	7.62	81	6.5	62	374	6.04	23	0.78
C-DS-04-AV	7.62	81	6.5	62	374	6.01	22.5	0.74
C-DS-05-1	7.60	66	6.5	50	442	6.02	17	1.23
C-DS-05-2	7.60	66	6.5	50	442	5.96	18	1.38
C-DS-05-AV	7.60	66	6.5	50	442	5.99	17.5	1.41

เมื่อ C-DS-01 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

C-DS-02 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

C-DS-03 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

C-DS-04 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

C-DS-05 = ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

C-DS-AV = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำดิบ เมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน

จากตารางที่ 7 เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 19.1 NTU ค่าพีเอช 7.52 สภาพความเป็นด่าง 77 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 28 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.31 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.39 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 36 mg/l

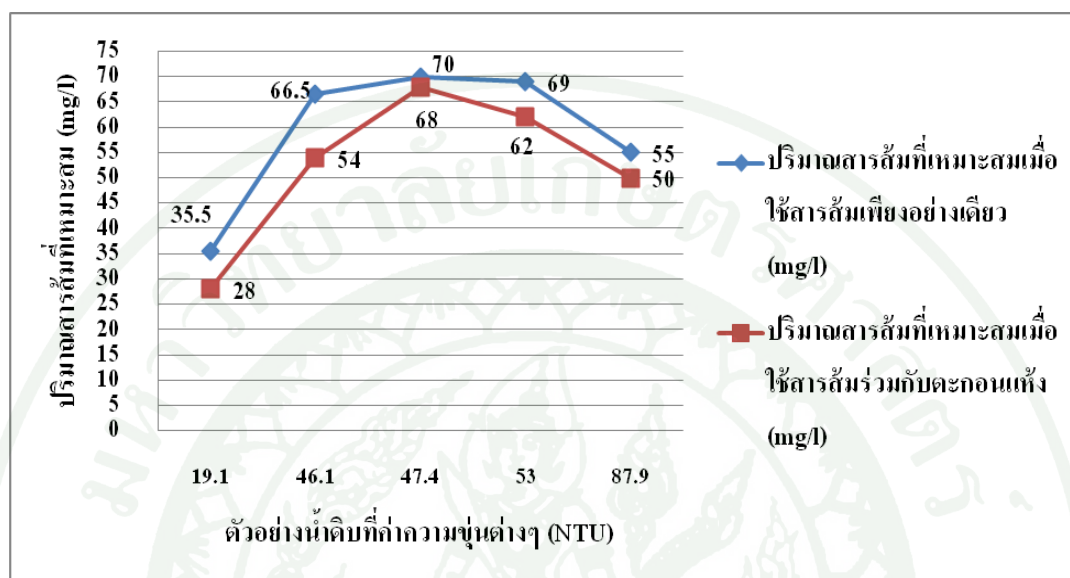
เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 46.1 NTU ค่าพีเอช 7.54 สภาพความเป็นด่าง 75 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 54 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.04 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.15 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 26 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 47.4 NTU ค่าพีเอช 7.52 สภาพความเป็นด่าง 92 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 68 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 0.76 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.00 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 34.5 mg/l

เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 53.0 NTU ค่าพีเอช 7.62 สภาพความเป็นด่าง 81 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 62 mg/l พีเอชที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 0.74 NTU ค่าพีเอชลดลงเหลือ 6.01 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 22.5 mg/l

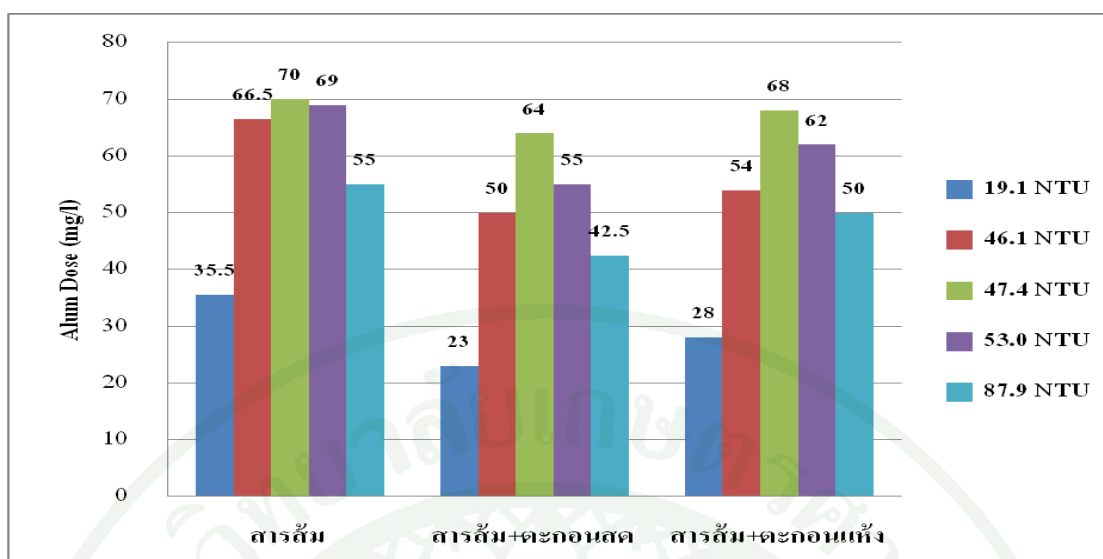
เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 87.9 NTU ค่าพีเอช 7.60 สภาพความเป็นด่าง 66 mg/l มีทำการทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มและพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้ตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอนกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน พบว่า ปริมาณสารส้มที่

เหมาะสม มีค่า 50 mg/l ฟิโชนที่เหมาะสมมีค่า 6.5 หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test แล้วค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบลดลงเหลือ 1.41 NTU ค่าฟิโชนลดลงเหลือ 5.99 และสภาพความเป็นด่างลดลงเหลือ 17.5 mg/l



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนที่ค่าความขุ่นต่างๆของน้ำดิบ

จากภาพที่ 13 เมื่อนำตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนทางเคมี พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียวนี้อาจมีค่า 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.04%, 97.59%, 98.16%, 98.06 และ 98.10% ตามลำดับ เมื่อนำตะกอนแห้งกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับกับสารส้ม พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 28, 54, 68, 62 และ 50 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 93.14%, 97.74%, 98.40%, 98.60 และ 98.40% ตามลำดับ การนำตะกอนแห้งกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาอีกครั้ง ทำให้ลดปริมาณการใช้สารส้มในการผลิตน้ำประปาได้ และประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่นมีค่ามากกว่าการใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวอีกด้วย



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารส้มที่เหมาะสมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้ตะกอนสดและตะกอนแห้งเป็นสารช่วย จับตะกอนร่วมกับสารส้ม

จากภาพที่ 14 เมื่อมีการเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีพบว่า เมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนสดและตะกอนแห้งที่ใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนสามารถลดปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีลงได้ โดยการใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้มากกว่าการใช้ตะกอนแห้ง

การวิจัยนี้ใช้วิธี Jar Test ในการทดลอง เนื่องจาก วิธีนี้ให้ข้อมูลเร็วและถูกต้อง สามารถนำกลับมาใช้ในระบบผลิตน้ำประปาจริง ทำให้ทราบปริมาณที่เหมาะสมของระบบ รวมถึงลดค่าใช้จ่ายของสารเคมี เมื่อนำตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier และตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon) กลับมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตน้ำประปาอีกครั้ง เพื่อเป็นสารช่วยจับตะกอน (Coagulant aid) ร่วมกับสารส้มที่ใช้เป็นสารจับตะกอน (Coagulant) สามารถลดปริมาณการใช้สารส้มในกระบวนการผลิตน้ำประปาได้ เนื่องจากในตะกอนสดและตะกอนแห้งมีปริมาณสารส้มหลงเหลือ (Alum Residual) Mccurdy et al. (2004) ได้กล่าวว่า ปริมาณตะกอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา มีองค์ประกอบสำคัญที่เหมาะสมต่อการเป็นสารช่วยจับตะกอน คือ $Al(OH)_3$ อีกทั้งการเติมตะกอนเพื่อเป็นสารช่วยจับตะกอนจะเป็นไปทำให้ฟlocsที่เกิดขึ้นมีน้ำหนักมากขึ้นและสามารถตกตะกอนได้ดีขึ้น โดยต้องเติมสารช่วยจับตะกอนก่อนสารจับตะกอน (มันสิน, 2537) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าตะกอนสดสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้มากกว่าตะกอนแห้ง เนื่องมาจากตะกอนสดมีลักษณะเป็นของเหลวมีพื้นที่สัมผัสกับตัวอย่างน้ำดิบ

ได้มากกว่าตะกอนแห้ง แม้ว่าการทดลองจะมีการนำตะกอนแห้งมาละลายด้วยตัวอย่างน้ำดิบแล้ว แต่อนุภาคบางส่วนของตะกอนแห้งยังไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวอย่างน้ำดิบ ทำให้ต้องใช้ปริมาณตะกอนแห้งในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณตะกอนสดในการเป็นสารช่วยจับตะกอน (Coagulant aid)

จากผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU มีค่า 6.5 ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมสอดคล้องกับ McCurdy et al. (2004) ซึ่งได้กล่าวว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี มีค่าอยู่ในช่วง 6.0-7.5 มั่นสิน (2537) ได้กล่าวว่า สารส้มให้ผลดีเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6-7 และ พิงอร (2545) ได้กล่าวว่า ค่าพีเอชที่มีประสิทธิภาพที่สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีอยู่ในช่วงพีเอช 6-8 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้การตกตะกอนทางเคมีได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำดิบก่อนจะทดลองด้วยวิธี Jar Test เพื่อให้สภาพอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมี รัชฎาวรรณ (2540) ได้กล่าวว่า สภาพความเป็นด่างเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตกตะกอนทางเคมี เนื่องจากเป็นตัวช่วยในการสร้างเม็ดตะกอนและรักษาสภาพความเป็นบัฟเฟอร์ หลังจากทดลองด้วยวิธี Jar Test สภาพความเป็นด่างของตัวอย่างน้ำดิบจึงมีค่าลดลง เมื่อนำตะกอนสดและตะกอนแห้งจากกระบวนการผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่เป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ทำให้ปริมาณการใช้สารส้มในการผลิตมีปริมาณลดลง กรณีใช้สารส้มมาใช้เป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวที่มีค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.04%, 97.59%, 98.16%, 98.06 และ 98.10% ตามลำดับ กรณีนำตะกอนสดกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับกับสารส้มพบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม มีค่า 23, 50, 64, 55 และ 43 mg/l ตามลำดับ ปริมาณตะกอนสดที่เหมาะสมมีค่า 292, 412, 429, 345 และ 275 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 92.41%, 97.81%, 98.67%, 98.68 และ 98.65% ตามลำดับ กรณีนำตะกอนแห้งกลับมาใช้เป็นสารจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 28, 54, 68, 62 และ 50 mg/l ตามลำดับ ปริมาณตะกอนแห้งที่เหมาะสมมีค่า 408, 340, 340, 374 และ 442 mg/l ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่า 93.14%, 97.74%, 98.40%, 98.60 และ 98.40% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ พิงอร (2545) ซึ่งได้กล่าวว่า ตะกอนจากกระบวนการผลิตประปาเมื่อใช้ร่วมกับสารส้มมีประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นที่ 96.5%

โรงผลิตน้ำประปาบางเขน มีถังตกตะกอนแบบ Solids contact clarifiers จำนวน 18 ถัง มีอัตราการผลิตถังละ 200,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน อัตราการผลิตน้ำประปาทั้งสิ้น มีค่า 3,600,000

ลูกบาศก์เมตร/วัน จากการทดลองพบว่าเมื่อมีปริมาณการใช้สารส้มในกระบวนการผลิตน้ำประปา ลดลง สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มได้ ดังภาคผนวก จ. เมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับ ตะกอนเพียงอย่างเดียว ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มมีค่า 972,000, 1,836,000, 1,944,000, 1,908,000, และ 1,548,000 บาท/วัน ตามลำดับ กรณีใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน ค่าใช้จ่ายในการใช้ สารส้มลดลง 324,000, 432,000, 180,000, 396,000 และ 360,000 บาท/วัน ตามลำดับ กรณีใช้ ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มมีลดลง 180,000, 324,000, 72,000, 190,000 และ 144,000 บาท/วัน ตามลำดับ



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในกระบวนการผลิตน้ำประปามีกระบวนการที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต คือ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) และ กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) ในกระบวนการดังกล่าวใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอน (Coagulant) ซึ่งก่อให้เกิดปริมาณตะกอนส่วนเกินเป็นจำนวนมากถึงปีละ 126,000 ตันต่อปี ตะกอนเหล่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด งานวิจัยนี้จึงนำตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solid Contact Clarifier และตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon) ในกระบวนการผลิตน้ำประปา กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant aid) เนื่องจากตะกอนเหล่านี้ มีปริมาณสารส้มหลงเหลือ (Alum residual) เมื่อนำตะกอนสดและตะกอนแห้งมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอน (Coagulant aid) ร่วมกับสารส้มซึ่งเป็นสารจับตะกอน (Coagulant) ซึ่งตัวอย่างน้ำดิบที่นำมา ทดลองมีค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับ เมื่อนำตะกอนสดกลับมาใช้เป็นสารจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 23, 50, 64, 55 และ 42.5 mg/l ตามลำดับ ปริมาณตะกอนสดที่เหมาะสมมีค่า 292, 412, 429, 345 และ 275 mg/l ตามลำดับ เมื่อนำตะกอนแห้งกลับมาใช้เป็นสารจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่า 28, 54, 68, 62 และ 50 mg/l ตามลำดับ ปริมาณตะกอนแห้งที่เหมาะสมมีค่า 408, 340, 340, 374 และ 442 mg/l จากการทดลองพบว่า ปริมาณการใช้สารส้มที่เหมาะสมในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีน้อยลง หากนำตะกอนสดและ ตะกอนแห้งกลับมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาอีกครั้ง สามารถลด ค่าใช้จ่ายในการซื้อสารส้มและการกำจัดตะกอนส่วนเกินในกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งโรงผลิต น้ำประปาบางเขน มีถังตกตะกอนแบบ Solids contact clarifiers จำนวน 18 ถัง มีอัตราการผลิตถึงละ 200,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน อัตราการผลิตน้ำประปาทั้งสิ้น มีค่า 3,600,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน จาก การทดลองพบว่าเมื่อมีปริมาณการใช้สารส้มในกระบวนการผลิตน้ำประปาลดลง สามารถช่วยลด ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มได้ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว ค่าใช้จ่ายในการใช้ สารส้มมีค่า 972,000, 1,836,000, 1,944,000, 1,908,000, และ 1,548,000 บาท/วัน ตามลำดับ กรณีใช้ ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอน ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มลดลง 324,000, 432,000, 180,000, 396,000 และ 360,000 บาท/วัน ตามลำดับ กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน ค่าใช้จ่ายใน การใช้สารส้มลดลง 180,000, 324,000, 72,000, 190,000 และ 144,000 บาท/วัน ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test เมื่อใส่ตะกอนสดและตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอน โดยเปรียบเทียบกับปริมาณตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียว
2. ควรศึกษาตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่าความขุ่นหลากหลาย เนื่องจากตัวอย่างน้ำดิบที่นำมาทดลองเป็นน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปาจริง ซึ่งมีค่าความขุ่นไม่คงที่ เพื่อให้ผลการศึกษาที่ละเอียดและครอบคลุมควรมีการเก็บตัวอย่างน้ำดิบให้ครบถ้วนตลอดทั้งปี
3. ควรศึกษาปริมาณสารส้มคงเหลือ (Alum Residual) ในตะกอนสดและตะกอนแห้งที่นำมาใช้เป็นสารช่วยจับตะกอนในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การประปานครหลวง. 2555. กระบวนการผลิตน้ำประปา. แหล่งที่มา: www.mwa.co.th, 5 มกราคม 2555.

กรณ์ชัย โสภณพละกุล, บัณฑิต แจ่งอ่างหิน และ สุดารัตน์ อุ่นใจ. 2548. การศึกษาบดล็อกปูพื้นคอนกรีตผสมตะกอนประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กุลนรี ไตรนาถ. 2551. การใช้ประโยชน์กากตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำประปาเป็นดินปลูกพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศิลป์. 2544. การนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้ใหม่เพื่อลดปริมาณฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณัฐวิทย์ โตทินา. 2522. การดูดซับสารหนูโดยโดยใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและตะกอนสลัดจ์จากโรงประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ปภาวดี โชคสุวรรณกิจ. 2551. การลดซีโอไลต์และสีของน้ำกากส่าโดยใช้กากตะกอนระบบผลิตน้ำประปาถาลอยแอสฟัลท์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริศนา เสือแฮมเสริม. 2545. สมบัติบางประการของน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิงอร วิไลวงษ์. 2545. การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ไพฑูรย์ กิตติสุนทร, ศุภกร ศิริพจนกุล และ อมเรศ บกสุวรรณ. 2552. **ชลศาสตร์ของไหล**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ส.ศ.ท.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2537. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพมหานคร, กรุงเทพมหานคร.
- รัชฎาวรรณ พันธ์อำพน. 2540. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความขุ่นสูงและตกตะกอนยากมาผลิตน้ำประปาโดยการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โสภณ เอียดประพาฬ. 2545. การศึกษาเกณฑ์การควบคุมและประสิทธิภาพของถังกำจัดความขุ่นแบบใช้ชั้นตะกอนในระบบปรับคุณภาพน้ำโรงงานผลิตน้ำแพงพวย จังหวัดราชบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โอภาส แสงทองประกาย. 2546. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการสร้างตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Bina, B., M.H. Mehdinejad, M. Nikaeen and H. Movahedian. 2009. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**. 6: 247-252.
- Chow, CW., M. Yan, D. Wang, J. Qu and J. Ni. 2008. Enhanced coagulation for high alkalinity and micro-polluted water: The third way through coagulant optimization. **Water Research**. 42: 278-2286
- Elliott, H.A. and L.M. Singer. 1988. Effect of water treatment sludge on growth and elemental composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) shoot. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. 19: 345-354.
- Ishikawa, S., N. Ueda, Y. Okumura, Y. Iida and K. Baba. 2007. Recovery of coagulant from water supply plant sludge and its effect on clarification. **J Mater Cycles Waste Manag.** 9: 167-172

- Jiménez, B., M. Martinez and M. Vaca. 2007. Alum recovery and wastewater sludge stabilization with sulfuric acid. **Water Sci Technol.** 56: 133-41
- McCurdy, K., K. Carlson and D. Gregory. 2004. Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants. **Water Research.** 38: 486-494.
- Yan, M., D. Wang, J. Yu, J. Ni, M. Edwards and J. Qu. 2008. Enhanced coagulation with polyaluminum chlorides: Role of pH/Alkalinity and speciation. **Chemosphere.** 71: 1665-1673.



ภาคผนวก



หลักการทำงานของถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier

1. วัตถุประสงค์ของระบบ

ถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier Tank ประเภท Sludge Recirculation เป็นถังกลม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนบริเวณตรงกลางถึงเป็นพื้นที่ใช้สมานตะกอน(วงกลมด้านใน) และส่วนวงกลมด้านนอก(รัศมีด้านนอกถึง) เป็นพื้นที่ใช้สำหรับตกตะกอน หลักการคือท่อกระจายน้ำดิบเข้าบริเวณกลางถึงมีใบพัดประเภท Turbine Blade (วิธีกลศาสตร์) อยู่บริเวณด้านล่างหรือด้านบนท่อน้ำดิบเพื่อทำหน้าที่ให้เกิดการสมานตะกอนให้รวมตัวกันและเกิดการหมุนเวียนสลับจากบริเวณตกตะกอนไปยังเขตกวนน้ำซึ่งเป็นทางเข้าของน้ำดิบและสารเคมี บริเวณเขตหมุนเวียนสลับจะช่วยให้ตะกอนใหม่เกิดขึ้นได้เร็วสลับจะอยู่ในสถานะแขวนลอยและอยู่เป็นกลุ่มก้อนมากขึ้นตามความถ่วงจำเพาะของมันหรืออัตราเร็วของการไหลขึ้นของน้ำ การอัดตัวของสลับไม่ควรปล่อยให้มันขึ้น สลับในบริเวณดังกล่าวจะไม่ถูกระบายทิ้งแต่จะใช้สำหรับหมุนเวียนน้ำจะเคลื่อนตัวลงด้านล่างถึง

2. อัตราการผลิตน้ำ

อัตราการผลิตน้ำหน่วยลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยังไม่มีเอกสารยืนยันว่าค่าสูงสุดที่สามารถรับได้ต่อ 1 หน่วยถึงสามารถรับได้เท่าไร แต่จะพิจารณาจากค่าอัตราน้ำสิ้นผิว (Surface Loading) ประมาณ 2 – 4 เมตร/ชั่วโมง

3. หลักการทำงานของถัง Solid Contact Clarifier แบบ Sludge Recirculation

หลักการทำงานของถังตกตะกอนชนิดนี้คือเมื่อน้ำดิบผสมกับสารเคมีในท่อน้ำดิบก่อนเข้าสู่บริเวณกลางถึงตกตะกอน (ช่องตรงกลางถึง) บริเวณส่วนด้านบนจะมีอุปกรณ์สำหรับสร้างพลังงานเรียกว่า Drive Unit ประกอบด้วยชุดมอเตอร์(Motor Drive) และชุดเกียร์(Gear) เพื่อทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ และชุดมอเตอร์จะมีแกนเพลารอบติดกับใบพัดกวนประเภท Turbine Blade หรือแบบ Paddle อยู่บริเวณด้านล่างท่อน้ำดิบหรือสูงกว่าเพื่อกำหนดทิศทางการไหลของน้ำให้ขึ้นข้างบนหรือมุดลงด้านล่างถึงเพื่อสร้างสภาพความปั่นป่วนให้เกิดพลังงานระดับหนึ่งทำให้เกิดการสมานตะกอนเกิดการรวมตัวกันของตะกอนและหลังจากนั้นอนุภาคลอยดีที่ทำปฏิกิริยากับสารสร้างตะกอนจะเคลื่อนตัวโดยกระจายออกจากบริเวณโซนตรงกลางถึงผ่านลง

ด้านล่างเพื่อเข้าสู่โซนตกตะกอน (วงกลมรัศมีด้านนอก) การกระจายตัวของน้ำจะเป็นตามแนวรัศมีของถัง ตะกอนจะเคลื่อนตัวด้วยความเร็วระดับหนึ่งจากบริเวณด้านล่างถึงจนขึ้นมาที่ความสูงของถังระดับหนึ่งของถังความเร็วของตะกอนจะค่อยๆ ลดลงเป็นศูนย์และตกลงไปบริเวณด้านล่างถึงกลายเป็นกลุ่มตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ด้วยน้ำหนักของตะกอนและแรงโน้มถ่วงของโลก ตะกอนที่ตกลงมานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่ต้องกำจัดออกจากถัง (Sludge Disposal) และส่วนที่นำมาหมุนเวียนใหม่ (Slurry circulation) ส่วนที่ต้องกำจัดออกจากถังจะตกลงไปในช่องรับตะกอน (Sludge Hopper) หลังจากนั้นจะเกิดกลไกการอัดตัวกันของตะกอนซึ่งจะใช้ระยะเวลาหนึ่งจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการแล้วจะถูกระบายออกจากถังต่อไป และยังมีตัวกวาดตะกอนบริเวณด้านล่างถึงตกตะกอน (Sludge Scraper) เพื่อกำจัดตะกอนบริเวณด้านล่างถึงออกไปตะกอนส่วนที่นำมาหมุนเวียนใหม่ (Slurry circulation) จะเคลื่อนตัวลงมาบริเวณด้านล่างถึงและกลับเข้าไปบริเวณตรงกลางถึงทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาทำให้ตะกอนใหม่เกิดได้เร็ว โดยมีค่า Design Criteria ของตะกอนที่นำมาหมุนเวียนใหม่เท่ากับ 3 – 5 เท่าของอัตราการไหลน้ำเข้าถัง น้ำส่วนใสเท่านั้นที่สามารถผ่านขึ้นไปบริเวณด้านบนของถังสู่ท่อรับน้ำสะอาด (Trough or Launder) เพื่อไปสู่ถังกรองต่อไป จากกระบวนการทั้งหมดดังกล่าวทำให้กระบวนการเกิดน้ำใสสามารถทำได้เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิของน้ำดื่มสูงขึ้นได้มากขึ้น มีการเกาะรวมตัวกลายเป็นกลุ่มก้อนตะกอนได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าในน้ำดิบจะมีอนุภาคในปริมาณน้อยทำให้สามารถรับอัตราการไหลของน้ำได้สูงกว่าถังตกตะกอน โดยทั่วไป การเริ่มใช้งานถังตกตะกอน จำเป็นต้องมีการสร้างชั้นตะกอนขึ้นมาก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้อัตราการผลิตไม่เกิน 50 % ของอัตราการผลิตสูงสุด ถ้าใช้กำลังการผลิตสูงกว่านี้จะทำให้ตะกอนไม่มีการรวมตัวกันอยู่ในถังจะหลุดลอยออกไปกับน้ำ ระยะเวลาการสร้างชั้นตะกอนขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบและปริมาณสารเคมีที่ใช้ อาจใช้เวลาตั้งแต่ 3 ชั่วโมงขึ้นไปแต่โดยทั่วไปแล้วมักไม่เกิน 24 ชั่วโมง

4. ขั้นตอนการควบคุมระบบ

4.1. ขั้นตอนเตรียมการก่อนการเดินเครื่อง

4.1.1. ประสานงานสถานีสูบน้ำดิบและสถานีสูบจ่ายสารเคมีเพื่อเตรียมความพร้อมในการเดินเครื่อง

4.1.2. เตรียมความพร้อมของถังตกตะกอนให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำดิบที่เข้าถังตกตะกอน

4.1.2.1. เปิดวาล์วน้ำเข้า (Influent valve) 100 เปอร์เซนต์

4.1.2.2. เปิดวาล์วจ่ายสารเคมีตกตะกอนเข้าถังตกตะกอนปรับอัตราการจ่ายเข้าถังตกตะกอนให้เหมาะสมกับสภาพน้ำในเวลานั้นๆ

4.1.3. เดินและปรับรอบ Turbine Speed และ Sludge Scraper ให้เหมาะสมกับสภาพน้ำดิบ

4.1.4. ตรวจสอบสภาพทั่วไปของถังตกตะกอน เช่น เสียงของเครื่องจักรน้ำมันหล่อลื่น ชุดควบคุมการระบายตะกอน

4.2. การควบคุมถังตกตะกอน (Operation Clarifier) (กรณีเริ่มใช้งานครั้งแรก)

4.2.1. เปิดน้ำเข้าทาง Influent Valve ให้ได้ปริมาณ 50% ของอัตราการผลิตปกติ

4.2.2. ปิด Drain Valve ทั้งหมด (Sludge Drain valve และ Bottom Drain)

4.2.3. ปรับสารเคมีที่ใช้ในการสร้างตะกอนให้มากกว่าอัตราการจ่ายปกติ (ขึ้นอยู่กับสภาพและความขุ่นน้ำดิบขณะนั้น) ประมาณ 50 %

4.2.4. เดินเครื่องชุด Drive Unit ก่อนการเดินเครื่องให้ปรับ Speed ของ Turbine และ Sludge Scraper ไปที่ Minimum Speed และค่อยๆ เพิ่มขึ้นช้าๆ จนถึงระดับที่ออกแบบไว้ ส่วนหน้าจอบควบคุมของ Drive Unit Control ขึ้นอยู่กับการออกแบบว่าต้องการแบบไหน

4.3. การหยุดการใช้งานชั่วคราว กรณีหยุดจ่ายน้ำดิบเข้าถังตกตะกอน

4.3.1. ให้รักษาระดับของชั้นตะกอน โดยการปิด Drain Valve ทั้งหมดเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนถูกระบายทิ้ง ระหว่างที่ปิดใช้งานชั่วคราว

4.3.2. ชุด Drive Unit จำเป็นต้องทำงานอยู่เพียงแต่ลด Speed ของ Turbine ลงเพื่อยังรักษาค่าของ Concentration of Sludge ภายใน Reaction Zone

4.3.3. เมื่อมีการใช้งานครั้งต่อไปให้ปรับ Flow Rate ของน้ำดิบทาง Influent Valve ควรปรับช้าๆ เป็นช่วงๆ ประมาณ 5 ถึง 10 นาทีต่อครั้งอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการแตกตัวของตะกอนภายใน Reaction Zone

4.4. การเก็บตัวอย่างน้ำตะกอน (Sample Sludge) ควรมีการ Sample และบันทึกผลการวัดค่าตะกอนทุกๆ 3 ชั่วโมงทั้ง 4 จุด คือ

4.4.1. จุด Reaction Zone (บริเวณภายในโซนด้านใน) หรือ Reaction Well ระดับที่วัดจากพื้นของถังประมาณ 2.2 เมตร (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ)

4.4.2. จุด Concentration Zone (Bottom) ระดับที่วัดจากพื้นขอบถังประมาณ 0.3 เมตร (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ)

4.4.3. จุด Intermediate Zone (Middle) ระดับที่วัดจากพื้นขอบถังประมาณ 0.825 เมตร (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ)

4.4.4. จุด Clear Water Zone (Top) ระดับที่วัดจากพื้นขอบถังประมาณ 3.3 เมตร

4.4.5. การ Sample ใช้กระบอกตวงปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเปิดวาล์ว Sample Sludge โดยต้องทำการระบายตะกอนที่อยู่ในท่อ Sample Sludge ทิ้งไปก่อนประมาณ 5 วินาที แล้วค่อยเก็บตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อวัดเปอร์เซ็นต์ตะกอนแต่ละชั้นภายในถังตกตะกอน เพื่อเป็นแนวทางในการตั้งเวลาของการระบายตะกอน (Drain Sludge) ควรจะรักษาระดับชั้นของ Sludge ภายใน Reaction Zone และ Concentration Zone (Bottom) ให้คงมีอยู่

4.4.6. การรักษาเปอร์เซ็นต์ Sludge ใน Reaction Zone ประมาณ 1 – 20 % และที่ Concentration Zone (Bottom) ประมาณ 1 – 10 % แต่ต้องควบคุมไม่ให้เกิดที่ Middle หรือ Top

4.4.7. ในกรณีที่ค่าเปอร์เซ็นต์ตะกอนที่ Reaction Zone และ Bottom เกินค่าที่กำหนดไว้ หรือเกิดค่าที่จุด Middle จะต้องทำการเปิด Sludge Drain Valve เพื่อระบายตะกอนออกจากถัง โดยการเปิด Sludge Drain Valve ทำได้ดังนี้

4.4.7.1. เปิด Sludge Drain Valve ทั้ง 2 ตัวเพื่อระบายตะกอน ไม่เกินครั้งละ 10 นาที หรือทำการ Manual Drain มากหรือน้อยตามสภาพความเหมาะสมของปริมาณตะกอนในถัง

4.4.7.2. การเปิด Sludge Drain Valve สามารถควบคุมได้ที่ตัว Valve หรือจากห้องควบคุมระยะไกลผ่านระบบ PLC





การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนสดและตะกอนแห้ง

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ ตัวอย่างตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solid Contact Clarifier ดังภาพผนวกที่ ข1 และ ตัวอย่างตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon) ดังภาพผนวกที่ ข2



ภาพผนวกที่ ข1 ตัวอย่างตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solid Contact Clarifier



ภาพผนวกที่ ข2 ตัวอย่างตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon)

1. ความหนาแน่นรวมของตะกอนแห้ง

1.1 หลักการ

ความหนาแน่นรวม หมายถึง น้ำหนักของดินเมื่อแห้งสนิทต่อหน่วยปริมาตรรวมของดิน คือ น้ำหนักของดินเมื่อไม่มีน้ำหรือความชื้นอยู่เลยเปรียบเทียบกับปริมาตรของดินทั้งก้อน ซึ่งรวมทั้งปริมาตรของช่องว่างในก้อนดินด้วย ดินที่มีโครงสร้างดีในการเกษตรคือดินที่มีความร่วนซุยโปร่ง หรือพรุนมากนั่นคือดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำ คือมีน้ำหนักดินน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรรวมของดิน อย่างไรก็ตามหากที่จะกำหนดว่าความหนาแน่นรวมควรมีค่าเท่าใดจึงถือว่าดินนั้นๆเป็นดินที่มีโครงสร้างดี เพราะนอกจากโครงสร้างดินแล้ว ความหนาแน่นรวมของดินยังขึ้นกับคุณสมบัติอื่นๆของดินอีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือเนื้อดิน โดยเฉพาะดินที่มีเนื้อละเอียดมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ นั่นคือเมื่อเปรียบเทียบกับจากก้อนดินที่มีปริมาตรเท่ากันแล้วดินเนื้อละเอียดจะเบากว่าดินเนื้อหยาบ ทั้งนี้เพราะดินเนื้อละเอียดมีความพรุนหรือมีปริมาตรช่องว่างรวมทั้งหมดมากกว่าดินเนื้อหยาบ โดยทั่วไปดินเนื้อละเอียดมีความหนาแน่นรวมระหว่าง 1.0-1.3 กรัม/มล. ส่วนดินเนื้อหยาบมีค่าระหว่าง 1.2-1.7 กรัม/มล.

1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.2.1. เชือกหรือด้าย

1.2.2. ดาซัง 2 แขน

1.2.3. พาราฟิน

1.3 วิธีวิเคราะห์

1.3.1. นำตะกอนที่ผึ่งแห้งที่เตรียมไว้มาผูกเชือก นำไปชั่งน้ำหนักด้วยดาซัง 2 แขน ดังภาพผนวกที่ ข3



ภาพผนวกที่ ข3 การชั่งตะกอนแห้งด้วยตาชั่ง 2 แขน

1.3.2 นำตะกอนไปเคลือบพาราฟินซึ่งอุ่นด้วยแผ่นความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเห็นว่าพาราฟินเคลือบตะกอนเรียบร้อยแล้วจึงนำมาผึ่งลมเพื่อให้แห้งสนิท นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักก้อนดิน+พาราฟิน ดังภาพผนวกที่ ข4



ภาพผนวกที่ ข4 การนำตะกอนแห้งที่จุ่มพาราฟินผึ่งลมให้แห้ง

1.3.3 นำตะกอนที่เคลือบพาราฟินไปแขวนที่แขนของตาชั่ง โดยให้ก้อนตะกอนจุ่มลงไปมิดได้ผิวน้ำในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ (แต่อย่าให้แตะก้นบีกเกอร์) ก็จะได้น้ำหนักของก้อนตะกอน+พาราฟินในน้ำ หลังจากนั้นสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของตะกอนแห้งออกมาได้ ดังตารางภาพผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 ความหนาแน่นรวมของตะกอนแห้ง

ตัวอย่างตะกอน	W_{DS}	W_p	W_w	P_b
1/1	20.5	21.12	7.78	1.62
1/2	28.45	29.3	11.2	1.66
1/3	33.7	34.5	13	1.63
เฉลี่ย				1.64

$$\rho_p = \frac{W_{DS}}{\frac{(W_p - W_w)}{\rho_w} - \frac{(W_p - W)}{\rho_p}}$$

เมื่อ	P_b	=	ความหนาแน่นรวม (g/cm ³)
	W_{DS}	=	น้ำหนักตะกอนแห้ง (g)
	W_p	=	น้ำหนักตะกอนแห้ง+พาราฟิน (g)
	W_w	=	น้ำหนักตะกอนในน้ำ (g)
	ρ_w	=	ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 g/cm ³
	ρ_p	=	ความหนาแน่นของพาราฟินเท่ากับ 0.9 g/cm ³

2. ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินของตะกอนแห้ง

2.1. หลักการ

ความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของเนื้อวัตถุนั้นๆ ต่อน้ำหนักอุณหภูมิตั้งที่ 4 °C ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น ในมวลดินจะประกอบด้วยธาตุสารหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดิน คือ ค่าเฉลี่ยของธาตุสารจำเพาะของธาตุสารเหล่านั้น ความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานอีกค่าหนึ่ง ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณช่องว่าง ความอิ่มตัว ความพรุนและค่าอื่นๆ ได้

2.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1. ขวดแก้วฟลาซกันแบน ขนาดบรรจุ 500 ซม.

2.2.2. เตาแผ่นความร้อน

2.2.3. ปรัช

2.2.4. แท่งแก้วคน

2.2.5. กรวย

2.2.6. ตู้อบ

2.2.7. เครื่องชั่งละเอียด

2.3. วิธีวิเคราะห์

2.3.1. การหากราฟสำหรับหาน้ำหนักน้ำและขวดที่อุณหภูมิต่างๆ

2.3.1.1. ล้างขวดอย่างจำเพาะให้สะอาดเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่คอขวด

2.3.1.2. ต้มไล่ฟองอากาศหรือดูดด้วยปั๊มดูดอากาศประมาณ 10 นาที จน

ฟองอากาศหมด

2.3.1.3. ปรับระดับน้ำจนเสมอรระดับคอขวดพอดี เช็ดภายนอกขวดให้แห้งแล้ว
นำขวดไปชั่ง

2.3.1.4. วัดอุณหภูมิของน้ำภายในขวดให้ละเอียด โดยวัดที่หลายระดับ ถ้า
อุณหภูมิต่างกันมากให้ตะแกงขวดแล้วลึ่งไปมาเพื่อให้อุณหภูมิสม่ำเสมอแล้วบันทึกอุณหภูมิที่
ถูกต้อง ดังตารางที่ ข2

2.3.1.5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.3.1.3. และ 2.3.1.4. โดยให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

2.3.1.6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มและอุณหภูมิ ดังภาพผนวกที่ ข3

2.3.2. การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน

2.3.2.1. นำดินตัวอย่างที่แห้งประมาณ 50 กรัม ผสมน้ำกลั่นแล้วกวนให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่นให้มีส่วนผสมไม่เกิน 200 ลบ.ม.

2.3.2.2. เทส่วนผสมของดินลงในขวดหาความถ่วงจำเพาะ ขนาด 250 ลบ.ม. แล้วใช้น้ำกลั่นล้างดินที่ติดในภาชนะผสมลงในขวดให้หมด ระมัดระวังให้น้ำเกินขีดวัดปริมาตรที่คอขวด

2.3.2.3. ไล่ฟองอากาศโดยการต้มหรือดูดด้วยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมดแล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงระดับขีดคอขวดแล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง

2.3.2.4. หากระดับน้ำลดลงให้เติมน้ำจนถึงขีด แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1 กรัมแล้ววัดอุณหภูมิของดินในขวด

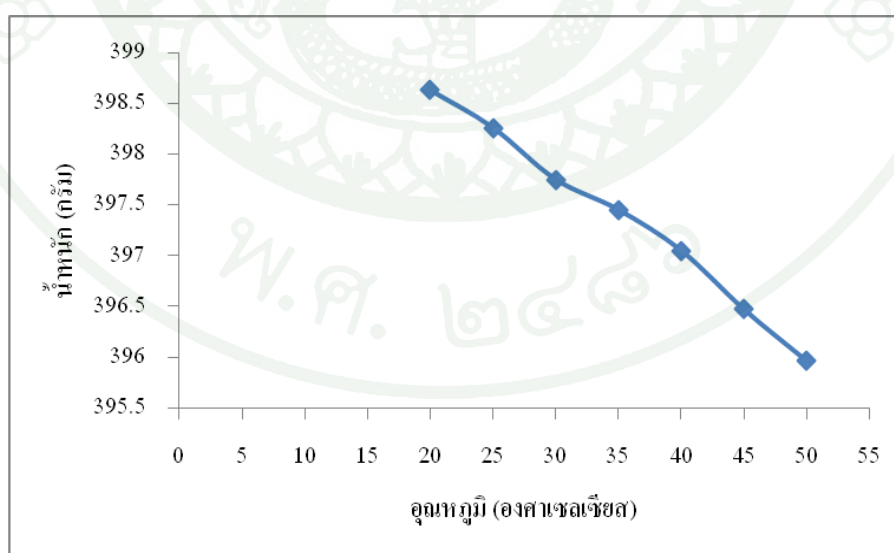
2.3.2.5. เทส่วนผสมของดินในขวดหาความถ่วงจำเพาะลงในถาด นำไปอบให้แห้งเพื่อชั่งหาน้ำหนักดินที่แน่นอนอีกครั้ง

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{W_s}{W_w \text{ ที่ } 4^\circ\text{C}} \\
 &= \frac{W_s}{[(W_D + W_B) - W_A] \times \frac{1}{G}} \\
 &= \frac{W_s G_T}{W_D + W_B - W_A}
 \end{aligned}$$

เมื่อ	W_D	=	น้ำหนักตะกอนอบแห้ง, กรัม
	W_A	=	น้ำหนักขวดมีน้ำผสมดิน ที่อุณหภูมิทดลอง
	W_B	=	น้ำหนักขวดมีน้ำเต็ม ที่อุณหภูมิที่ทดลอง, กรัม ซึ่งอ่านได้จากกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักขวดเต็มกับอุณหภูมิ
	G_T	=	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิทดลอง

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลของ อุณหภูมิและน้ำหนักของขวดที่มีน้ำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนัก (g.)
50	395.96
45	396.47
40	397.05
35	397.45
30	397.75
25	398.26
20	398.63



ภาพผนวกที่ ข5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มและอุณหภูมิ

ตารางผนวกที่ ข3 ความถ่วงจำเพาะของตะกอนแห้ง

ตัวอย่าง	Wa	Wb	Ws	K	Gs
1	397.68	426.93	47.69	0.9977	2.58
2	397.68	426.7	47.45	0.9977	2.57
3	397.68	426.78	47.62	0.9977	2.57
เฉลี่ย					2.57

3. ความชื้นของตะกอนแห้ง

3.1. หลักการ

ความชื้น เป็นการทดสอบพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของตะกอน เช่น แรงเฉือน อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัวของดิน เป็นต้น ค่าพิกัดแอตเตอร์เบิร์ก (Atterberg Limits) ต่างๆ ที่ทดสอบก็คือค่าความชื้นของตะกอนนั่นเอง (ในสถานะต่างกับความชื้นตามธรรมชาติ) การทดสอบความชื้นของตะกอนจึงมีความจำเป็นในงานทดสอบ ในทางปฏิบัติ ความชื้นของตะกอนหาได้จากการนำตัวอย่างตะกอนที่มีขนาดน้ำหนักมากพอ ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105-5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 - 24 ชั่วโมง จนตะกอนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้ววัดความชื้นของตะกอนเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักตะกอนแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์ ดินที่มีเม็ดละเอียดจะมีความชื้นได้สูงกว่าตะกอนที่มีเม็ดหยาบ เนื่องจากตะกอนเม็ดละเอียดมีพื้นที่เฉพาะ (Specific Surface) ซึมซับน้ำได้มากกว่า

3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1. ตู้อบ

3.2.2. เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม

3.3.3. กระป๋องใส่ตัวอย่างตะกอน

3.3.4. โถแก้วดูความชื้น

3.3. วิธีวิเคราะห์

3.3.1. ทำความสะอาดกระป๋องตัวอย่างตะกอน ตรวจสอบเบอร์กระป๋อง ชั่งน้ำหนักกระป๋อง (W_1) ถ้าเป็นกระป๋องแบบมีฝาปิด

3.3.2. ตรวจสอบสภาพตัวอย่างตะกอน เลือกตัวอย่างตะกอนที่เป็นตัวแทนตะกอนในกอง หรือคัดจากตัวอย่างตะกอนกองสภาพ ขนาดน้ำหนักตะกอนที่ใช้

3.3.3. บรรจุตัวอย่างตะกอนลงในกระป๋อง ถ้าเป็นตัวอย่างตะกอนที่เป็นก้อน ใช้มีดหั่นเป็นชิ้นบางๆ เพื่อให้แห้งง่าย ถ้าเป็นกระป๋องที่มีฝาปิด หลังบรรจุตัวอย่างเสร็จ ปิดฝาไว้

3.3.4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างตะกอนรวมกระป๋อง (W_2) ถ้าเป็นกระป๋องที่ไม่มีฝาปิด ต้องรีบชั่งตัวอย่างทันทีที่บรรจุตัวอย่างเสร็จ ส่วนกระป๋องมีฝาปิด หลังจากปิดฝาแล้ว อาจใส่ถาดรวมไว้หลายๆ ตัวอย่างจึงนำไปชั่งครั้งเดียวกัน

3.3.5. นำกระป๋องตัวอย่างเข้าอบในตู้อบ ถ้าเป็นกระป๋องตัวอย่างที่มีฝาปิด เปิดฝาดูดอากาศไล่ไอน้ำที่ก้นกระป๋อง การทดลองที่มีกระป๋องตัวอย่างหลายๆ กระป๋อง ควรหาภาชนะใส่กระป๋องรวมกัน เพื่อสะดวกในการค้นหาตัวอย่างที่แห้งแล้ว

3.3.6. หลังอบตัวอย่างไว้ข้ามคืน นำกระป๋องตัวอย่างคืนออกจากตู้อบ แล้วปิดฝากระป๋อง นำตัวอย่างกระป๋องตัวอย่างไปใส่ไว้ในอ่างแก้วดูความชื้น (ถ้ามี) ทิ้งไว้จนกระทั่งเย็น

3.3.7. นำกระป๋องตัวอย่างที่เย็นแล้วขึ้นชั่ง เป็นน้ำหนักตัวอย่างตะกอนแห้งรวมกระป๋อง (W_2) จดบันทึกน้ำหนักให้ถูกต้องตามเบอร์กระป๋อง นำไปคำนวณจะได้ค่าความชื้นตะกอนดังตารางที่ ข4

$$\text{ความชื้น}(W) = \frac{W_w \times 100}{W_s}$$

$$= \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

เมื่อ	W_w	=	น้ำหนักน้ำในตะกอน (g)
	W_s	=	น้ำหนักดินแห้ง (g)
	W_1	=	น้ำหนักกระป๋องตะกอน (g)
	W_2	=	น้ำหนักตัวอย่างตะกอนเปียก + กระป๋อง (g)
	W_3	=	น้ำหนักตัวอย่างตะกอนแห้ง + กระป๋อง (g)

ตาราง ข4 ค่าความชื้นของตัวอย่างตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	ค่าความชื้น %
ตัวอย่าง1/1	247.33	167.5	32.28
ตัวอย่าง1/2	246.28	170.31	30.85
ตัวอย่างที่1/3	248.33	166.96	32.77
เฉลี่ย			31.96

4. การวัดความเป็นกรด-ด่างของตะกอนแห้ง

4.1. หลักการ

การวัดพีเอชของตะกอนคล้ายคลึงกับการวัดพีเอชในสารละลาย วิธีที่นิยมวัดพีเอชของตะกอนมี 2 วิธี คือ

4.1.1. วิธี Colorimetry เป็นการวัดพีเอชของตะกอนโดยใช้อินดิเคเตอร์ มีหลักการว่า น้ำยาอินดิเคเตอร์ซึ่งเป็น acid-indicator จะเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของ H^+ แต่ค่าที่ได้จะไม่ละเอียดเท่ากับค่าที่วัดได้จาก pH meter โดยปกติค่าของ pH ที่วัดจากอินดิเคเตอร์ จะแตกต่างจากค่าที่วัดโดยใช้ pH meter ประมาณ 0.3 pH unit

4.1.2. วิธี Electrometry เป็นการวัดความต่างศักย์ระหว่าง glass electrode กับ reference electrode ที่จุ่มในตะกอนที่ละลายน้ำ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า pH meter หลักการของวิธีนี้ คือ glass electrode จะเปลี่ยนไปตามความเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ H^+ แต่ความต่างศักย์ของ reference electrode จะคงที่ ความต่างศักย์ที่วัดได้จะเปลี่ยนเป็นค่า pH ซึ่งวิธีนี้เหมาะกับการใช้ในห้องปฏิบัติการที่ต้องการความแม่นยำ

4.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

4.2.1. ปีกเกอร์

4.2.2. แท่งแก้วคน

4.2.3. กระบอกตวง 25 มิลลิลิตร

4.2.4. ขวดน้ำกลั่น

4.2.5. pH meter

4.3. วิธีวิเคราะห์

4.3.1. ชั่งตะกอน(ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร้อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm.) 10 g. ใส่ปิកเกอร์ขนาด 50 ml

4.3.2. ตวงน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ใส่ในตัวอย่างตะกอน

4.3.3. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ขณะที่ตั้งทิ้งไว้ให้คนเป็นครั้งคราว

4.4.4. วัดตัวอย่างของตะกอนด้วยเครื่อง pH meter ค่าพีเอชที่ได้ ดังตารางที่ ข5

ตารางผนวกที่ ข5 ข้อมูลค่าพีเอชของตะกอนสดและตะกอนแห้ง

ตัวอย่างตะกอน	พีเอช (pH)
ตะกอนแห้ง	7.12
ตะกอนสด	7.05

5. การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) โดยวิธีทำให้แห้งที่ 103-105 °C ของตะกอนสด

5.1. หลักการ

กรองตัวอย่างตะกอนสดผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่ทราบน้ำหนัก ตะกอนที่ติดอยู่บนกระดาษกรองนำไปอบแห้งที่ 103-105 °C และทำให้เย็นในโถทำแห้งและนำไปชั่ง น้ำหนักที่เพิ่มคือน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดต่อปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้

5.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

5.2.1. โถแก้วดูดความชื้น พร้อมสารดูดความชื้น

5.2.2. ตู้อบ ที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

5.2.3. ตาชั่งละเอียด สามารถชั่งได้ถึง 0.0001 กรัม

5.2.4. กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 ซม.

5.2.5. ชุดกรอง ประกอบด้วย Membrane filter funnel หรือ ถ้วยกรองกุชหรือกรวย

บุคเนอร์

5.2.6 เครื่องดูดสุญญากาศ พร้อมขวดดูดสุญญากาศ

5.2.7 ถ้วยอลูมิเนียมฟอยด์

5.2.8. ปากคืบ

5.3. วิธีวิเคราะห์

5.3.1. นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ปลอ่ยให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น

5.3.2. ชั่งกระดาษกรอง GF/C สมมุติน้ำหนัก A กรัม บนถ้วยอลูมิเนียมฟอยด์

5.3.3. ใช้ปากคืบหยิบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งติดต่อกัน เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อจนน้ำออกให้แห้ง ทิ้งน้ำล้างไป

5.3.4. นำตะกอนสดมา 5 มิลลิตร เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรลงกรองโดยค่อยๆ เทและน้อยอย่างต่อเนื่อง นิดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่างเทลงกรองและน้ดน้ำกลั่นที่ด้านข้างของกรวยบุคเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปลอ่ยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกจนแห้ง ปิดเครื่อง

5.3.5. ใช้ปากคืบหนีบขอบกระดาษกรองขึ้นวางบนถ้วยอลูมิเนียมฟอยด์ นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C อย่างน้อยเป็นเวลา 1 ชม. นำออกจากตู้อบ ปลอ่ยให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมุติมีน้ำหนัก B กรัม ดังภาพผนวกที่ ข6

5.3.6. ควรทำข้อ 5.3.5. ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 4 % ของน้ำหนักครั้งก่อนหรือประมาณ 0.5 มก. ดังตารางภาคผนวกที่ ข5



ภาพผนวกที่ ข6 วิธีหาค่า SS ของตะกอนสด

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก.ล.)} = \frac{(B_G - A_G) \times 10^6}{C_G}$$

เมื่อ A_G = น้ำหนักกระดาศกรongอย่างเดียว (g)
 B_G = น้ำหนักกระดาศกรongและของแข็ง (g)
 C_G = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (ml.)

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ของตะกอนสด

ตัวอย่าง	น้ำหนักกระดาศกรong (g.)	น้ำหนักกระดาศกรongหลังอบ (g.)	ค่า SS
ตัวอย่าง1/1	0.0914	0.1773	17,180
ตัวอย่าง1/2	0.0916	0.178	17,280
ตัวอย่าง1/3	0.0923	0.1774	17,020
เฉลี่ย			17160

6. ความหนาแน่น (Density) ของตะกอนสด

6.1. หลักการ

สำหรับตัวอย่างที่เป็นของผสมในรูปของของไหล เช่น น้ำดิน และน้ำเคลือบ เราสามารถใช้การชั่งน้ำหนักในการหาค่าความหนาแน่น โดยนำหลักการตามทฤษฎีที่กล่าวว่า ความหนาแน่นได้แก่อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรมาใช้ ซึ่งมีวิธีการปฏิบัติในการทดสอบดังนี้

6.2. วิธีวิเคราะห์

6.2.1. ชั่งน้ำหนักภาชนะที่รู้ปริมาตร บันทึกน้ำหนักภาชนะเป็น W (กรัม)

6.2.2. ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะ บันทึกปริมาตรตัวอย่างเป็น V (ลูกบาศก์-เซนติเมตร) ชั่งน้ำหนักและบันทึกเป็น Ws (กรัม)

6.2.3. คำนวณตามสูตรการคำนวณจะได้ค่าความหนาแน่นของตะกอนสด ดังตารางภาคผนวกที่ ข7

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่น } (\rho) &= \text{มวลของวัตถุ} / \text{ปริมาตรของวัตถุ} \\ &= (W_s - W) / V \end{aligned}$$

เมื่อ	ρ	=	ความหนาแน่นของตะกอนสด (kg/m^3)
	W_s	=	น้ำหนักของตัวอย่างและภาชนะ (g)
	W	=	หมายถึงน้ำหนักของภาชนะที่รู้ปริมาตร (g)
	V	=	ปริมาตรของตัวอย่างในภาชนะ (cm^3)

ตารางผนวกที่ ข7 ข้อมูลความหนาแน่นของตะกอนสด

ตัวอย่าง	น้ำหนักของ บีกเกอร์ (g.)	ปริมาตรของ ตัวอย่าง (cm ³)	น้ำหนักบีกเกอร์+ ตัวอย่าง (g.)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
1/1	69.49	171.88	100	1.02	1023
1/2	69.49	171.88	100	1.02	1023
1/3	69.49	171.84	100	1.02	1023
เฉลี่ย					1023

7. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

7.1.1 หลักการ

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของตะกอนเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันหรืออัตราส่วนของมวลสารเทียบกับมวลของน้ำที่มีปริมาตรค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนสดมีค่า ดังตารางผนวกที่ ข8

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ } S = \frac{\rho}{\rho_w}$$

เมื่อ

$$S = \text{ความถ่วงจำเพาะของตะกอนสด (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของตะกอนสด (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m}^3\text{)}$$

ตารางผนวกที่ ข8 ข้อมูลความถ่วงจำเพาะของตะกอนสด

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)	ความถ่วงจำเพาะ
1/1	1,020	1,000	1.02
1/2	1,020	1,000	1.02
1/3	1,020	1,000	1.02
เฉลี่ย			1.02

8. น้ำหนักจำเพาะ (Weight)

น้ำหนักจำเพาะ คือ แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำกับของไหลหนึ่งหน่วย ดังนั้นจึงมีหน่วยของแรงต่อปริมาตรนั้นคือ N/m^3 น้ำหนักจำเพาะของตะกอนสดมีค่าดังตารางผนวกที่ ข9

$$\text{น้ำหนักจำเพาะ } \gamma = \rho g$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะของตะกอนสด (N/m^3)
 g = ค่าโน้มถ่วงสากล (m/s^2)
 ρ = ความหนาแน่นตะกอนสด (kg/m^3)

ตารางผนวกที่ ข9 ข้อมูลน้ำหนักจำเพาะของตะกอนสด

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	g (m/s^2)	น้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)
ตัวอย่างที่2/1	1020	9.81	10,006.2
ตัวอย่างที่2/2	1020	9.81	10,006.2
ตัวอย่างที่2/3	1020	9.81	10,006.2
เฉลี่ย			10,006.2



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่นต่างๆ

1. สภาพด่าง (Alkalinity)

1.1. หลักการ

สภาพด่างของน้ำเป็นความสามารถของน้ำที่สะเทินกรดหรือที่จะรับโปรตอน สภาพด่างของน้ำเกิดจากองค์ประกอบของสารละลายที่สำคัญ 3 ชนิดด้วยกัน คือ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ในทางปฏิบัติถือว่า น้ำจะมีสารละลายด่างอย่างมากเพียง 2 ชนิดที่ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของน้ำ สภาพด่างมีความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำธรรมชาติและน้ำเสียต่างๆ เช่น ใช้ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี การกำจัดความกระด้าง การควบคุมการกัดกร่อน และการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นต้น สภาพด่างของน้ำหาได้โดยการไตเตรตน้ำนั้นด้วยกรดแก่ที่แตกตัวให้ H^+ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน จนกระทั่งถึงจุดสมมูลของไบคาร์บอเนตและกรดคาร์บอนิกตามลำดับ วิธีบอกถึงจุดสมมูลหรือจุดยุติของการไตเตรตมี 2 วิธี คือ การใช้อินดิเคเตอร์และการใช้อินดิเคเตอร์ที่ไขมี 2 อย่าง คือ ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein) และเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) หรือส่วนผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีน (Bromocresol Green) และเมทิลเรด (Methyl Red) ก็ได้ สภาพด่างที่วัดได้โดยใช้ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์ เรียกว่า สภาพด่างฟีนอล์ฟทาเลอินหรือ P-Alkalinity ส่วนสภาพด่างที่วัดได้โดยใช้เมทิลออเรนจ์หรืออินดิเคเตอร์ผสมเรียกว่า สภาพด่าง MO หรือ T-Alkalinity ในกรณีที่ใช้ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นตัวบอกจุดยุติของการไตเตรต ค่า P-Alkalinity จะมีจุดยุติอยู่ที่พีเอชประมาณ 8.3 ส่วนจุดยุติของ T-Alkalinity จะอยู่ที่พีเอชประมาณ 4.3-4.5 วิธีวิเคราะห์สภาพด่าง แบ่งออกเป็น 2 วิธี

1.1.1. วิธีโพเทนทิโอเมตริก (Potentiometric Method)

1.1.2. วิธีอินดิเคเตอร์ (Indicator Method)

วิธีอินดิเคเตอร์เหมาะสำหรับน้ำธรรมชาติ น้ำทิ้งที่ไม่มีสีและไม่มี ความขุ่นรบกวนเพราะสามารถมองเห็นสีของอินดิเคเตอร์ได้ชัดเจน ถ้าน้ำขุ่นและมีสีมากควรใช้วิธีโพเทนทิโอเมตริกมากกว่าเพราะใช้ฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นตัวบอกจุดยุติของการไตเตรตแทนการใช้สี

1.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.2.1. บิวเรต

1.2.2. ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มล.

1.2.3. ปิเปต

1.3. สารเคมี

1.3.1. น้ำที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ คั้นน้ำกลั่นให้เดือดและทิ้งให้เย็นทำ
อุณหภูมิห้อง ใช้น้ำนี้เพื่อเตรียมน้ำยาเคมีหรือสำหรับการเจือจาง

1.3.2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

1.3.3. สารละลายเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์

1.3.4. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเมทิลเรด

1.3.5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล

1.3.6. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ประมาณ 0.05 นอร์มัล

1.3.7. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 1.00 นอร์มัล (เพื่อใช้เตรียม 0.1 นอร์มัลและ
0.02 นอร์มัล)

1.3.8. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.100 นอร์มัล

1.3.9. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.0200 นอร์มัล

1.4. วิธีวิเคราะห์

1.4.1. การเลือกปริมาตรตัวอย่าง ถ้าเป็นน้ำธรรมชาติทั่วไปมักใช้ตัวอย่าง 50 มล. หรือโดยเลือกปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ปริมาตรกรดในการไตเตรตไม่เกิน 25 มล. และเลือกความเข้มข้นของกรดซัลฟริก 0.02 นอร์มัล สำหรับสภาพด่างน้อยกว่า 1,000 มล./ล. ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ถ้ามากกว่าควรใช้ 0.1 นอร์มัล

1.4.2. ถ้าต้องการทราบสภาพด่างฟีนอล์ฟทาไลน์ (P) ปิเปตตัวอย่างใส่ขวดรูปกรวย หยดฟีนอล์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ 2 หยด ลงในน้ำตัวอย่าง ทำการ ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟริก จนกระทั่งสีชมพูของน้ำตัวอย่างหายไป ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาไลน์ลงในตัวอย่างแล้วไม่เกิดสีชมพูแสดงว่าไม่มีสภาพด่างฟีนอล์ฟทาไลน์ จดปริมาตรกรดที่ใช้ คอยปกติถ้าพิเศษของตัวอย่าง น้อยกว่า 8.3 จะไม่มีสภาพด่าง P

1.4.3. ถ้าต้องการทราบสภาพด่างทั้งหมด (T) ปิเปตตัวอย่างใส่ขวดรูปกรวย หยดเมทิลออเรนจ์โดยไตเตรตจากสีเหลืองเป็นสีส้ม จดปริมาตรที่ใช้ถ้าใช้ตัวอย่างน้ำเดิมจากข้อ 1.4.2. ต้องคำนวณสภาพด่างทั้งหมดจากปริมาตรกรดรวมที่ได้จากข้อ 1.4.2. และ 1.4.3.

$$\text{สภาพด่าง P} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (l)}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตจนถึงจุดยุติของฟีนอล์ฟทาไลน์
 N = นอร์มัลลิตีของสารละลายกรดมาตรฐาน
 P = สภาพด่างมีหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

$$\text{สภาพด่าง M.O.} = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตถึงจุดยุติของเมทิลออเรนจ์

ในกรณีที่หาสภาพด่าง M.O. โดยไตเตรตต่อจากการหาสภาพด่าง P สภาพด่างทั้งหมด

$$\text{สภาพด่างทั้งหมด} = \text{M.O. Alkalinity} + \text{P.Alkalinity}$$

ในกรณีหาสภาพด่าง M.O. โดยไตเตรตจากตัวอย่างน้ำใหม่

$$\text{สภาพด่างทั้งหมด} = \text{M.O. Alkalinity}$$

สภาพความเป็นด่างของตัวอย่างน้ำดิบที่มีค่า ดังตารางผนวกที่ ค1

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลสภาพด่างของตัวอย่างน้ำดิบ

Raw Water (NTU)	Volume (ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	Alkalinity (mg/l)
19.1	100	7.7	77
	100	7.6	76
	100	7.7	77
46.1	100	7.6	76
	100	7.4	74
	100	7.6	76
47.4	100	9.2	92
	100	9.3	93
	100	9.2	92
53.0	100	8.3	83
	100	8.1	81
	100	8.0	80
87.9	100	6.5	65
	100	6.7	67
	100	6.7	67

2. พีเอช (pH)

2.1. หลักการ

พีเอชเป็นลักษณะทางเคมีของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากและมีความสัมพันธ์กับระบบต่าง ๆ มากมาย งานวิเคราะห์น้ำมักจะวัดพีเอชด้วยทุกครั้งเนื่องจากวัดได้ง่าย วิศวกรสิ่งแวดล้อมใช้พีเอชเป็นตัวควบคุมของกระบวนการต่างๆทั้งในน้ำดีและน้ำเสีย เช่น ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย การตกตะกอน กระบวนการโคแอกกูเลชัน การกักกรอง เป็นต้น พีเอชสามารถใช้หาค่าสภาพต่าง ค่าคาร์บอนไดออกไซด์และสมดุลกรด-ด่างอื่นๆได้ ตลอดจนแสดงค่าความเข้มข้นของกรด-ด่างของสารละลายได้ พีเอช หมายถึง ค่าลบของ Logarithm ของความเข้มข้นของ H^+

$$pH = -\log [H^+]$$

ในทางทฤษฎีถือว่า พีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 น้ำบริสุทธิ์มีพีเอชเท่ากับ 7 น้ำที่มีพีเอชสูงกว่า 7 ($[H^+]$ มีค่าน้อยกว่า 10^{-7}) ถือว่าเป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 ($[H^+]$ มีค่ามากกว่า 10^{-7}) ถือว่าเป็นกรด H^+ เกิดขึ้นจากการแตกตัวของกรดในน้ำ น้ำผิวดินมักมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.5 น้ำใต้ดินมีพีเอชต่ำกว่า 6 เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำอยู่ในปริมาณสูง น้ำในบ่อหรืออ่างเก็บน้ำอาจมีพีเอชสูงได้ถึง 9 หรือมากกว่า ถ้ามีสาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโตและทำการสังเคราะห์แสงภายในแหล่งน้ำนั้น การวัดค่าพีเอชอาจทำได้ 2 วิธี คือ วิธีเทียบสี (Colorimetric) และวิธีไฟฟ้า (Electrometric)

2.1.1. วิธีเทียบสี (Colorimetric) การวัดพีเอชของตัวอย่างน้ำโดยวิธีเทียบสีเป็นการวัดพีเอชโดยการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซึ่งทราบค่าพีเอช เมื่อใส่อินดิเคเตอร์จำนวนเท่ากันลงในสารละลายทั้งสอง ในทางปฏิบัติที่นิยมกันอีกแบบคือ ใช้กระดาษวัดพีเอชสีที่เกิดขึ้นจะนำมาเปรียบเทียบกับแถบสีต่างๆที่รู้ค่าพีเอช ค่าที่วัดโดยใช้กระดาษวัดพีเอชมักไม่ถูกต้องและละเอียดเหมือนวิธีใช้ไฟฟ้า แต่สะดวกในการใช้

2.1.2. วิธีไฟฟ้า การวัดสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัด ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) อิเล็กโทรดจะ

เปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากอออนให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าแล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัดพีเอช

2.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) เครื่องวัดพีเอชเป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัด พีเอชของสารละลายโดยหลักการวัดความต่างศักย์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง

2.3. สารเคมี

2.3.1. สารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์) สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารอินทรีย์ จึงอาจเสื่อมคุณภาพเพราะการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือสารปนเปื้อนของสารอื่น ดังนั้น จึงควรเตรียมใช้ใหม่เสมอ

2.4. วิธีวิเคราะห์

2.4.1. หลังจากเปิดเครื่องวัดพีเอช ควรปล่อยให้เครื่องร้อนอย่างน้อย 15 นาทีก่อนใช้งาน

2.4.2. ปรับมาตรฐานเครื่องให้พร้อมก่อนวัดตัวอย่าง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชแน่นอน

2.4.3. ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดพีเอช ต้องปล่อยให้อุณหภูมิคงที่เสียก่อน เช่น ในกรณี que ตัวอย่างน้ำแช่เย็นไว้ต้องนำออกจากตู้เย็นตั้งทิ้งจนหายเย็นจึงนำไปวัดพีเอช เพราะค่าพีเอชจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

2.4.4. ก่อนวัดเขย่าตัวอย่างให้เข้ากันดี เทใส่บีกเกอร์และวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรดแล้วเปิดเครื่องกวนให้หมุนเบาๆ จนตัวเลขค่าพีเอชหยุดนิ่ง อ่านค่าพีเอชของน้ำ ตัวอย่าง ค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำดิบมีค่า ดังตารางผนวกที่ ก2

2.4.5. เมื่อจะวัดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษหรือผ้านุ่มๆแล้วจึงวัดตัวอย่างต่อไป

ตารางผนวกที่ ค2 ข้อมูลค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำดิบ

Raw Water (NTU)	pH
19.1	7.52
46.1	7.54
47.4	7.52
53.0	7.62
87.9	7.60

3. ความขุ่น (Turbidity)

3.1. หลักการ

ความขุ่น หมายถึง สิ่งแขวนลอยที่กั้นทางเดินแสงในน้ำ ความขุ่นเกิดจากสิ่งแขวนลอยนานาชนิดที่มีความแตกต่างกันอาจเป็นพวกอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอนและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการกระจัดกระจายและดูดซึมขอแสงแทนที่จะทำให้แสงผ่านเป็นเส้นตรง สิ่งแขวนลอยที่เป็นความขุ่นในน้ำจะเป็นสิ่งใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำไหลผ่าน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความขุ่นเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินมักไม่มีความขุ่น ความขุ่นสามารถสังเกตได้ง่าย จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการตัดสินใจ ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือไม่และยังเป็นอุปสรรคต่อการฆ่าเชื้อโรคในการผลิตน้ำประปาเพราะเชื้อโรคอาจแฝงตัวหลบซ่อนอยู่กับความขุ่นได้ นอกจากนี้ยังเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการกรองน้ำ ความขุ่นของน้ำอาจวัดได้ 2 วิธี วัดปริมาณแสงที่ส่องทะลุความขุ่น (Turbidimetry) หรือวัดปริมาณแสงที่กระทบความขุ่นและสะท้อนออกมาในทิศตั้งฉากกับลำแสง (Nephelometry) ความขุ่นในน้ำมีหน่วยเป็น NTU หรือ JTU ก็ได้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่วัดความขุ่น NTU เป็นหน่วยความขุ่นที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Nephelometry ส่วน JTU เป็นหน่วยความขุ่นที่ได้จากอุปกรณ์ที่เรียกว่า Jackson Turbidimeter ซึ่งวัดปริมาณแสงที่เหลือจากการส่องผ่านอนุภาคของความขุ่น ไม่ว่าหน่วยวัดความขุ่นจะเป็นชนิดใดส่วนมีค่าเท่ากัน เนื่องจากได้มีการเปรียบเทียบให้มีค่าเท่ากับความขุ่นมาตรฐานซิลิกา (SiO_2) 1 มล. ในน้ำ 1 ลิตร ถือว่ามีความ

ขุ่นเท่ากับ 1 หน่วยมาตรฐานในปัจจุบันนิยมใช้ Nephelometer มากกว่า เนื่องจากวัดความขุ่นได้ง่าย และสะดวก

3.1.1. หลักการของวิธีเนฟโฟโลเมตริก วิธีนี้วัดความขุ่นโดยเปรียบเทียบความเข้มแสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างกับสารมาตรฐานภายในสภาวะเดียวกัน ความเข้มแสงที่กระจัดกระจายมากก็就会有ความขุ่นมาก สารละลายความขุ่นมาตรฐานที่ใช้ คือ ฟอร์มาซินโพลิเมอร์ ประกอบด้วยสารละลาย 2 อย่าง คือ สารละลายไฮดราซีนซัลเฟตกับสารละลายเฮกซาเมทิลเตตระมิน

3.1.2. สิ่งรบกวนการวิเคราะห์ คือ สิ่งเน่าเปื่อยและตะกอนหยาบ ซึ่งตกตะกอนเร็ว, เครื่องแก้วที่สกปรก มีรอยขีดข่วน, ฟองอากาศ, การสั่นสะเทือนที่รบกวนผิวน้ำ, ตัวอย่างน้ำที่มีสี ซึ่งเป็นสิ่งจริง ซึ่งเกิดจากสารที่ละลายน้ำดูดซึมแสงทำให้ค่าความขุ่นที่วัดต่ำไป

3.1.3. การเก็บและรักษาตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างน้ำควรรีบวัดความขุ่น แต่ถ้ามาสามารถทำได้ให้เก็บไว้ในที่มืดและไม่ควรเกิน 24 ชม. ก่อนวัดความขุ่นต้องเขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน อย่างดีก่อน

3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1. เครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟโฟโลมิเตอร์

3.2.2. หลอดวัดตัวอย่างน้ำ (Sample Tubes) หลอดวัดตัวอย่างน้ำต้องเป็นแก้วใสไม่มีสีต้องดูแลให้สะอาดอยู่เสมอทั้งด้านนอกด้านในอย่าให้มีรอยขีดข่วน

3.3. วิธีวิเคราะห์

3.3.1. เปิดเครื่องวัดความขุ่นและเตรียมเครื่องตามคู่มือผู้ใช้และวัดความขุ่นของน้ำตัวอย่าง

3.3.2. น้ำตัวอย่างต้องเขย่าให้เข้ากันดีก่อนเทใส่หลอดวัดตัวอย่างเพื่อนำไปวัดความขุ่น ค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบมีค่า ดังตารางผนวกที่ ก3

3.3.3. เครื่องวัดความขุ่นบางรุ่นจะมีสารละลายมาตรฐานความขุ่นมาใช้แล้วต้องมีการตรวจเช็คว่าคุณภาพหรือไม่ โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานความขุ่นที่เตรียมขึ้น

3.3.4. ถ้าตัวอย่างน้ำมีความขุ่นเกินที่เครื่องมือจะวัดได้ให้เจือจางตัวอย่างน้ำลงก่อน

ตารางผนวกที่ ค3 ข้อมูลค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำดิบ

Raw Water	Turbidity
1	19.1
2	46.1
3	47.4
4	53.0
5	87.9



วิธีวิเคราะห์และข้อมูลการทำ Jar Test

หลักการ

การตกตะกอนทางเคมีของน้ำจัดเป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะน้ำประปาที่มาจากผิวดินและยังใช้ในการกำจัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย การสร้างตะกอนไม่จัดเป็นการวิเคราะห์น้ำ แต่เป็นการทดลองเชิงปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนของน้ำนั้น วัตถุประสงค์เพื่อกำจัดความขุ่น สี แบคทีเรีย สาหร่าย สารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรส รวมถึงกำจัดฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้น ค่ากำหนดที่ใช้ในการตกตะกอนทางเคมีของน้ำ คือ สี ความขุ่น พีเอช คาร์บอนไดออกไซด์ (ความเป็นกรด, ความเป็นด่าง) และความกระด้างของน้ำ

การสร้างตะกอนประกอบด้วยกลไก 2 ชนิด กลไกแรกเป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่นด้วยการเติมสารเคมีลงไปในถังกวนเร็ว เพื่อให้การกระจายของสารเคมีเป็นไปได้อย่างดีและทั่วถึงเป็นการเกิดการสูญเสียการอยู่ตัวของอนุภาคในน้ำ กลไกที่สอง เป็นการทำให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วสัมผัสกัน เพื่อให้มีโอกาสดับตัวกันจนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น เกิดเป็นกลุ่มปุย เรียกว่า ฟล็อก (การรวมตัวของตะกอน) โดยการผสมเบาๆและใช้เวลานาน จะเปลี่ยนอนุภาคจากขนาดเล็กๆให้เป็นขนาดใหญ่ซึ่งมองเห็นได้และจะตกตะกอนอย่างเร็วในถังตกตะกอน

สารเคมีที่เติมลงไป เรียกว่า สารสร้างตะกอน ซึ่งเมื่อเติมลงในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ภายหลังจากมีการเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำแล้ว พีเอชของน้ำจะลดลงเล็กน้อย ความเป็นด่างจะลดลงด้วย $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ จะถูกเปลี่ยนเป็น CaSO_4 ปริมาณความกระด้างไม่เปลี่ยนรูปแบบจากความกระด้างชั่วคราวเป็นความกระด้างถาวร ในกรณีที่ความเป็นด่างในน้ำไม่เพียงพออาจต้องมีการเติมสารเคมีเพิ่มลงไป เช่น ปูนขาว โซดาแอช โซดาไฟและโซเดียมหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ การทำจาร์เทสเป็นวิธีทดลองเพื่อหาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี ฟอสฟอรัสและโลหะหนักจากน้ำเสีย ซึ่งเป็นวิธีทดลองในห้องปฏิบัติการที่ผลยอมรับได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร 6 ใบ
2. อุปกรณ์จารีต ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้

สารเคมี

1. สารส้ม 1%
2. กรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

วิธีวิเคราะห์

1. วิเคราะห์น้ำตัวอย่างเพื่อหาค่า สี ความขุ่น พีเอช สภาพกรด สภาพด่าง หรือพารามิเตอร์อื่นๆขึ้นกับตัวอย่างน้ำที่ทดลอง
2. ตวงน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์ 6 ใบๆละ 1 ลิตร วางบนเครื่องกวน
3. เติมสารละลายสารส้มเข้มข้น 1 มล. = 10 มก. สารส้มลงใบบีกเกอร์ในปริมาณที่ต่างหากัน
4. กวนเร็ว 100 rpm เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้า 40 rpm เป็นเวลา 20 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้ตกตะกอน เป็นเวลา 30 นาที สังเกตดูการจมตัวของตะกอน
6. นำน้ำใสจากด้านบนโดยมิให้กระทบต่อตะกอนที่จมอยู่ที่ก้นบีกเกอร์ นำไปวิเคราะห์ความขุ่น ค่าพีเอชและความเป็นด่าง

7. พลัฏฐกราพระหว่างปริมาณสารส้มและความชุ่ม



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีของน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ชุดที่ 1

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	Alum Dose (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	pH ปรับ ค่า	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							Turbidity (NTU)	Alkalinity (mg/l)	pH
19.1	1/1	7.52	1,000	50	77	5.5	6.11	8	4.51
	1/2	7.52	1,000	50	77	6.0	1.93	12	5.45
	1/3	7.52	1,000	50	77	6.5	1.37	33	6.18
	1/4	7.52	1,000	50	77	7.0	1.46	46	6.54
	1/5	7.52	1,000	50	77	7.5	1.54	58	6.77
46.1	1/1	7.54	7.52	70	75	5.5	7.35	11	4.28
	1/2	7.54	7.52	70	75	6.0	3.36	12	4.48
	1/3	7.54	7.52	70	75	6.5	1.84	22	5.11
	1/4	7.54	7.52	70	75	7.0	1.94	34	5.82
	1/5	7.54	7.52	70	75	7.5	2.36	46	6.28
47.4	1/1	7.52	1,000	70	92	5.5	1.43	10	4.55
	1/2	7.52	1,000	70	92	6.0	0.80	12	4.99
	1/3	7.52	1,000	70	92	6.5	0.66	30	5.98
	1/4	7.52	1,000	70	92	7.0	1.68	49	6.36

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	Alum Dose (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	pH ปรับ ค่า	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							Turbidity (NTU)	Alkalinity (mg/l)	pH
47.4	1/5	7.52	1,000	70	92	7.5	1.54	57	6.50
53	1/1	7.62	1,000	70	81	5.5	2.01	9	4.47
	1/2	7.62	1,000	70	81	6.0	1.07	11	4.77
	1/3	7.62	1,000	70	81	6.5	0.83	24	5.83
	1/4	7.62	1,000	70	81	7.0	1.43	35	5.89
	1/5	7.62	1,000	70	81	7.5	1.81	46	6.46
89.7	1/1	7.60	1,000	70	76	5.5	7.35	11	4.28
	1/2	7.60	1,000	70	76	6.0	3.36	12	4.48
	1/3	7.60	1,000	70	76	6.5	1.84	22	5.11
	1/4	7.60	1,000	70	76	7.0	1.94	34	5.82
	1/5	7.60	1,000	70	76	7.5	2.38	46	6.08

ตารางผนวกที่ ง2 ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังจากทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอน ชุดที่ 1

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	6.5	77	33	6.36	35	1.87
	1/2	7.52	1,000	6.5	77	34	6.36	32	1.65
	1/3	7.52	1,000	6.5	77	35	6.35	32	1.53
	1/4	7.52	1,000	6.5	77	36	6.32	34	1.55
	1/5	7.52	1,000	6.5	77	37	6.26	34	1.88
	1/6	7.52	1,000	6.5	77	38	6.19	34	2.14
46.1	1/1	7.54	1,000	6.5	75	64	6.22	23	2.13
	1/2	7.54	1,000	6.5	75	65	6.10	22	1.51
	1/3	7.54	1,000	6.5	75	66	6.10	20	1.13
	1/4	7.54	1,000	6.5	75	67	5.97	20	1.21
	1/5	7.54	1,000	6.5	75	68	5.89	19	1.31
	1/6	7.54	1,000	6.5	75	69	5.84	19	1.56
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	67	6.14	33	1.21
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	68	6.10	30	1.00

ตารางผนวกที่ ๖2 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
47.4	1/3	7.52	1,000	6.5	92	69	6.09	29	0.84
	1/4	7.52	1,000	6.5	92	70	6.03	25	0.70
	1/5	7.52	1,000	6.5	92	71	6.01	23	0.98
	1/6	7.52	1,000	6.5	92	72	5.98	21	1.14
53	1/1	7.62	1,000	6.5	81	67	6.03	24	1.25
	1/2	7.62	1,000	6.5	81	68	6.02	21	1.19
	1/3	7.62	1,000	6.5	81	69	6.03	21	1.02
	1/4	7.62	1,000	6.5	81	70	5.97	21	1.07
	1/5	7.62	1,000	6.5	81	71	5.90	20	1.19
	1/6	7.62	1,000	6.5	81	72	5.82	20	1.45
87.9	1/1	7.60	1,000	6.5	66	51	6.23	22	2.63
	1/2	7.60	1,000	6.5	66	52	6.18	22	2.56
	1/3	7.60	1,000	6.5	66	53	6.05	18	2.16
	1/4	7.60	1,000	6.5	66	54	6.06	16	1.87

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
87.9	1/5	7.60	1,000	6.5	66	55	6.06	15	1.70
	1/6	7.60	1,000	6.5	66	56	5.98	14	2.16

ตารางผนวกที่ ง3 ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนสด ชุดที่ 1

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	6.5	77	23	240	6.35	38	1.92
	1/2	7.52	1,000	6.5	77	23	257	6.34	38	1.74
	1/3	7.52	1,000	6.5	77	23	275	6.36	39	1.66
	1/4	7.52	1,000	6.5	77	23	292	6.37	38	1.42
	1/5	7.52	1,000	6.5	77	23	308	6.39	39	1.61
	1/6	7.52	1,000	6.5	77	23	396	6.39	39	1.75

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
46.1	1/1	7.54	1,000	6.5	75	50	378	6.04	28	1.57
	1/2	7.54	1,000	6.5	75	50	395	6.12	24	1.45
	1/3	7.54	1,000	6.5	75	50	412	6.15	28	1.02
	1/4	7.54	1,000	6.5	75	50	429	6.15	24	1.25
	1/5	7.54	1,000	6.5	75	50	446	6.07	26	1.34
	1/6	7.54	1,000	6.5	75	50	463	6.08	26	1.48
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	64	395	6.11	32	0.76
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	64	412	6.15	34	0.69
	1/3	7.52	1,000	6.5	92	64	429	6.12	32	0.61
	1/4	7.52	1,000	6.5	92	64	446	6.09	33	0.68
	1/5	7.52	1,000	6.5	92	64	463	6.08	32	0.78
	1/6	7.52	1,000	6.5	92	64	480	6.09	33	0.83

ตารางผนวกที่ 33 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
53	1/1	7.62	1,000	6.5	81	55	309	6.20	30	0.87
	1/2	7.62	1,000	6.5	81	55	326	6.10	30	0.86
	1/3	7.62	1,000	6.5	81	55	345	6.23	34	0.68
	1/4	7.62	1,000	6.5	81	55	360	6.23	34	0.82
	1/5	7.62	1,000	6.5	81	55	378	6.24	32	0.77
	1/6	7.62	1,000	6.5	81	55	395	6.26	33	1.09
87.9	1/1	7.60	1,000	6.5	66	43	240	6.09	19	1.64
	1/2	7.60	1,000	6.5	66	43	257	6.11	17	1.43
	1/3	7.60	1,000	6.5	66	43	275	6.09	15	1.22
	1/4	7.60	1,000	6.5	66	43	292	6.07	16	1.31
	1/5	7.60	1,000	6.5	66	43	309	6.07	15	1.35
	1/6	7.60	1,000	6.5	66	43	343	6.02	14	1.47

ตารางผนวกที่ ๓4 ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนแห้งชุดที่ 1

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	6.5	77	28	500	6.38	34	1.52
	1/2	7.52	1,000	6.5	77	28	550	6.36	34	1.49
	1/3	7.52	1,000	6.5	77	28	600	6.41	36	1.34
	1/4	7.52	1,000	6.5	77	28	650	6.40	34	1.47
	1/5	7.52	1,000	6.5	77	28	700	6.41	36	1.61
	1/6	7.52	1,000	6.5	77	28	750	6.34	36	1.64
46.1	1/1	7.54	1,000	6.5	75	54	400	6.09	23	3.85
	1/2	7.54	1,000	6.5	75	54	450	6.16	24	1.21
	1/3	7.54	1,000	6.5	75	54	500	6.18	26	1.01
	1/4	7.54	1,000	6.5	75	54	550	6.14	26	1.14
	1/5	7.54	1,000	6.5	75	54	600	6.14	24	1.19
	1/6	7.54	1,000	6.5	75	54	650	6.14	25	2.32

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	71	400	6.09	29	1.43
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	71	450	6.00	30	0.80
	1/3	7.52	1,000	6.5	92	71	500	5.96	34	0.77
	1/4	7.52	1,000	6.5	92	71	550	5.96	34	1.18
	1/5	7.52	1,000	6.5	92	71	600	5.97	32	1.54
	1/6	7.52	1,000	6.5	92	71	650	5.99	33	1.61
53	1/1	7.60	1,000	6.5	81	62	400	5.99	24	0.98
	1/2	7.60	1,000	6.5	81	62	450	6.00	24	0.93
	1/3	7.60	1,000	6.5	81	62	500	5.96	16	0.86
	1/4	7.60	1,000	6.5	81	62	550	5.98	22	0.70
	1/5	7.60	1,000	6.5	81	62	600	6.02	22	0.73
	1/6	7.60	1,000	6.5	81	62	650	6.06	21	0.96

ตารางภาคผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
87.9	1/1	7.60	1,000	6.5	66	50	550	5.94	16	1.48
	1/2	7.60	1,000	6.5	66	50	600	5.94	17	1.43
	1/3	7.60	1,000	6.5	66	50	650	6.02	17	1.23
	1/4	7.60	1,000	6.5	66	50	700	6.02	18	1.34
	1/5	7.60	1,000	6.5	66	50	750	6.04	17	1.53
	1/6	7.60	1,000	6.5	66	50	800	6.04	18	1.80

ตารางผนวกที่ 5 ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนทางเคมีของน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ชุดที่ 2

Raw Water(NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	Alum Dose (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	pH ปรับ ค่า	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	50	77	5.5	4.51	9	6.21
	1/2	7.52	1,000	50	77	6.0	5.45	12	1.91
	1/3	7.52	1,000	50	77	6.5	6.14	33	1.32
	1/4	7.52	1,000	50	77	7.0	6.51	45	1.41
	1/5	7.52	1,000	50	77	7.5	6.71	55	1.57
46.1	1/1	7.54	1,000	70	75	5.5	4.11	11	7.12
	1/2	7.54	1,000	70	75	6.0	4.49	12	3.35
	1/3	7.54	1,000	70	75	6.5	5.11	22	1.81
	1/4	7.54	1,000	70	75	7.0	5.81	35	1.89
	1/5	7.54	1,000	70	75	7.5	6.25	46	2.31
47.4	1/1	7.52	1,000	70	92	5.5	4.45	10	1.53
	1/2	7.52	1,000	70	92	6.0	4.89	16	0.81
	1/3	7.52	1,000	70	92	6.5	5.88	31	0.64
	1/4	7.52	1,000	70	92	7.0	6.46	44	1.68

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	Alum Dose (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	pH ปรับ ค่า	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
47.4	1/6	7.52	1,000	70	92	7.5	6.49	56	1.71
53	1/1	7.62	1,000	70	81	5.5	4.41	10	2.21
	1/2	7.62	1,000	70	81	6.0	4.75	12	1.10
	1/3	7.62	1,000	70	81	6.5	5.880	24	0.81
	1/4	7.62	1,000	70	81	7.0	5.83	35	1.44
	1/5	7.62	1,000	70	81	7.5	6.46	49	1.83
89.7	1/1	7.60	1,000	70	76	5.5	4.23	11	7.31
	1/2	7.60	1,000	70	76	6.0	4.41	12	3.40
	1/3	7.60	1,000	70	76	6.5	5.18	22	1.81
	1/4	7.60	1,000	70	76	7.0	5.80	34	1.94
	1/5	7.60	1,000	70	76	7.5	6.18	46	2.33

ตารางผนวกที่ ๖ ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังจากทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอน ชุดที่ 2

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
				ค่า			pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	6.5	77	33	6.31	39	1.71
	1/2	7.52	1,000	6.5	77	34	6.29	38	1.61
	1/3	7.52	1,000	6.5	77	35	6.27	36	1.56
	1/4	7.52	1,000	6.5	77	36	6.19	35	1.51
	1/5	7.52	1,000	6.5	77	37	6.16	33	1.85
	1/6	7.52	1,000	6.5	77	38	6.12	32	2.10
46.1	1/1	7.54	1,000	6.5	75	64	6.23	23	1.99
	1/2	7.54	1,000	6.5	75	65	6.11	22	1.46
	1/3	7.54	1,000	6.5	75	67	6.08	20	1.09
	1/4	7.54	1,000	6.5	75	68	5.97	16	1.17
	1/5	7.54	1,000	6.5	75	69	5.90	15	1.23
	1/6	7.54	1,000	6.5	75	70	5.94	19	1.49
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	67	6.24	31	1.25
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	68	6.19	30	1.17

ตารางผนวกที่ ๖ (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
				ค่า			pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	69	6.09	29	1.13
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	70	6.05	23	1.04
	1/3	7.52	1,000	6.5	92	71	6.00	23	1.22
	1/4	7.52	1,000	6.5	92	72	5.96	21	1.36
53	1/1	7.62	1,000	6.5	81	67	6.03	27	1.39
	1/2	7.62	1,000	6.5	81	68	6.02	25	1.28
	1/3	7.62	1,000	6.5	81	69	6.02	21	1.04
	1/4	7.62	1,000	6.5	81	70	5.97	20	1.12
	1/5	7.62	1,000	6.5	81	71	5.92	20	1.19
	1/6	7.62	1,000	6.5	81	72	5.88	19	1.45
87.9	1/1	7.60	1,000	6.5	66	51	6.25	23	2.62
	1/2	7.60	1,000	6.5	66	52	6.14	22	2.54
	1/3	7.60	1,000	6.5	66	53	6.12	19	2.16
	1/4	7.60	1,000	6.5	66	54	6.08	16	1.87

ตารางผนวกที่ ๖ (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ที่ปรับ	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
							pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
87.9	1/5	7.60	1,000	6.5	66	55	6.05	15	1.63
	1/6	7.60	1,000	6.5	66	56	5.93	14	2.13

ตารางผนวกที่ ๗ ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนสด ชุดที่ 2

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	6.5	77	23	240	6.41	38	1.91
	1/2	7.52	1,000	6.5	77	23	257	6.41	38	1.71
	1/3	7.52	1,000	6.5	77	23	275	6.40	39	1.63
	1/4	7.52	1,000	6.5	77	23	292	6.40	38	1.48
	1/5	7.52	1,000	6.5	77	23	308	6.39	39	1.59
	1/6	7.52	1,000	6.5	77	23	396	6.39	39	1.71

ตารางผนวกที่ ๓7 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
46.1	1/1	7.54	1,000	6.5	75	50	378	6.11	28	1.57
	1/2	7.54	1,000	6.5	75	50	395	6.10	28	1.41
	1/3	7.54	1,000	6.5	75	50	412	6.10	28	1.06
	1/4	7.54	1,000	6.5	75	50	429	6.08	28	1.25
	1/5	7.54	1,000	6.5	75	50	446	6.07	27	1.38
	1/6	7.54	1,000	6.5	75	50	463	6.08	28	1.51
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	64	395	6.11	33	0.79
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	64	412	6.09	34	0.71
	1/3	7.52	1,000	6.5	92	64	429	6.07	33	0.65
	1/4	7.52	1,000	6.5	92	64	446	6.09	33	0.71
	1/5	7.52	1,000	6.5	92	64	463	6.08	33	0.75
	1/6	7.52	1,000	6.5	92	64	480	6.09	33	0.84

ตารางผนวกที่ ๓7 (ต่อ)

Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Wet Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
53	1/1	7.62	1,000	6.5	81	55	309	6.21	33	0.97
	1/2	7.62	1,000	6.5	81	55	326	6.19	32	0.86
	1/3	7.62	1,000	6.5	81	55	345	6.17	33	0.71
	1/4	7.62	1,000	6.5	81	55	360	6.23	33	0.77
	1/5	7.62	1,000	6.5	81	55	378	6.21	32	0.82
	1/6	7.62	1,000	6.5	81	55	395	6.20	33	1.09
87.9	1/1	7.60	1,000	6.5	66	43	240	6.12	16	1.54
	1/2	7.60	1,000	6.5	66	43	257	6.11	16	1.34
	1/3	7.60	1,000	6.5	66	42	275	6.11	16	1.15
	1/4	7.60	1,000	6.5	66	43	292	6.07	16	1.31
	1/5	7.60	1,000	6.5	66	43	309	6.05	15	1.41
	1/6	7.60	1,000	6.5	66	43	343	6.02	16	1.47

ตารางผนวกที่ ๖8 ค่าความขุ่นของน้ำดิบหลังทดลองด้วยวิธี Jar Test โดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนร่วมกับตะกอนแห้ง ชุดที่ 2

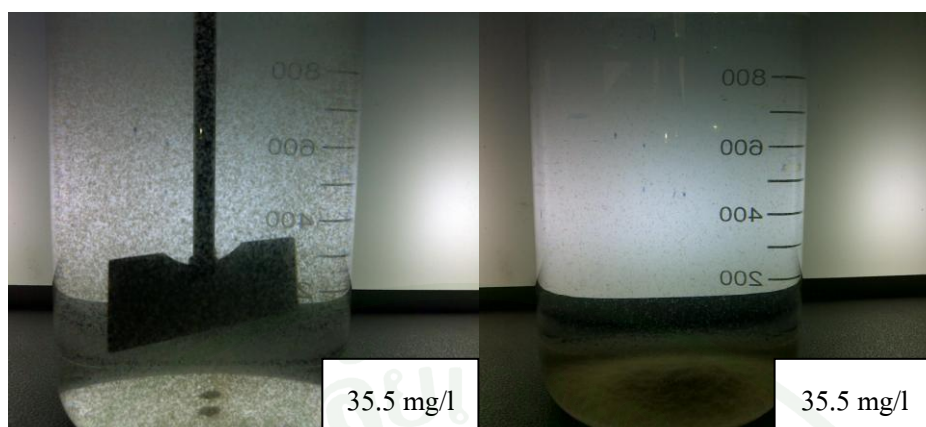
Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
19.1	1/1	7.52	1,000	6.5	77	28	500	6.38	34	1.58
	1/2	7.52	1,000	6.5	77	28	550	6.37	36	1.49
	1/3	7.52	1,000	6.5	77	28	600	6.36	36	1.27
	1/4	7.52	1,000	6.5	77	28	650	6.39	35	1.31
	1/5	7.52	1,000	6.5	77	28	700	6.40	36	1.51
	1/6	7.52	1,000	6.5	77	28	750	6.38	36	1,64
46.1	1/1	7.54	1,000	6.5	75	54	400	6.10	26	3.61
	1/2	7.54	1,000	6.5	75	54	450	6.16	26	1.25
	1/3	7.54	1,000	6.5	75	54	500	6.12	26	1.07
	1/4	7.54	1,000	6.5	75	54	550	6.14	26	1.15
	1/5	7.54	1,000	6.5	75	54	600	6.13	25	1.21
	1/6	7.54	1,000	6.5	75	54	650	6.14	25	2.33

ตารางผนวกที่ ๖8 (ต่อ)

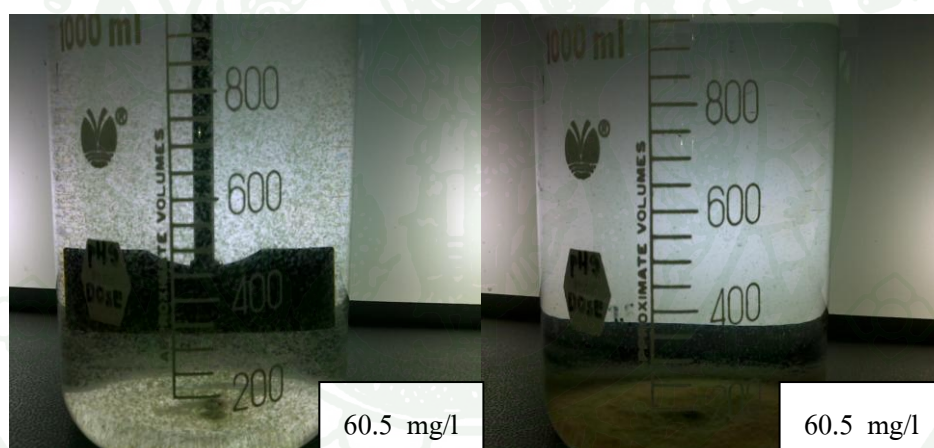
Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
47.4	1/1	7.52	1,000	6.5	92	71	400	6.03	35	1.23
	1/2	7.52	1,000	6.5	92	71	450	6.00	35	0.83
	1/3	7.52	1,000	6.5	92	71	500	6.03	35	0.76
	1/4	7.52	1,000	6.5	92	71	550	5.96	35	1.18
	1/5	7.52	1,000	6.5	92	71	600	5.99	34	1.44
	1/6	7.52	1,000	6.5	92	71	650	5.99	34	1.49
53	1/1	7.62	1,000	6.5	81	62	400	6.03	24	01.07
	1/2	7.62	1,000	6.5	81	62	450	6.00	23	0.94
	1/3	7.62	1,000	6.5	81	62	500	6.03	23	0.83
	1/4	7.62	1,000	6.5	81	62	550	6.04	23	0.78
	1/5	7.62	1,000	6.5	81	62	600	6.02	23	0.89
	1/6	7.62	1,000	6.5	81	62	650	6.05	21	1.13

ตารางผนวกที่ ง8 (ต่อ)

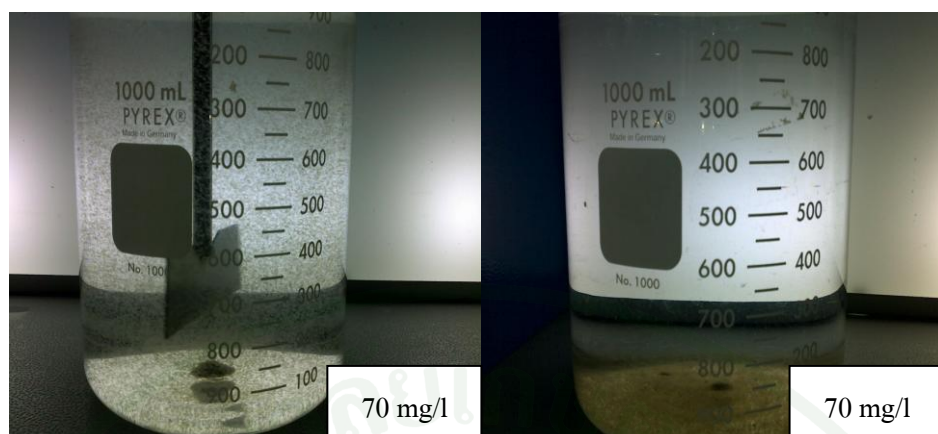
Raw Water (NTU)	Sample	pH	Volume (ml)	pH ปรับ ค่า	Alkalinity (mg/l)	Alum Dose (mg/l)	Dry Sludge Dose (mg/l)	หลังทดลองด้วยวิธี Jar Test		
								pH	Alkalinity (mg/l)	Turbidity (NTU)
87.9	1/1	7.60	1,000	6.5	66	50	550	5.92	16	1.51
	1/2	7.60	1,000	6.5	66	50	600	5.94	17	1.41
	1/3	7.60	1,000	6.5	66	50	650	5.96	18	1.35
	1/4	7.60	1,000	6.5	66	50	700	6.01	18	1.39
	1/5	7.60	1,000	6.5	66	50	750	6.03	18	1.57
	1/6	7.60	1,000	6.5	66	50	800	6.01	18	1.80



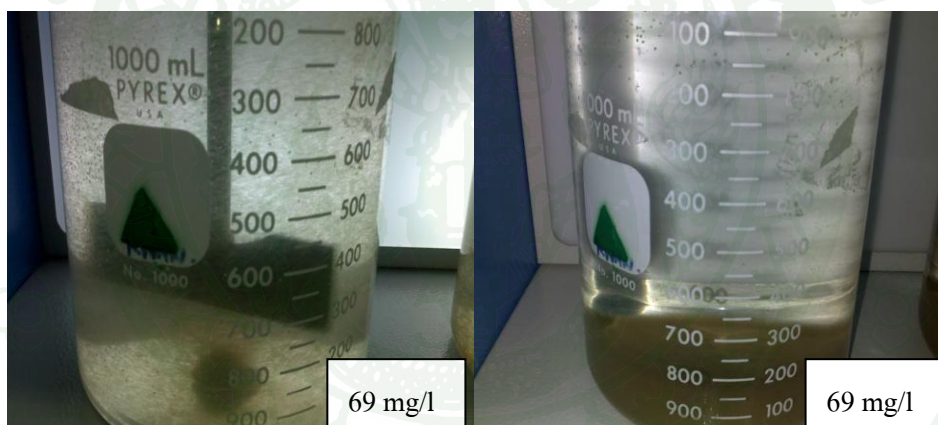
ภาพผนวกที่ ๑1 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 35.5 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะตกตะกอน



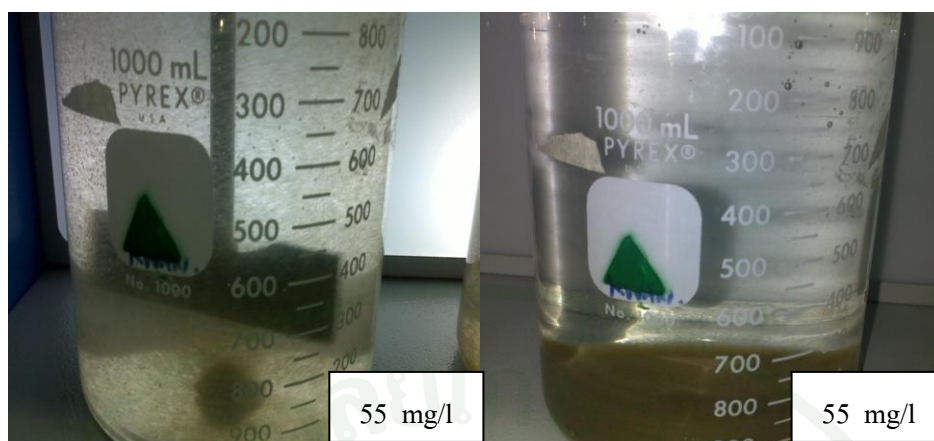
ภาพผนวกที่ ๑2 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 60.5 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะตกตะกอน



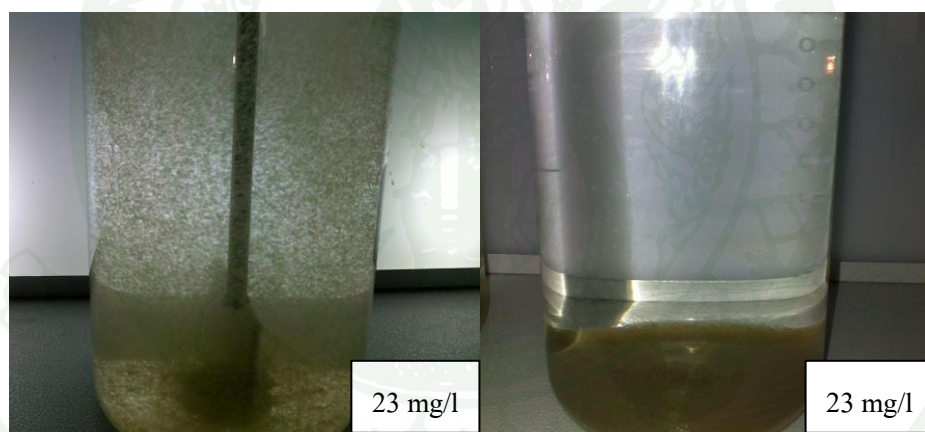
ภาพผนวกที่ 3 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 70.0 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะตกตะกอน



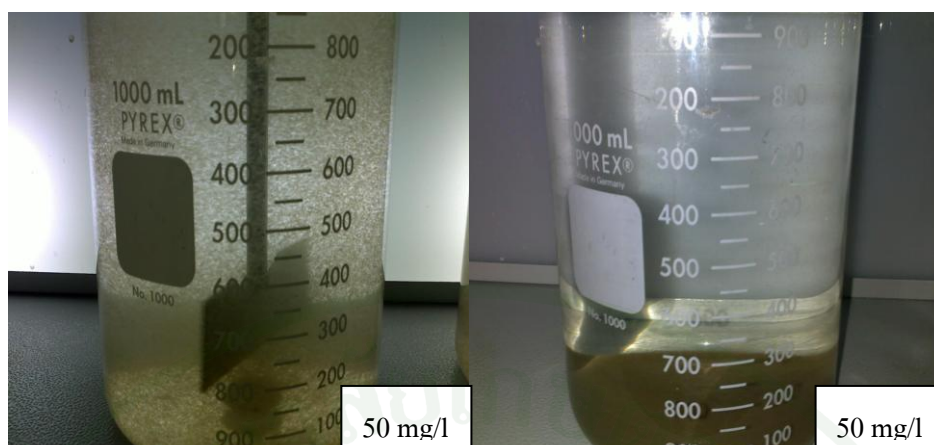
ภาพผนวกที่ 4 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 69.0 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะตกตะกอน



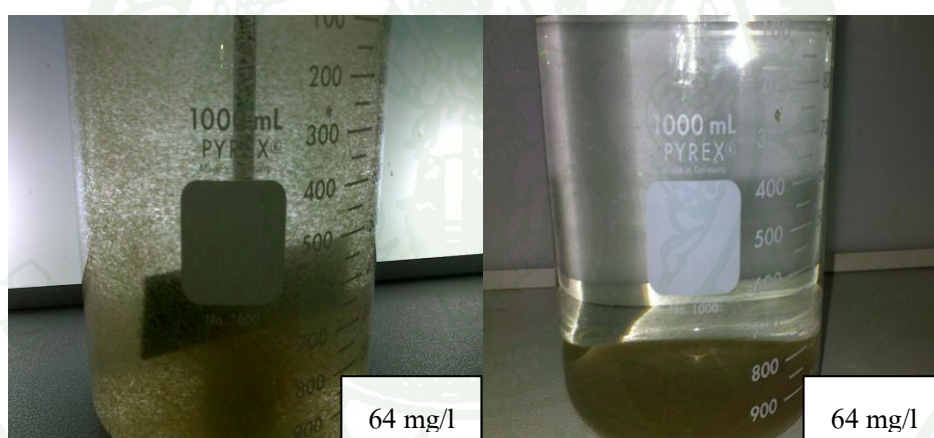
ภาพผนวกที่ ๖5 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU โดยใช้ปริมาณสารส้ม 55.0 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาเป็นภาพขณะตกตะกอน



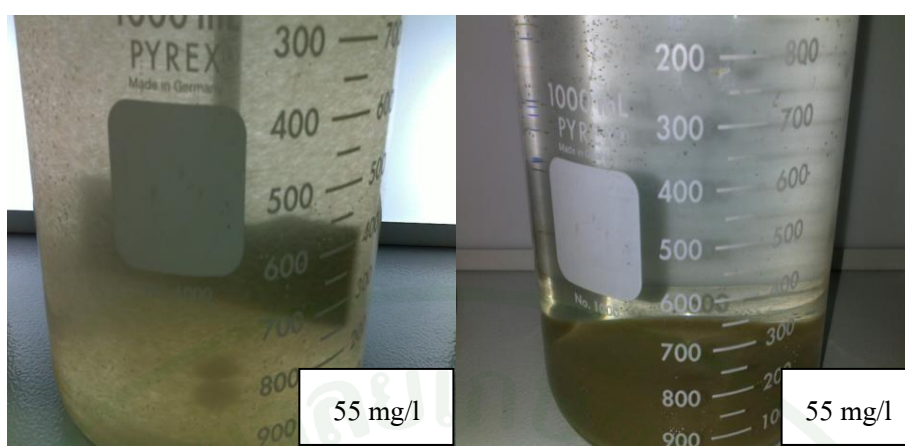
ภาพผนวกที่ ๖6 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 23 mg/l และปริมาณตะกอนสด 292 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



ภาพผนวกที่ ๗ การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 50 mg/l และปริมาณตะกอนสด 412 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



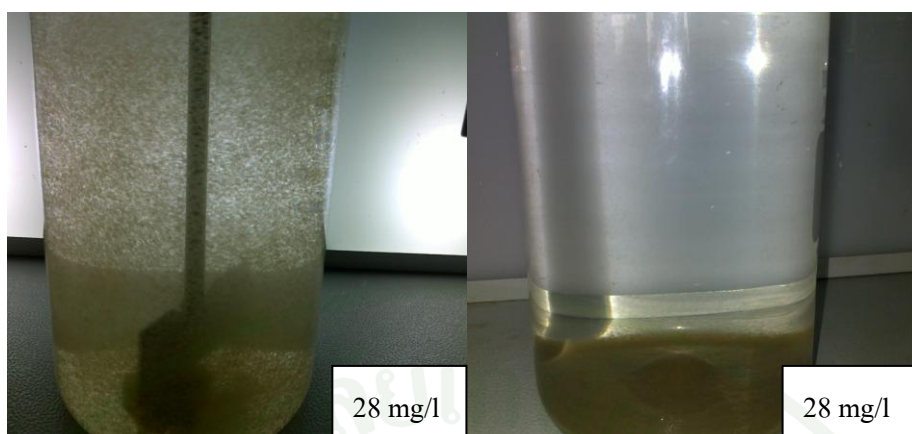
ภาพผนวกที่ ๘ การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.5 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 64 mg/l และปริมาณตะกอนสด 429 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



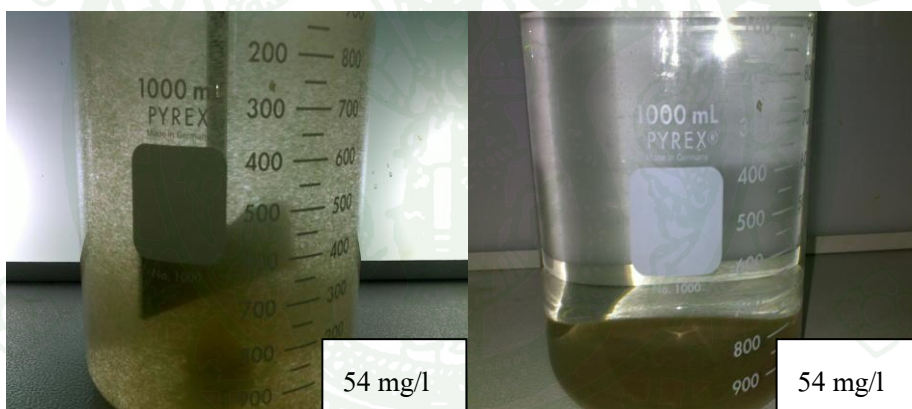
ภาพผนวกที่ ง9 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU เมื่อโดยใช้ ปริมาณสารส้ม 55 mg/l และปริมาณตะกอนสด 345 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพ ขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



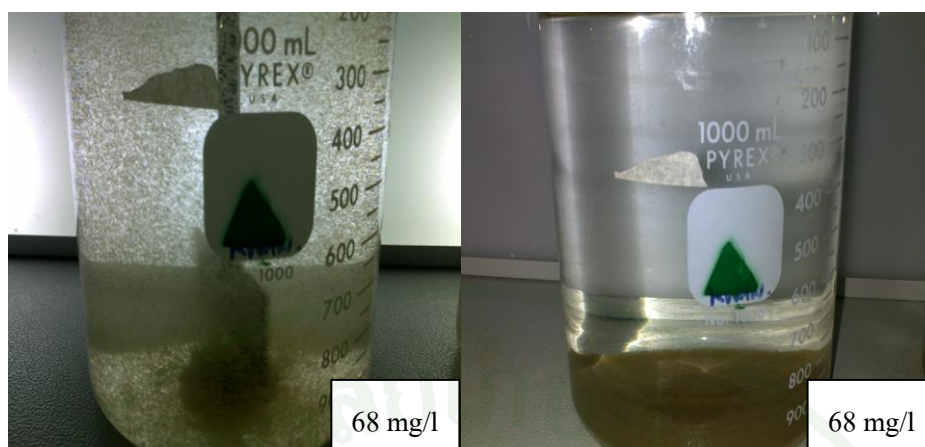
ภาพผนวกที่ ง10 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU เมื่อโดยใช้ ปริมาณสารส้ม 42.5 mg/l และปริมาณตะกอนสด 275 mg/l โดยภาพซ้ายเป็น ภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



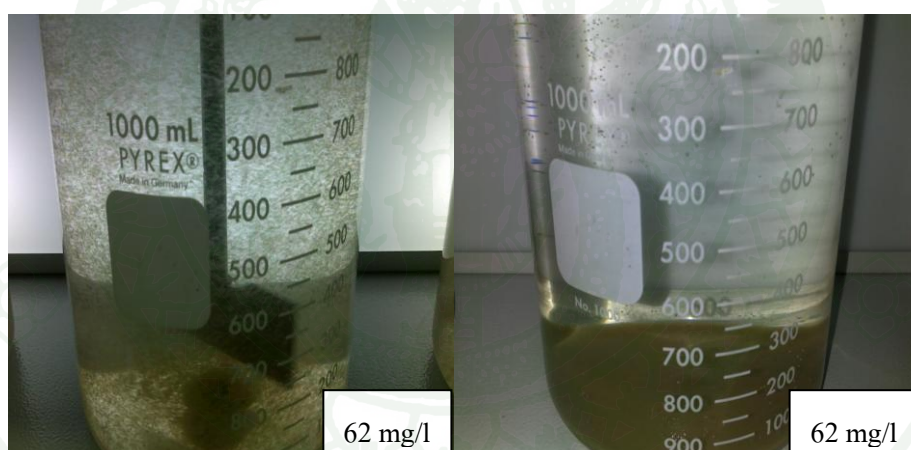
ภาพผนวกที่ 11 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 28 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 408 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



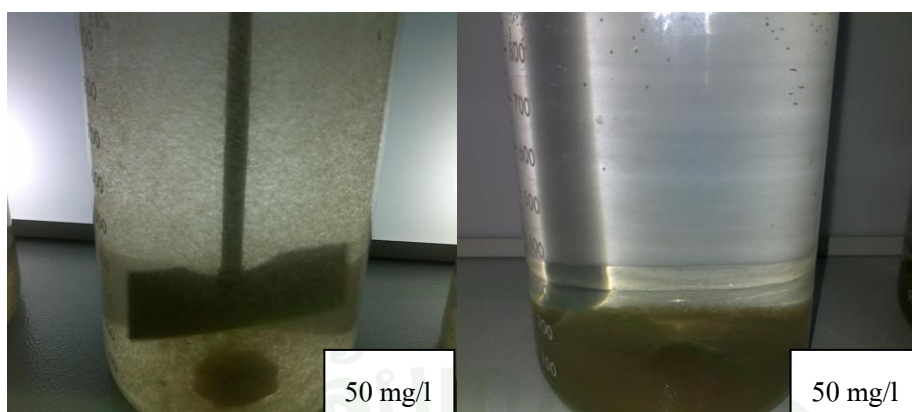
ภาพผนวกที่ 12 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 54 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 340 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



ภาพผนวกที่ 13 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.5 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 68 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 340 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



ภาพผนวกที่ 14 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU เมื่อใช้ปริมาณสารส้ม 62 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 374 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



ภาพผนวกที่ 15 การตกตะกอนทางเคมีของตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU เมื่อโดยใช้ปริมาณสารส้ม 50 mg/l และปริมาณตะกอนแห้ง 442 mg/l โดยภาพซ้ายเป็นภาพขณะกวนช้า ภาพขวาขณะตกตะกอน



ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มในการผลิตน้ำประปา

โรงผลิตประปาบางเขนมีถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier จำนวน 18 ถัง แต่ละถังมีอัตราการผลิต 200,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งมีกำลังการผลิตรวม 3,600,000 ลบ.เมตร/วัน

เมื่อสารส้ม 50% (W/W)	ราคา 3,860 บาท/ตัน
สารส้ม 1 ตัน	มีเนื้อสารส้ม 500 กิโลกรัม
เนื้อสารส้ม 500 กิโลกรัม	ราคา 3,860 บาท/ตัน
เนื้อสารส้ม 1000 กิโลกรัม	ราคา 2×3,860 บาท/ตัน
เนื้อสารส้ม 10 ⁶ กรัม	ราคา 2×3,860 บาท/ตัน
เนื้อสารส้ม 10 ⁹ มิลลิกรัม	ราคา 2×3,860 บาท/ตัน

1. ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 19.1 NTU

1.1 กรณีใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียว ใช้ปริมาณสารส้ม 35.5 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 35.5 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 35.5}{10^9} \\
 &= 0.00027 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.27 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.27 \times 3,600,000 \\
 &= 972,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

1.2 กรณีใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 23 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 23 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 23}{10^9} \\
 &= 0.00018 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.18 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.18 \times 3,600,000
 \end{aligned}$$

$$= 648,000 \text{ บาท/วัน}$$

1.3 กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 28 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \text{สารส้ม 28 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 28}{10^9} \\ &= 0.00022 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\ &= 0.22 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\ \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.22 \times 3,600,000 \\ &= 792,000 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

2. ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 46.1 NTU

2.1 กรณีใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียว ใช้ปริมาณสารส้ม 66.5 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \text{สารส้ม 66.5 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 66.5}{10^9} \\ &= 0.00051 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\ &= 0.51 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\ \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.51 \times 3,600,000 \\ &= 1,836,000 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

2.2 กรณีใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 50 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \text{สารส้ม 50 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 50}{10^9} \\ &= 0.00039 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\ &= 0.39 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.39 \times 3,600,000 \\
 &= 1,404,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

2.3 กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 54 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 54 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 54}{10^9} \\
 &= 0.00042 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.42 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.42 \times 3,600,000 \\
 &= 1,512,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

3. ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 47.4 NTU

3.1 กรณีใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียว ใช้ปริมาณสารส้ม 70 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 70 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 70}{10^9} \\
 &= 0.00054 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.54 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.54 \times 3,600,000 \\
 &= 1,944,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

3.2 กรณีใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 64 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 64 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 64}{10^9} \\
 &= 0.00049 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.49 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.49 \times 3,600,000 \\
 &= 1,764,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

3.3 กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 68 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 68 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 68}{10^9} \\
 &= 0.00052 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.52 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.52 \times 3,600,000 \\
 &= 1,872,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

4. ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 53.0 NTU

4.1 กรณีใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียว ใช้ปริมาณสารส้ม 69 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 69 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 69}{10^9} \\
 &= 0.00053 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.53 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.53 \times 3,600,000 \\
 &= 1,908,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

4.2 กรณีใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 55 มิลลิกรัม

$$\text{สารส้ม 55 มิลลิกรัม ราคา} = \frac{3,860 \times 2 \times 55}{10^9}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.00042 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.42 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.42 \times 3,600,000 \\
 &= 1,512,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

4.3 กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 62 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 62 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 62}{10^9} \\
 &= 0.00048 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.48 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.48 \times 3,600,000 \\
 &= 1,728,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

5. ตัวอย่างน้ำดิบที่ค่าความขุ่น 87.9 NTU

5.1 กรณีใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอนอย่างเดียว ใช้ปริมาณสารส้ม 55.5 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 55.5 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 55.5}{10^9} \\
 &= 0.00043 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.43 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.43 \times 3,600,000 \\
 &= 1,548,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

2.2 กรณีใช้ตะกอนสดเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 42.5 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 42.5 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 42.5}{10^9} \\
 &= 0.00033 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.33 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.33 \times 3,600,000 \\
 &= 1,188,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

2.3 กรณีใช้ตะกอนแห้งเป็นสารช่วยจับตะกอนร่วมกับสารส้ม ใช้ปริมาณสารส้ม 50 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned}
 \text{สารส้ม 50 มิลลิกรัม ราคา} &= \frac{3,860 \times 2 \times 50}{10^9} \\
 &= 0.00039 \text{ บาท/ลิตรน้ำดิบ} \\
 &= 0.39 \text{ บาท/ลบ.เมตรน้ำดิบ} \\
 \text{ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้ม} &= 0.39 \times 3,600,000 \\
 &= 1,404,000 \text{ บาท/วัน}
 \end{aligned}$$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวธมลวรรณ ชูประจง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 กรกฎาคม พ.ศ.2530
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 จบการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
นำเสนอผลงานที่	งานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17 (17 th National Convention on Civil Engineering) วันที่ 9-11 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 โรงแรมเซนทาราไฮเทล แอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุดรธานี