

การจัดหลักในน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดด้วยวิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน



นางสาวกุลลดา บรรลือวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0209-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IRON REMOVAL FROM WATER IN CLOSED SYSTEM OF *Penaeus monodon*
Fabricius CULTURE BY OXIDATION AND COAGULATION

Miss Gunlada Bunluewong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-department of Environmental Science

Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2001
ISBN 974-17-0209-4

กุลลดา บรรณวณิช : การกำจัดเหล็กจากน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดด้วยวิธีออกซิเดชันร่วมกับ
การตกตะกอน (IRON REMOVAL FROM WATER IN CLOSED SYSTEM OF *Penaeus monodon*
Fabricius CULTURE BY OXIDATION AND COAGULATION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ;
116 หน้า. ISBN 974-17-0209-4

จากการทดสอบวิธีกำจัดเหล็กออกจากน้ำสำหรับใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ด้วยวิธีออกซิเดชัน
ร่วมกับการตกตะกอนโดยใช้ออกซิโดซิเจนที่จำนวน 4 ชนิดคือ โพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ,
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และอากาศ โซเดียมไฮดรอกไซด์และ
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้ในการปรับพีเอชของน้ำให้อยู่ในช่วง 6 ถึง 9 หลังจากการออกซิเดชัน
เพื่อให้เกิดตะกอนเหล็ก รวมถึงการเติมสารส้มและโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์ซึ่งใช้เป็นสารช่วยให้
ตะกอนรวมตัว พบว่าการออกซิโดไซด์ด้วยโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
และ แคลเซียมไฮโปคลอไรต์สามารถออกซิโดไซด์เหล็กได้ และการออกซิโดไซด์ด้วยอากาศนั้นต้องการ
เวลาอย่างเพียงพอเพื่อให้เกิดการออกซิโดไซด์อย่างสมบูรณ์ เหล็กที่เหลือในกรณีที่ใช้อากาศในการ
ออกซิโดไซด์มักมีปริมาณมากกว่าเมื่อใช้ออกซิโดซิเจนที่ชนิดอื่นๆ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์
ให้ผลในการกำจัดเหล็กดีกว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับ
สารส้มจะทำให้การรวมตัวของตะกอนเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารส้ม
หรือโพลีออลูมิเนียมคลอไรด์

สถานะที่เลือกใช้สำหรับกำจัดเหล็กออกจากน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ คือ การออกซิโดไซด์ด้วย
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าประมาณ 8 ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเติม
สารส้ม น้ำหลังการทดสอบจะมีค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและเหลือเหล็ก
อยู่ในน้ำไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ยอมรับได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม.....

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม.....

ปีการศึกษา.....2544.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4289652220 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : IRON REMOVAL / *Penaeus monodon* Fabricius / IRON

GUNLADA BUNLUEWONG : IRON REMOVAL FROM WATER IN CLOSED SYSTEM OF *Penaeus monodon* Fabricius CULTURE BY OXIDATION AND COAGULATION. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, 116 pp. ISBN 974-17-0209-4

The method of removing dissolved iron from water in *Penaeus monodon* Fabricius culture is oxidation and coagulation by using 4 oxidizing agents ; potassium permanganate , hydrogen peroxide , calcium hypochlorite and air. Sodium hydroxide and calcium hydroxide are used to adjust the pH of the water in the range of 6 to 9 after the oxidation to produce the precipitate of iron include the addition of aluminum sulfate and polyaluminum chloride as coagulants. Potassium permanganate , hydrogen peroxide and calcium hypochlorite can use to oxidize ferrous. And in air oxidation , it require the enough time for the completely oxidation reaction . Yeilding of treated water in iron content by air oxidation always higher than oxidize by the others. The better results received when sodium hydroxide is used but it is a less time required to allow settlement of precipitate when using calcium hydroxide with aluminum sulfate.

The method chosed for remove dissolve iron from water in *Penaeus monodon* Fabricius culture is oxidation by hydrogen peroxide. Adjust the pH of the water about 8 by calcium hydroxide. And aluminum sulfate is next added. A finished water is produced suitable pH and alkalinity and containing a iron concentration less than 0.3 mg/l. to meet the acceptable limit .

Department/Program ...Environmental science

Field of study ...Environmental science

Academic year ...2001

Student's signature

Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยทำให้คำปรึกษาและการให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรีชาญา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ คุณจันทร์พงษ์ จริงจิตร หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์แร่และหิน คุณสมมาตร ตั้งเจริญ นักวิทยาศาสตร์ 3 ฝ่ายวิเคราะห์แร่และหิน กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณมนตรี บุญใส คุณสัมฤทธิ์ ศิระศิริกุล คุณกานจูลี ปัญญาอินทร์ รวมทั้งเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การสำรวจเอกสาร	4
2.1.1 การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในจังหวัดฉะเชิงเทรา	6
2.1.2 เหล็กในสิ่งแวดล้อม	7
2.1.3 วิธีการกำจัดเหล็ก	11
2.1.4 การออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนเหล็ก	14
2.1.5 ทฤษฎีการรวมตัวของตะกอน	19
2.1.6 สารเคมีที่ช่วยให้ตะกอนรวมตัว	21
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	31
3.1 สารเคมี	31
3.2 วิธีวิเคราะห์หาค่าความเป็นต่าง	30
3.3 วิธีการทดสอบ	32
3.3.1 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6-9 โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์	32
3.3.2 ทดสอบความสามารถของออกซิไดซิงเอเจนต์แต่ละชนิด และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดในการตกตะกอนเหล็กที่ ระดับพีเอช 6 – 9	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 ทดสอบความสามารถของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิดที่ระดับพีเอช 6-9	33
3.3.4 ทดสอบความสามารถของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว เมื่อใช้ในปริมาณที่ต่างกัน	34
3.3.5 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กจากน้ำ ที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ	34
3.4 วิธีการหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	35
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	36
4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6-9 โดยไม่ใช้ออกซิโดซิงเจนท์	36
4.2 ผลการทดสอบความสามารถของออกซิโดซิงเจนท์แต่ละชนิด และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับ พีเอช 6-9	38
4.2.1 ผลของออกซิโดซิงเจนท์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	39
4.2.2 ผลของระดับพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	43
4.2.3 ผลของตัวช่วยตกตะกอนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	45
4.3 ผลการทดสอบความสามารถของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวที่ระดับพีเอช 6-9	47
4.4 ผลการทดสอบความสามารถของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวในปริมาณต่างกัน	51
4.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดเหล็กแต่ละสภาวะ และเลือกสภาวะที่ เหมาะสมเพื่อใช้กับน้ำตัวอย่างจากบ่อสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการวิจัย	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
รายการอ้างอิง	62
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก.	65
ภาคผนวก ข.	66
ภาคผนวก ค.	67
ภาคผนวก ง.	73
ภาคผนวก จ.	76
ภาคผนวก ฉ.	87
ภาคผนวก ช.	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	116

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ในการละลายของปฏิกิริยาต่างๆ ของสารประกอบหลัก	13
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารเคมีและค่าใช้จ่ายเมื่อเลือกใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ในการตกตะกอนเหล็ก 100 กรัมต่อลิตร	55
ตารางที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายเมื่อเลือกใช้สภาวะแบบต่างๆในการตกตะกอนเหล็ก 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	56
ตารางที่ 4.3 สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำในอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ค่าพีเอชของน้ำ และปริมาณเหล็กในน้ำ	57
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำหลังทดลองกำจัดเหล็กด้วยวิธีที่เลือก โดยการออกซิไดส์ด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่พีเอช 8 และใช้สารส้ม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร	57
ตารางที่ 5.1 ผลการตกตะกอนเหล็กเมื่อใช้การออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับอากาศ	61
ตารางที่ ก-1 จำนวนผู้เลี้ยง เนื้อที่เพาะเลี้ยง ปริมาณและมูลค่าผลผลิตกุ้งทะเล ปี พ.ศ.2519-2541	65
ตารางที่ ค-1 พื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำจังหวัดฉะเชิงเทรา ปี พ.ศ.2540	67
ตารางที่ ค-2 คำนิยามและเหตุผลในการห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำในแต่ละข้อจำกัด	71
ตารางที่ ง-1 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ	73
ตารางที่ ง-2 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้	73
ตารางที่ จ-1 จำนวนตัวอย่างที่จะต้องทดสอบตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.1 บทที่ 3	76
ตารางที่ จ-2 จำนวนตัวอย่างที่จะต้องทดสอบตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.2 บทที่ 3	76
ตารางที่ จ-3 จำนวนตัวอย่างที่จะต้องทดสอบตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.3 บทที่ 3	77
ตารางที่ จ-4 จำนวนตัวอย่างที่จะต้องทดสอบตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.4 บทที่ 3	80
ตารางที่ ฉ-1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบด้วยวิธีการทดสอบข้อ 3.3.1 บทที่ 3	87
ตารางที่ ฉ-2 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบด้วยวิธีการทดสอบข้อ 3.3.2 บทที่ 3	87
ตารางที่ ฉ-3 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบด้วยวิธีการทดสอบข้อ 3.3.3 บทที่ 3	88
ตารางที่ ฉ-4 การอ่านค่าปริมาตรตะกอน ณ เวลาต่างๆ เมื่อใช้ สารช่วยให้ตะกอน รวมตัวต่างกัน ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.3 บทที่ 3	91
ตารางที่ ฉ-5 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบด้วยวิธีการทดสอบข้อ 3.3.4 บทที่ 3	95
ตารางที่ ฉ-6 การอ่านค่าปริมาตรตะกอน ณ เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว ในปริมาณที่ต่างกัน ตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.4 บทที่ 3	102

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 pE-pH diagram ของเหล็กในน้ำ	10
รูปที่ 4.1 ผลของระดับพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเมื่อใช้ตัวช่วย ตกตะกอนต่างๆ โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์	36
รูปที่ 4.2 ระดับพีเอชหลังการทดสอบเมื่อดอกตะกอนเหล็กด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์	37
รูปที่ 4.3 สมดุลการละลายของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ที่พีเอชต่างๆ	37
รูปที่ 4.4 ผลของชนิดของออกซิไดซิงเอเจนท์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	40
รูปที่ 4.5 ผลของระดับพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	44
รูปที่ 4.6 สมดุลการละลายของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ที่พีเอชต่างๆ	45
รูปที่ 4.7 ผลของตัวช่วยตกตะกอนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก	46
รูปที่ 4.8 ก. แสดงผลของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตร ตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน	48
รูปที่ 4.8 ข. แสดงผลของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตร ตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน	48
รูปที่ 4.9 ก. ผลของพีเอชต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ร่วมกับสารส้ม	49
รูปที่ 4.9 ข. ผลของพีเอชต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ร่วมกับโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	49
รูปที่ 4. 10 สมดุลการละลายของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ที่พีเอชต่างๆ	50
รูปที่ 4.11 ก. ผลของสารส้มปริมาณต่างๆ ต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน	52
รูปที่ 4.11 ข. ผลของสารส้มปริมาณต่างๆ ต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน	52
รูปที่ 4.11 ค. ผลของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณต่างๆ ต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอน เริ่มคงที่เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน	53
รูปที่ 4.11 ง. ผลของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณต่างๆ ต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอน เริ่มคงที่เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน	53
รูปที่ ข-1 แผนภูมิเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบเปิด และระบบปิด	66
รูปที่ ค-1 แผนที่แสดงข้อจำกัดในการกำหนดเขตให้และห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในจังหวัดฉะเชิงเทรา	70
รูปที่ ข-1 การอ่านปริมาตรตะกอน ณ เวลาต่างๆตามวิธีข้อ 3.3.3 และ3.3.4 บทที่3	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กึ่งกลาดำเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะหลังจากปี พ.ศ.2530 ที่ประเทศไทยประสบผลสำเร็จในการผลิตและการส่งออก ทำให้มีการทำนากุ้งอย่างแพร่หลาย (มารุต, 2538) และยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญเป็นอันดับต้นๆของไทย โดยในปี พ.ศ.2538 นำรายได้เข้าประเทศถึง 50,302 ล้านบาท แต่เดิมเกษตรกรใช้วิธีดั้งเดิมหรือแบบธรรมชาติในการเลี้ยงกึ่งกลาดำโดยการค่นน้ำทะเลเข้ามาใช้ ซึ่งในระยะแรกๆก็ได้ผลผลิตสูงแต่เมื่อผ่านไปสักระยะหนึ่งก็จะเกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของพื้นที่ที่ใช้เลี้ยงกึ่ง ทำให้มีการขยายพื้นที่เข้ามาในเขตน้ำจืดโดยใช้ระบบการเลี้ยงความเค็มต่ำ ซึ่งก็ประสบผลสำเร็จดีเนื่องจากสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาโรคระบาด ใช้เงินทุนน้อยกว่า และให้ผลตอบแทนสูง (ชวนพิศและคณะ, 2541) และในการเลี้ยงแบบนี้ก็ต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งแม้จะแก้ปัญหาเรื่องความเค็มได้โดยการช้อนน้ำเค็มมาผสมกับน้ำจืดแต่ก็ยังประสบปัญหาอื่นๆ เช่นปัญหาตะกอนเหล็กที่พบอยู่ในแหล่งน้ำนั้น

จากการศึกษาคุณภาพน้ำต่อการเจริญเติบโตของลูกกึ่งกลาดำ พบว่าตะกอนแขวนลอยสีน้ำตาลของสารประกอบไฮดรอกไซด์ของเหล็ก ที่ละลายออกมาในสภาวะที่เป็นกรดอาจทำให้ลูกกึ่งบางส่วนลอกคราบไม่ออกเพราะจะติดระยางค์ตรงส่วนหัว ทำให้กึ่งตายในช่วงที่มีการลอกคราบมาก บางตัวที่เพิ่มลอกคราบใหม่ๆจะอ่อนแอและไม่สามารถสร้างเปลือกได้เนื่องจากน้ำในสภาพนี้มีค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างเปลือกของกึ่งทะเล การที่มีสารประกอบของเหล็กสูงเกินไปกึ่งจะหายใจลำบาก หากในน้ำมีสารประกอบของเหล็กสูงกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร กึ่งจะป่วยและตายในที่สุด แต่หากมีความเข้มข้นสูงกว่า 3 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร กึ่งจะตายทั้งหมดทันที (กลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า, 2531)

จากการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีต่างๆ เช่น การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexation) เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) เป็นต้น พบว่าวิธีการเหล่านี้ไม่สะดวกและมีค่าใช้จ่ายสูง วิธีการออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนเหล็กในรูปไฮดรอกไซด์น่าจะเป็วิธีที่ง่ายกว่า โดยทำให้เหล็กตกตะกอนในรูปของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ซึ่งมีความอยู่ตัวและยากต่อการละลาย โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของการละลาย ไม่มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เพราะเหล็กเฟอร์ริกเป็นรูปที่ไม่ก่อให้เกิด

อันตรายเป็นด้วย (Casarett and Doull's, 1996) นอกจากนี้อาจมีความจำเป็นต้องใช้สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว(coagulants) เพื่อให้การจมของตะกอนรวดเร็วขึ้น

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งที่จะหาวิธีตกตะกอนเหล็กในน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน โดยเปรียบเทียบระหว่างออกซิไดซิงเอเจนต์หลายๆชนิดที่ระดับพีเอชต่างๆ รวมทั้งเมื่อใช้ตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัวร่วมด้วย โดยต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่จำเป็นเช่น คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สารตกค้างต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งข้อจำกัดทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาวิธีการตกตะกอนเหล็กจากน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยให้มีเหล็กในน้ำหลังการตกตะกอนไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด

1.2.2 ศึกษาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในแง่ของการนำไปใช้ประโยชน์จริง โดยที่จะพิจารณาถึงคุณสมบัติของน้ำหลังการตกตะกอนและปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ

1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีตกตะกอนเหล็กในการจัดการคุณภาพน้ำ สำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่อื่นต่อไป

1.3 สมมติฐาน

วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน สามารถกำจัดเหล็กออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

1.4 ขอบเขตการศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตพื้นที่อำเภอบางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา โดยทำการศึกษาผลของออกซิไดซิงเอเจนต์ 4 ชนิดคือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และ อากาศ เมื่อใช้ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิด คือ สารส้มและโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์

1.4.1 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6 – 9 โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์

การทดลองขั้นแรกจะทดสอบว่าเมื่อไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ประสิทธิภาพในการตกตะกอนเหล็กจะเป็นอย่างไร เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน

1.4.2 ทดสอบความสามารถของออกซิไดซิงเอเจนต์แต่ละชนิด และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6 – 9

การทดลองขั้นที่สอง จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของออกซิไดซิงเอเจนต์ 4 ชนิดคือ โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ,ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และอากาศเมื่อนำมาใช้ในการตกตะกอนเหล็ก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน

1.4.3 ทดสอบความสามารถของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิดคือสารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่ระดับพีเอช 6 - 9

การทดลองขั้นที่สาม จะเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิดคือ สารส้ม และ โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ว่าให้ผลเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไรเมื่อนำมาใช้ช่วยให้ตะกอนเหล็กรวมตัวกันได้เร็วขึ้น

1.4.4 ทดสอบความสามารถของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัวเมื่อใช้ในปริมาณต่างๆ

การทดลองขั้นที่สี่จะศึกษาว่า หากใช้สารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ในปริมาณที่ต่างกัน จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการช่วยให้ตะกอนรวมตัวอย่างไร

1.4.5 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กจากน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ

เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อพักน้ำที่จะนำไปใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำมาทำการกำจัดเหล็ก โดยเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองทั้งสี่ข้อแรกโดยคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ด้าน ดังที่กล่าวมาแล้วในความเป็นมาและความสำคัญ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถกำจัดเหล็กออกจากน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำได้โดยวิธีที่ง่าย สะดวก และเสียค่าใช้จ่ายน้อย

1.5.2 เป็นแนวทางในการจัดการคุณภาพน้ำ สำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

1.5.3 เป็นประโยชน์ในด้านข้อมูลเพื่อใช้ศึกษาการกำจัดเหล็กด้วยวิธีอื่นๆ

บทที่ 2

การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจเอกสาร

ความต้องการบริโภคกุ้งทะเลในตลาดโลกได้เพิ่มสูงขึ้นในทศวรรษที่ผ่านมา ทั้งนี้เนื่องจากประชากรโลกได้เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับภาวะเศรษฐกิจของประเทศผู้นำเข้าอาหารในตลาดโลกเช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรป ได้ขยายตัวอย่างมาก ทำให้มีอำนาจการซื้อสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความต้องการสัตว์น้ำทะเลมีมากแต่ทรัพยากรสัตว์น้ำทะเลตามธรรมชาติของไทยมีปริมาณจำกัด และยังมีแนวโน้มลดลงตลอดเวลาเนื่องจากการทำประมงที่เกินขนาดหรือมากเกินไปกว่าอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำทั้งหมดที่มีอยู่ จากความพยายามในการหาทางเพิ่มปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำทะเล เพื่อตอบสนองความต้องการบริโภคภายในประเทศและตลาดส่งออก จึงนำมาสู่การพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลตามพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่มีความต้องการบริโภคภายในประเทศ และสร้างรายได้จากการส่งออกมากที่สุด การเลี้ยงกุ้งทะเลในประเทศไทยได้มีการพัฒนาเรื่อยมาเริ่มตั้งแต่การเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม (extensive) จนมาถึงการเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive) ซึ่งในปัจจุบันผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ.2541 มีเกษตรกรประกอบอาชีพเลี้ยงกุ้งทะเลทั้งสิ้น 22,500 ราย คิดเป็นเนื้อที่ทั้งสิ้น 440,000 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2530 ที่มีอยู่เพียง 5,899 ราย คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 279,812 ไร่ (กรมประมง, 2542) โดยการเลี้ยงกุ้งทะเลในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สถิติจำนวนผู้เลี้ยง เนื้อที่เพาะเลี้ยง ปริมาณ และมูลค่าผลผลิตกุ้งทะเลปี พ.ศ.2519 ถึง2541 แสดงในภาคผนวก ก.

กุ้งกุลาดำ เป็นชื่อเรียกตามภาษาพื้นบ้านของไทย มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Giant tiger shrimp และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* Fabricius การเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยทั่วไปจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. การเลี้ยงแบบธรรมชาติหรือแบบดั้งเดิม (extensive or traditional system) ผู้เลี้ยงอาศัยลูกกุ้งจากธรรมชาติโดยตรงลูกกุ้งจะเข้ามากับน้ำทะเลในขณะที่ระบายน้ำเข้าบ่อหรือนา ไม่มีการให้อาหารเสริม ลูกกุ้งกินอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำ รูปแบบบ่อเป็นอย่างไรก็ได้ การรักษาคุณภาพน้ำทำโดยธรรมชาติ คือ ปล่อน้ำเข้าบ่อในขณะที่น้ำขึ้น และปิดประตูกักน้ำไว้เมื่อน้ำลด และจะเปิดน้ำเข้าบ่อทุกครั้งทีระดับน้ำภายนอกสูงกว่าระดับน้ำในบ่อ เป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยใช้ตะแกรงตาถี่ช่วยไม่ให้ลูกกุ้งที่ตัวโตผ่านออกไป แต่สามารถให้ลูกกุ้งตัวเล็กลอดเข้ามาในบ่อได้ วิธีนี้ใช้เงินลงทุนต่ำแต่มีข้อเสียคือผลผลิตไม่สามารถควบคุมได้เพราะลูกกุ้งที่เข้าไปกับน้ำมีปริมาณไม่แน่นอน และนับวันลูกกุ้งธรรมชาติก็มีจำนวนน้อยลง อีกทั้งยังมีปลาหรือสัตว์อื่นๆที่

เป็นศัตรูกึ่งเข้าไปในบ่อยิ่งทำให้ผลผลิตเสียหายมากขึ้น นอกจากนี้วิธีการเลี้ยงแบบดั้งเดิมยังทำให้เสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรเพราะนาุ้งแปลงเดียวกันนี้ถ้าได้รับการปรับปรุงที่ดี นำเอาเทคโนโลยีแผนใหม่เข้าไปใช้จะสามารถเพิ่มผลผลิตให้กับเจ้าของได้อีกมาก

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (semi-intensive system) เป็นการเลี้ยงกึ่งที่คล้ายคลึงกับการเลี้ยงแบบธรรมชาติ แต่มีการปล่อยลูกกุ้งจากโรงเพาะพันธุ์เสริมลงไปบ่อ และให้อาหารเสริม ปรับปรุงบ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้บางส่วน มีการจัดการที่ดีในเรื่องการป้องกันกำจัดศัตรูกึ่ง, การเปลี่ยนถ่ายน้ำ, การควบคุมโรค บ่อกึ่งไม่มีเครื่องให้อากาศ การเลี้ยงแบบธรรมชาติสามารถดัดแปลงมาเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาได้ไม่ยากโดยตัดแปลงบ่อ ระบบน้ำ นำพันธุ์กุ้งมาใส่ และให้อาหาร

3. การเลี้ยงแบบพัฒนาหรือแบบเปิด (intensive or open system) เป็นการเลี้ยงกึ่งที่พัฒนาดีกว่าแบบที่ 2 ขนาดบ่อเล็กลงมีขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร (ฐานเกษตรกรรม, 2529) ใช้ลูกกุ้งจากการเพาะพันธุ์ทั้งหมด โดยมีการใช้ตะแกรงตาถี่ป้องกันไม่ให้ลูกกุ้งและสัตว์อื่นๆ ลอดเข้ามาในบ่อได้เลย มีการให้อาหารเสริมซึ่งได้แก่อาหารสำเร็จ (pellet) คุณภาพสูง มีการจัดการที่ดีในเรื่องการเปลี่ยนถ่ายน้ำ, การกำจัดศัตรูกึ่ง, การควบคุมโรค มีเครื่องให้อากาศ เป็นการเลี้ยงแบบที่ควบคุมปัจจัยการผลิตทั้งหมด ข้อแนะนำคือจะต้องเลือกสถานที่ที่เหมาะสม ดินดี น้ำดี มีไฟฟ้า และผู้เลี้ยงมีความรู้ความชำนาญในการเลี้ยงกึ่งตามสมควร

จากสภาพที่เป็นจริง แหล่งน้ำธรรมชาตินั้นตั้งอยู่ในที่ต่ำและเป็นสาธารณสมบัติร่วมกันใช้ จึงเป็นแหล่งรองรับสิ่งปฏิกูลของผู้คนทุกสาขาอาชีพ ดังนั้นเมื่อมีสิ่งปฏิกูลต่างๆ สะสมมากเกินไปที่กลไกธรรมชาติของแหล่งน้ำนั้นจะบำบัดได้ทัน จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดภาวะสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมในหลายพื้นที่ ก่อให้เกิดมลพิษและโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ กิจกรรมที่ต้องอาศัยแหล่งน้ำเช่นการเลี้ยงกึ่งกุลาดำระบบเปิดหรือแบบพัฒนา ซึ่งใช้วิธีการจัดการเลี้ยงโดยเปลี่ยนถ่ายระบายน้ำที่ระหว่างบ่อกึ่งกับแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงนั้น ก็จะได้รับอันตรายเป็นพวกแรกๆ อีกทั้งลักษณะโครงสร้างของบ่อชั้นพื้นฐานและวิธีการบ่อเลี้ยงกึ่งแบบเปิดนี้ ก็ไม่เอื้ออำนวยต่อการป้องกันมลพิษจากภายนอก ไม่เอื้ออำนวยต่อการบำบัด ควบคุม และรักษาความสมดุลของสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยง การเพาะเลี้ยงกึ่งในลักษณะดังกล่าวในระยะเริ่มต้นสภาพแวดล้อมทั่วไปยังคงอยู่ก็มักจะได้ผลผลิตกึ่งที่ดี แต่เมื่อดำเนินการเพาะเลี้ยงรุ่นต่อไปก็จะเกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ จนทำให้ต้องย้ายพื้นที่เลี้ยงกึ่งในลักษณะเสมือนกับการทำไร่เลื่อนลอย ทำให้พื้นที่หลายแห่งซึ่งเคยเลี้ยงกึ่งได้ผลผลิตดีกลับถูกปล่อยร้าง การฟื้นฟูการเลี้ยงกึ่งและสัตว์น้ำอื่นๆ ให้กลับมีความมั่นคงและยั่งยืนต่อไปนั้นมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนจากการเลี้ยงกึ่งระบบเปิดที่มีการรับน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงและมีการทิ้งน้ำและเลนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ไป เป็นระบบปิดที่มีการบำบัดน้ำก่อนที่จะนำไปใช้เลี้ยงกึ่งโดยเน้นวิธีบำบัดแบบชีวภาพเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งอาจจะทำการบำบัดน้ำภายในบ่อเลี้ยงกึ่งหรือภายในชุดบ่อบำบัดน้ำเป็นการ

เฉพาะแยกต่างหากออกไป แล้วหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้งต่อไป ภาพแสดงการเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบระบบเปิดและระบบปิดแสดงในภาคผนวก ข.

2.1.1 การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในจังหวัดฉะเชิงเทรา

ประเทศไทยมีจังหวัดชายฝั่งทะเล 24 จังหวัด ที่มีทรัพยากรป่าชายเลนซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยา และยังเป็นจังหวัดที่เหมาะสมต่อการพัฒนาด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งโดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จังหวัดฉะเชิงเทราเป็นจังหวัดชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทยมีความยาวของชายฝั่งทะเลประมาณ 15 กิโลเมตร พื้นที่บางส่วนมีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจึงมีการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว ตามแรงจูงใจจากรายได้ที่จะได้รับ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2534) รายงานว่าจังหวัดฉะเชิงเทรามีการขยายพื้นที่การเลี้ยงกุ้งเพิ่มขึ้นทุกปี โดยจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 (TM) ปี พ.ศ. 2536 พบว่ามีพื้นที่เลี้ยงกุ้ง 708.50 ไร่ ในขณะที่มีพื้นที่ป่าชายเลน 3,348.50 ไร่ เนื่องจากกุ้งกุลาดำสามารถปรับตัวให้มีชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่มีความเค็มต่ำในจังหวัดฉะเชิงเทราจึงมีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกงทอดยาวไปในแผ่นดิน ตามริมฝั่งแม่น้ำบางปะกงบริเวณที่พบว่ามีกุ้งกุลาดำนอกจากอำเภอบางปะกงที่อยู่ติดชายฝั่งทะเลแล้ว ก็ยังมีบริเวณริมฝั่งแม่น้ำของอำเภอต่างๆ ที่แม่น้ำบางปะกงไหลผ่านคือ อำเภอบ้านโพธิ์ อำเภอเมืองฉะเชิงเทราและอำเภอบางคล้า ส่วนบริเวณที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำในน้ำจืดนั้นคาดว่ามีการเลี้ยงที่อำเภอแปลงยาว อำเภอราชสาส์น อำเภอบางน้ำเปรี้ยว และบริเวณบางส่วนของอำเภอบางปะกง อำเภอบ้านโพธิ์ อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา และอำเภอบางคล้าที่อยู่ไกลจากลำน้ำสาขา หรือแม่น้ำบางปะกง (ประจวบ, 2543)

จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-5(TM) จังหวัดฉะเชิงเทรามีพื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำประมาณ 96,536.00 ไร่ พื้นที่เลี้ยงกุ้งดังกล่าวอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลและลึกเข้าไปในแผ่นดินอยู่กระจายทั่วไปใน 7 อำเภอ คือ อำเภอบางปะกง อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา อำเภอบ้านโพธิ์ อำเภอบางคล้า อำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอแปลงยาว และอำเภอราชสาส์น มีพื้นที่ประมาณ 21,203.50 ; 13,533.75 ; 35,708.00 ; 21,688.00 ; 2,933.25 ; 1,325.50 และ 144.00 ไร่ตามลำดับ พื้นที่เลี้ยงกุ้งประมาณ 10,885.00 ไร่ ของพื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้งหมดพัฒนาอยู่ในป่าชายเลนเขตเศรษฐกิจ ข. (ตามมติคณะรัฐมนตรี วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2530) ส่วนพื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เหลือประมาณ 85,651.00 ไร่ อยู่นอกเขตป่าชายเลนตามมติคณะรัฐมนตรีฯ พื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำที่อยู่ในป่าชายเลนเขตเศรษฐกิจ ข. ดังกล่าวอยู่ในอำเภอบางปะกงและอำเภอบ้านโพธิ์ รายละเอียดต่างๆแสดงในภาคผนวก ค.

ปัญหาตะกอนหลักในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราบางพื้นที่

อาจสืบเนื่องมาจากสภาพดินบางแห่งที่เป็นดินกรดหรือดินเปรี้ยว คือเป็นดินที่มีสารประกอบพวก เหล็ก หรืออลูมิเนียมซัลเฟตและกรดกำมะถันผสมอยู่จำนวนมาก ดินที่มีลักษณะนี้มักเป็นดิน เหนียว สำหรับดินชายทะเลที่มีความเปรี้ยวแฝงจะเป็นดินเลนที่มีปริมาณเกลือต่างๆมาก ตามปกติดินเหล่านี้จะมีปฏิกิริยาเป็นกลางหรือเป็นด่าง แต่ถ้าระบายน้ำออกไปหรือมีการทำให้ดิน แห้งเป็นระยะเวลาต่างๆ ดินจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดหรือแปรสภาพเป็นดินเปรี้ยวจัด เนื่องจาก สารประกอบกำมะถันในดิน (อัจฉรี, 2536)

2.1.2 เหล็กในสิ่งแวดล้อม

2.1.2.1 สินแร่เหล็ก

เหล็กเป็นโลหะที่มีอยู่ในผิวโลกมากเป็นลำดับที่สองรองจากอะลูมิเนียม ส่วนใหญ่ พบอยู่ในรูปของสินแร่ที่เรียกว่าฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) และแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) สารประกอบดังกล่าว ต่างก็ประกอบด้วยเหล็กและออกซิเจน รู้จักกันในชื่อรวมๆว่า ไอร์รอนออกไซด์ (Iron oxide) นอกจากนี้ก็ยังมีไอร์รอนซัลไฟด์ (Iron sulfide) ซึ่งก็คือไพไรต์ (FeS_2) เป็นแร่ชนิดหนึ่งซึ่ง ไม่เสถียรในอากาศชื้น โดยจะถูกออกซิไดส์ได้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ดังสมการ



ไอร์รอนออกไซด์ปรากฏอยู่ได้ 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับว่ามีออกซิเจนเกาะอยู่กับเหล็กมากน้อยเพียงใด คืออยู่ในรูปของสารประกอบเฟอร์ริก (สารประกอบของ Fe^{3+}) มีสีเหลือง แดง หรือน้ำตาล และ สารประกอบเฟอร์รัส (สารประกอบของ Fe^{2+}) มีสีเขียว เทา หรือน้ำเงิน

สารประกอบของเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญของดิน และมีส่วนอย่างมากกับสีของ ดิน สีแดงเข้มบ่งบอกว่าเหล็กถูกออกซิไดส์ในภาวะร้อนชื้น สีส้มและเหลืองบอกว่าไอร์รอน ออกไซด์เกิดในภูมิภาคที่เย็น ในขณะที่สีเทา น้ำเงินและเขียว เกิดขึ้นในสารละลายของเหล็กที่มี ออกซิเจนน้อย เช่น ใต้ท้องทะเลลึก ดินมีสีเนื่องจากมีการรวมของไอร์รอนออกไซด์กับอินทรีย์ วัตถุ อินทรีย์วัตถุส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้ผิวดิน สีดำของอินทรีย์วัตถุทำให้ดินชั้นบนมีสีเข้มกว่าดินส่วน อื่นๆ ในบางกรณี เช่น เมื่อดินประสบภาวะฝนตกหนักมาก อินทรีย์วัตถุจะทำปฏิกิริยากับน้ำฝนเกิด เป็นกรดที่แรงพอที่จะละลายสารประกอบของเหล็กได้ เมื่อเกิดกระบวนการนี้ขึ้น สารประกอบของ เหล็ก ที่เคยให้สีน้ำตาล ส้ม แดง และเหลือง ในดิน ก็จะถูกระบายออกไปกลายเป็นสารละลายเหล็กในน้ำ

2.1.2.2 เหล็กในน้ำ

เมื่อเหล็กอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะปรากฏตัวในหลายรูปแบบ รูปแบบที่ เรียกว่าไอออนเหล็กอิสระ (free ionic species) เช่น Fe^{2+} , Fe^{3+} เป็นรูปแบบที่ไม่เสถียร การ เพิ่มความเสถียรให้กับตัวเองนั้น ไอออนเหล็กเหล่านี้จะใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดสร้างพันธะโค

ออกซิเจนกับไฮดรอกไซด์หรือโมเลกุลชนิดอื่นเช่น โมเลกุลของน้ำ ที่แสดงคุณสมบัติของความเป็นผู้ให้อิเล็กตรอนได้รุนแรงกว่า เพราะเหตุนี้ไฮดรอกไซด์ของเหล็กในน้ำจึงมักปรากฏตัวในรูปของไฮดรอกไซด์ไอออน (hydrated ion) คือ $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_x^{n+}$ และอาจทำให้ตัวเองมีความเสถียรมากขึ้นด้วยการเกิดปฏิกิริยาในหลายรูปแบบ เช่น



ปฏิกิริยาเหล่านี้ คือกระบวนการที่ทำให้ไอออนของเหล็กในน้ำเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแบบที่เสถียรมากกว่าเดิม แต่จะเกิดปฏิกิริยาแบบไหนขึ้นอยู่กับว่าเหล็กปรากฏตัวอยู่ในรูปแบบ (species) ใดตามปกติแล้ว นอกจากจะอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ไอออนเช่น $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ หรือ ไฮดรอกซีสปีชีส์ (hydroxy species) เช่น $\text{FeOH}(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$ แล้ว ยังอาจเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้กับแอนไอออนของสารอนินทรีย์หรือกับสารอินทรีย์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (metal complex) หรือสารประกอบที่เกิดจากการสร้างพันธะเคมีระหว่างคาร์บอนกับโลหะ (organometallic) ได้อีกด้วย สารประกอบในรูปแบบต่างๆ ที่กล่าวมานี้มีความสามารถในการละลายอันมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งคุณสมบัติในการถูกขนย้ายของสารประกอบในแต่ละรูปแบบนั้นแตกต่างกันไปจากไอออนของโลหะมาก กระบวนการที่มีความสำคัญที่สุด ในการเปลี่ยนแปลงไอออนโลหะให้กลายเป็นสารประกอบรูปแบบต่างๆ คือการเกิดคีเลชัน (chelation) นั่นเอง

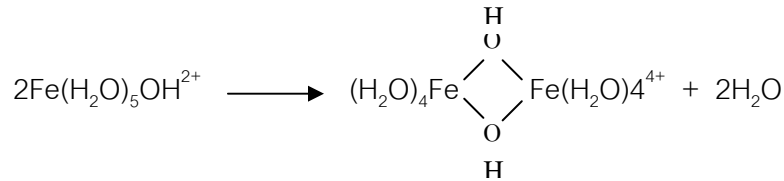
โดยทั่วไปแล้วเหล็กในรูปแบบของไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีประจุ +3 มีแนวโน้มที่จะเสียโปรตอน (H^+) ออกจากโมเลกุลของน้ำที่อยู่ล้อมรอบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือแสดงความเป็นกรดตามคำจำกัดความของ Bronsted นั่นเอง ดังแสดงได้ตามสมการ



ไฮดรอกไซด์ไอออนของเฟอร์ริก แสดงความเป็นกรดแก่ การที่ไอออนของเหล็กในสภาพไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มจะแสดงความเป็นกรดออกมาย่อมมีผลกับแหล่งน้ำธรรมชาติ ตัวอย่างเช่นน้ำจากเหมืองแร่ซึ่งแสดงความเป็นกรดออกมาเพราะการเสียโปรตอนออกจากไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการ



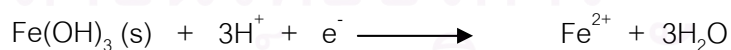
กลุ่มไฮดรอกซิล (OH⁻) ที่เกาะอยู่กับไอออนของเหล็ก อาจทำหน้าที่เชื่อมโมเลกุลของเหล็กเข้าด้วยกันอีกดังสมการ



สารประกอบเหล็กที่เกิดขึ้นอาจเป็น โพลีเมอร์ได้ จากสมการตัวอย่างนี้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อได้อีก กล่าวคือ โมเลกุลของน้ำในโคเมอร์นี้อาจเสียโปรตรอนออกมาทำให้เกิดไฮดรอกซิลสปีชีส์ขึ้นในโคเมอร์ หรืออีกนัยหนึ่งคือเพิ่มความสามารถในการสร้างพันธะกับไอออนของเหล็กจนเกิดเป็นโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิมขึ้น ถ้าขบวนการดังกล่าวยังคงดำเนินต่อไปอีกก็จะเกิดเป็นสารประกอบคอลลอยด์ (colloidal hydroxy polymer) ซึ่งมีขนาดใหญ่จนเกิดการตกตะกอน สิ่งที่ตกตะกอนออกมาคือ สารประกอบไฮดรอกไซด์ของเหล็ก (hydrated iron(III) oxide) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x(\text{H}_2\text{O})$ สารประกอบนี้มีชื่อทั่วไปว่าเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ เหมือนกับสารประกอบที่มีสูตร $\text{Fe}(\text{OH})_3$

2.1.2.3 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของเหล็กในแหล่งน้ำ

ปฏิกิริยารีดอกซ์หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะออกซิเดชัน เกิดขึ้นกับรีเอเจนต์ (reactant) ซึ่งเป็นผลรวมของครึ่งปฏิกิริยาสองชนิด คือ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่รีเอเจนต์ให้อิเล็กตรอนออกไป และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันที่รีเอเจนต์รับอิเล็กตรอนเข้ามา ปฏิกิริยารีดอกซ์มีความสำคัญมากทั้งกับน้ำธรรมชาติและน้ำเสีย ปฏิกิริยานี้ยังทำให้เหล็กเฟอร์ริก (Fe^{+3}) ที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนรูปไปเป็นเหล็กเฟอร์รัสที่ละลายน้ำได้ และก่อให้เกิดการปนเปื้อนดังสมการ



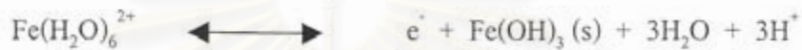
ค่าอิเล็กตรอนแอกทิวิตี้ (electron activity) และค่าไฮโดรเจนแอกทิวิตี้ (hydrogen activity : pH) สามารถใช้บ่งบอกถึงสภาวะออกซิไดส์และสภาวะรีดิวซ์ (oxidizing และ reducing degree) ด้วย น้ำที่มีค่าอิเล็กตรอนแอกทิวิตี้สูงเช่นในบ่อบำบัดน้ำเสียชนิดที่ย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย จะเป็นน้ำที่มีสภาวะรีดิวซ์ซึ่ง ในขณะที่น้ำที่มีอิเล็กตรอนแอกทิวิตี้ต่ำ (เช่นน้ำที่มีคลอรีนละลายอยู่มาก) จะมีสภาวะออกซิไดส์ซึ่งในน้ำธรรมชาติ สารประกอบเหล็กสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้ง กรด - เบส และรีดอกซ์ เช่นน้ำจากการทำเหมืองที่มีไอออนเหล็กในสภาวะไฮดรต ไอออนจะปล่อยโปรตรอน ออกมา ทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากขึ้นดังสมการ



หรืออาจเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ด้วยการรับอิเล็กตรอน ดังสมการ

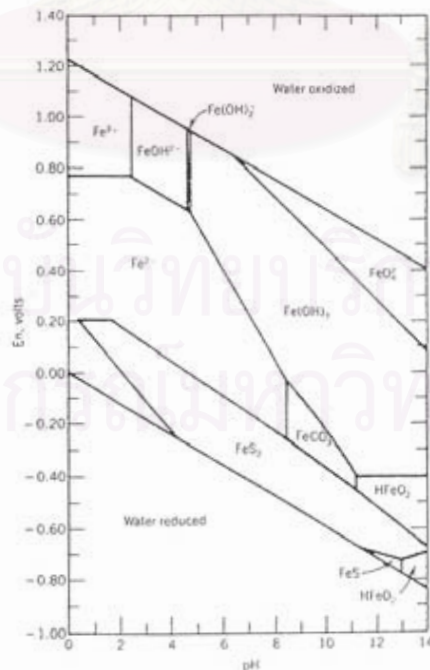


โดยทั่วไปแล้วการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์มักเกิดร่วมกับการแลกเปลี่ยนโปรตอน เช่นถ้าเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนของเหล็กเฟอร์รัสที่พีเอช 7 ก็จะมีการเสียโปรตอนด้วย ดังสมการ



และเกิดการตกตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ขึ้น

ระดับของอิเล็กตรอนแอกทิวิตีที่พบในน้ำธรรมชาตินั้น แปรผันได้ในช่วงที่กว้างมากจึงนิยมใช้ pE เป็นตัวแทนในการแสดงค่าอิเล็กตรอนแอกทิวิตี โดย $pE = -pH$ ในน้ำธรรมชาติที่มีค่าพีเอช 7 เมื่อแทนค่าแล้วจะได้ว่าขอบเขตของ pE มีค่าอยู่ระหว่าง -7 ถึง 13.75 ซึ่งข้อมูลนี้จะช่วยให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของไอออนเหล็กที่ระดับ pE และ pH ต่างๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 pE - pH diagram ของเหล็กในน้ำเมื่อ Total iron activity = 5.6×10^{-6} g/l , $[\text{SO}_4^{2-}] = 96$ mg/l , $\text{CO}_2 = 1000$ mg/l เทียบกับ HCO_3^- , อุณหภูมิ 25°C , ความดัน 1 บรรยากาศ (Hem, 1971)

จากรูปที่ 2.1 สรุปได้ว่า ในตัวกลางที่มีทั้งไฮโดรเจนแอกติวิตีและอิเล็กตรอนแอกติวิตีสูง (acidic reducing medium) เฟอร์รัสไอออนจะพบเป็นรูปแบบหลัก น้ำใต้ดินซึ่งมีสภาวะเช่นนี้จึงความเข้มข้นของไอออนเหล็กชนิดนี้สูงมาก แต่โดยทั่วไปแล้วในน้ำธรรมชาติโอกาสที่จะพบเฟอร์รัสไอออนในระดับความเข้มข้นสูงนั้นพบยาก เพราะความสามารถในการละลายภายใต้สภาวะต่างๆ อยู่ในช่วงที่แคบมาก อันเนื่องมาจากการตกตะกอนในรูปของเฟอร์ริกซัลไฟด์ (FeS) และ เฟอร์ริกคาร์บอเนต (FeCO₃) นั่นเอง ในตัวกลางที่มีไฮโดรเจนแอกติวิตีสูงมากและอิเล็กตรอนแอกติวิตีต่ำ (acidic oxidizing medium) เฟอร์ริกไอออนจะเป็นรูปแบบที่มีความเข้มข้นมากที่สุด ถ้าสภาพความเป็นกรดของตัวกลางชนิดนี้ลดลง รูปแบบหลักจะเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวของสารประกอบอนินทรีย์ของเหล็กที่ปรากฏในสภาวะที่ไฮโดรเจนแอกติวิตีต่ำ หากค่าอิเล็กตรอนแอกติวิตีสูง (basic reducing medium) จะพบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) ในรูปของแข็งซึ่งเป็นรูปแบบที่เสถียรที่สุด

เมื่อพิจารณาช่วงพีเอชที่พบทั่วไปในน้ำธรรมชาติ ที่ส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 5 – 9 แสดงว่าเหล็กที่พบอาจอยู่ในรูปแบบของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์หรือเฟอร์รัสไอออนก็ได้ และในน้ำธรรมชาติมักมีออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณมาก (มีระดับ pE ก่อนข้างสูง) เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์จึงเป็นเหล็กเพียงรูปแบบเดียวที่พบในน้ำทำให้น้ำนั้นมีปริมาณเหล็กที่แขวนลอยอยู่สูง ส่วนเหล็กที่อยู่ในรูปของสารละลาย ถ้ามีอยู่ก็มักจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำมาก (highly anaerobic) อิเล็กตรอนแอกติวิตีก็มีค่าต่ำตามไปด้วย เช่นในน้ำบาดาลอาจมีปริมาณเฟอร์ริกไอออนอยู่มาก เมื่อน้ำชนิดนี้สัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศค่าอิเล็กตรอนแอกติวิตีจะสูงขึ้นพร้อมกับเกิดการตกตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์

2.1.2.4 ความสามารถในการละลายและการตกตะกอนเหล็ก

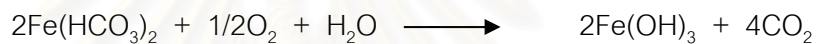
ความสามารถในการละลาย และตกตะกอนของเหล็กเฟอร์รัสและเหล็กเฟอร์ริก มีความแตกต่างกัน ทั้งสองรูปแบบละลายอยู่ในน้ำได้ในสภาวะที่เป็นกรด (Lide, 1992) แต่ความสามารถในการตกตะกอนต่างกันที่ระดับพีเอชต่างกัน ค่าคงที่ของการละลาย (K_{sp}) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการละลายของปฏิกิริยานั้น ๆ ซึ่งก็นำไปพิจารณาถึงความสามารถในการตกตะกอนได้เช่นกัน คือสารตัวใดที่มีค่าคงที่ของการละลายมาก หมายถึงมีการละลายได้มาก การรวมตัวตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ยากกว่าสารที่มีค่าคงที่ของการละลายน้อยกว่า ค่าคงที่ของการละลายของปฏิกิริยาต่างๆของเหล็ก แสดงดังตารางที่ 2.1

2.1.3 วิธีการกำจัดเหล็ก

ประดิษฐ์ (2527) กล่าวว่า มีทั้งขบวนการเดียวหรือหลายขบวนการรวมกัน สำหรับกำจัดเหล็กออกจากน้ำ การเลือกขบวนการใดก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบโดยเฉลี่ยและยังขึ้นอยู่กับสถานะของสารประกอบเหล็ก วิธีที่ใช้กำจัดเหล็ก มีดังนี้

1. วิธีออกซิเดชัน

ก). การเติมอากาศ เหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต หรือในรูปของสารละลาย เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ การเติมอากาศอย่างเดียวกดก็ใช้ไม่ได้ผลเพื่อไล่ที่คาร์บอนไดออกไซด์และเพื่อออกซิไดส์เหล็กให้ตกตะกอนลงมา หลังจากการเติมอากาศแล้วจึงกรองน้ำ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเช่น



ข). การเติมคลอรีน การใช้คลอรีนแก๊สหรือคลอรีนผงนั้นอาจจะใช้ก่อนหรือหลังการเติมอากาศก็ได้ ขบวนการเติมคลอรีนนี้จะเร็วกว่าการเติมอากาศอย่างเดียวแต่ไม่ค่อยได้ผลเมื่อเหล็กอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ความต้องการของคลอรีนที่ใช้ออกซิไดส์เหล็กด้วยวิธีนี้จะสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเติมอากาศเสียก่อน จึงค่อยใส่คลอรีน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเช่น



ค). คลอรีนไดออกไซด์ สามารถออกซิไดส์เหล็กได้เป็นอย่างดีเพราะคลอรีนไดออกไซด์เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่แรง แต่วิธีนี้ใช้สำหรับกำจัดเหล็กที่อยู่ในน้ำเป็นปริมาณน้อยเพราะมีค่าใช้จ่ายสูง

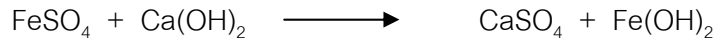
ง). โอโซน สามารถใช้โอโซน (O_3) ในการกำจัดเหล็กได้เช่นเดียวกัน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วการใช้โอโซนจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น สี และรส ของน้ำ

จ). โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นสารเคมีที่มีประโยชน์มากสำหรับการกำจัดเหล็กเพราะสามารถออกซิไดส์เหล็กได้ทุกรูปแบบที่ละลายอยู่ในน้ำ บางทีอาจจะประหยัดกว่าวิธีการเติมอากาศหรือเติมคลอรีน หรือในกรณีที่ใช้วิธีการเติมคลอรีนไม่ได้เช่น กรณีที่มีสารประกอบอินทรีย์อยู่ในน้ำเพราะอาจทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ก็สามารถใส่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการออกซิไดส์แทนได้

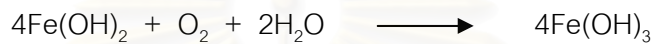
ข้อเสียเปรียบของวิธีการออกซิเดชันคือยากแก่การควบคุมการดำเนินงาน

2. การเติมสารเคมี

การกำจัดเหล็กออกจากน้ำวิธีหนึ่งซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือการใช้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาว หรือการตกตะกอนที่พีเอชค่อนข้างสูง ดังสมการ



ปฏิกิริยาจะดำเนินไปรวดเร็วมากคือ เฟอรัสไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ แล้วตกตะกอนลงมาดังปฏิกิริยา



สารส้มก็สามารถใช้ได้ผลสำหรับการกำจัดเหล็กในน้ำในขณะที่น้ำมีปริมาณ ออกซิเจนละลายอยู่มากเพียงพอที่จะเปลี่ยนเฟอรัสให้เป็นเฟอร์ริก

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ในการละลายของปฏิกิริยาต่างๆ ของสารประกอบเหล็ก (Ghosh, 1965 อ้างถึงใน วัฒนา ยุกแพน, 2516)

ปฏิกิริยา	Ksp ที่ 25 °c
$\text{Fe(OH)}_2(\text{s})^* \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^-$	8×10^{-16}
$\text{Fe(OH)}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{FeOH}^+ + \text{OH}^-$	4×10^{-10}
$\text{FeCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	2.11×10^{-11}
$\text{FeCO}_3(\text{s}) + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{FeOH}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	5.05×10^{-16}
$\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	4.7×10^{-11}
$\text{Fe(OH)}_2(\text{s}) + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_3^-$	8.3×10^{-6}
$\text{Fe(OH)}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^-$	4×10^{-38}
$\text{Fe(OH)}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_2^+ + \text{OH}^-$	5.13×10^{-17}
$\text{Fe(OH)}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{FeOH}^{2+} + 2\text{OH}^-$	2.57×10^{-26}
$\text{Fe(OH)}_3(\text{s}) + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_4^-$	1×10^{-5}
$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$	1×10^{-14}
$\text{Fe(OH)}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_3(\text{d})^{**}$	2.9×10^{-7}

* $\text{Fe(OH)}_2(\text{s})$ หมายถึง เฟอรัสไฮดรอกไซด์ในสถานะของแข็ง

** $\text{Fe(OH)}_3(\text{d})$ หมายถึงเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่ไม่แตกตัวในสารละลาย

3. วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange Method)

วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถใช้ดูดซับเหล็กที่อยู่ในรูปสารละลายได้ แต่หากอยู่ในรูปของแข็งหรือตะกอน โลหะเหล่านี้จะทำให้ตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการนี้ (เรซิน) เสียหาย ดังนั้นการบำบัดน้ำด้วยวิธีนี้จึงต้องป้องกันการเกิดออกซิไดส์ของน้ำดิบก่อนการกรอง หลังจากกรองน้ำแล้วจึงค่อยผ่านขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เหมาะสมสำหรับกำจัดเหล็กในปริมาณน้อยๆเท่านั้น เพราะค่าใช้จ่ายสูง

นอกจากวิธีการเหล่านี้แล้วก็ยังมีวิธีอื่นๆปลีกย่อยไปอีกเช่น การใช้สารเคมีเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ยกตัวอย่างคือการใช้คอปเปอร์ไอโรออนเพื่อเร่งอัตราการออกซิเดชันของอากาศสำหรับการกำจัดเหล็กที่ไม่ละลายน้ำ หากมีปริมาณเหล็กน้อยเช่น ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีสารอินทรีย์ไม่มากนัก การกรองอย่างธรรมดาก็สามารถแยกเหล็กออกไปจากน้ำได้

2.1.4 การออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนเหล็ก

เทคนิคการกำจัดโลหะหนัก มักจะใช้กระบวนการทางเคมีซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธีการตกตะกอน (precipitation) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยั่งยืนและสะดวก โดยการเติมสารเคมีที่มีอนุมูลไอออนตรงข้ามกับไอออนของโลหะซึ่งได้แก่แอนไอออน (anion) ต่างๆ เช่น คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) , ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) การตกตะกอนเหล็กมักใช้สารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ , โซเดียมคาร์บอเนต หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ในพีเอชที่เป็นเบส เช่นตะกอนเหล็กไฮดรอกไซด์เกิดได้ดีที่พีเอช 6-8 (Robinson and Dixon, 1968)

เคมีของเหล็กในแหล่งน้ำธรรมชาติจะเกี่ยวข้องกับค่าอิเล็กตรอนแอกทิวิตีและสารอินทรีย์เชิงซ้อน (Stumm and Lee, 1961) จากการทดลองพบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้อัตราการออกซิเดชันของเฟอร์รัสไอออน เพิ่มขึ้น 100 เท่า และปริมาณของไบคาร์บอเนต (bicarbonate) , ซัลเฟต (sulfate) และปริมาณซิลิกาที่ละลายอยู่ (dissolved silica) ก็มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดออกซิเดชันเช่นกัน (Schenk and Weber, 1968)

ในธรรมชาติเหล็กมักจะตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่าง (คาร์บอเนตอัลคาไลน์ตี ; carbonate alkalinity) ด้วย โดยถ้ามีค่ามากกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เหล็กตกตะกอนในรูปเฟอร์ริกคาร์บอเนตมากกว่าที่จะตกตะกอนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ และจากการวิเคราะห์ก็ยิ่งพบอีกว่ายิ่งเหล็กถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิไดซิงเอเจนท์ที่แรงมากเท่าใดก็ยิ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ได้ดียิ่งขึ้นด้วย แต่หากการออกซิไดส์เกิดขึ้นอย่างช้าๆ เช่นการออกซิไดส์ด้วยอากาศ และในน้ำนั้นมีค่าความเป็นด่างสูง จะได้ผลผลิตเป็นเหล็กคาร์บอเนตมากกว่า (Cleasby, 1975)

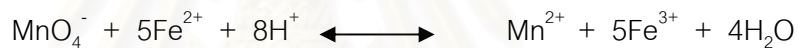
การกำจัดเหล็กที่ละลายอยู่ในรูปเฟอร์รัสด้วยการออกซิเดชันให้เป็นเหล็กเฟอร์ริก ซึ่งไม่ละลายน้ำเพื่อให้เกิดการตกตะกอน ตามด้วยการทำให้ตะกอนรวมตัว (coagulation) แล้วกรองตะกอนเพื่อกำจัดเหล็กออกไป สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของออกซิไดซิงเอเจนท์ที่ใช้ ตัวอย่างของออกซิไดซิงเอเจนท์มีดังนี้

ด่างทับทิม (Potassium Permanganate ; KMnO_4)

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือ ด่างทับทิม เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่แรง สารละลายของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมักจะมีแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เจือปน อันเกิดจากปฏิกิริยาของสารละลายดังนี้



แมงกานีสไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการออกซิไดส์ที่รวดเร็วและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Walker, 1978) ปฏิกิริยาการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสให้เป็นเหล็กเฟอร์ริกมีดังนี้



โดยตามทฤษฎี 1 มิลลิกรัม ของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะออกซิไดส์เหล็กได้ 1.06 มิลลิกรัม หลังจากเกิดการออกซิไดส์แล้วจะตกตะกอนอยู่ในรูปแบบใดขึ้นอยู่กับชนิดของแอนไอออน

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารฆ่าเชื้อด้วย ก็สามารถฆ่าแบคทีเรียได้โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผิวนอกและเมมเบรนของเซลล์ และสามารถฆ่าพาราสิต (parasite) และเชื้อโรคของปลาได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ด่างทับทิมยังอาจเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังนี้



จากสมการจะเห็นได้ว่า ในการเติมออกซิเจน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 6.6 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงไม่ควรใช้เพื่อการเพิ่มออกซิเจนเนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มากเกินไปจะมีอันตรายต่อสัตว์น้ำ (มันสิน, 2538)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide ; H_2O_2)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่ชนิดหนึ่งเมื่อแตกตัวแล้วจะให้โมเลกุลของออกซิเจนออกมาดังนี้

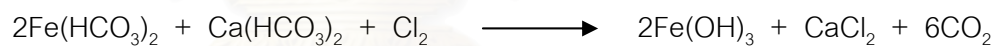


ปฏิกิริยาของออกซิเจนว่องไวมากแต่ก็มีบางปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ช้า เช่นปฏิกิริยาการออกซิไดส์สารละลายเฟอร์รัสด้วยอากาศ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่ดีแต่ไม่เสถียรอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาคิสพรอพอชันเนชัน (disproportionation) และแม้ว่ามันไม่เสถียรแต่ก็สามารถคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักและในสภาวะที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ไอออนบางชนิดหากมีเจือปนอยู่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของมัน โดยการให้และรับอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั่นเอง (Shriver and Atkins, 1999)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารเคมีอีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้สามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์และให้ออกซิเจนคล้ายกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตแต่มีพิษและอันตรายน้อยกว่า เคยมีการวิจัยและพบว่าเปอร์ออกไซด์ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่เป็นอันตรายต่อลูกปลาเทราท์ (Trout) ภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง (มันสิน, 2538)

แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Ca(OCl)₂)

คลอรีน และ ไฮโปคลอไรต์ เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่มีประสิทธิภาพในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสแม้ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ เช่นปฏิกิริยา



จากปฏิกิริยานี้ทำให้ทราบว่าคลอรีน 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถออกซิไดส์เหล็กได้ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร (วัฒนา, 2516) การใช้คลอรีนหรือไฮโปคลอไรต์อาจใช้ร่วมกับการเติมอากาศโดยอาจใช้ก่อนหรือหลังการเติมอากาศก็ได้เพื่อลดปริมาณคลอรีนที่ใช้ (ประดิษฐ์, 2527)

แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ เป็นสารเคมีที่รู้จักกันดีว่าเป็นสารฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาในทางการค้าอยู่ในรูปแบบผงแห้งเรียกว่า ผงปูนคลอรีน หรือผงคลอรีน บางครั้งอาจเรียกว่าผงฟอกสีเพราะมันมีฤทธิ์ในการออกซิไดส์ที่แรงนั่นเอง นอกจากนี้อยู่ในรูปแบบผงแล้วยังอาจมีในรูปแบบเม็ดด้วยเพื่อสะดวกในการใช้ในเชิงอุตสาหกรรม แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ 1 โมลประกอบด้วยไฮโปคลอไรต์ (OCl) 2 โมล หรือมีเนื้อคลอรีนแท้ๆ (available chlorine) 141.8 กรัมต่อโมล (AWWA, 1999) เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของคลอรีนในผงปูนคลอรีนนั้นมีไม่แน่นอน โดยจะมีอัตราการสลายตัว 0.013 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน (Laubusch, 1963) แม้ว่าไฮโปคลอไรต์สามารถใช้ในการออกซิไดส์เหล็กได้ดี แต่ก็มีประสิทธิภาพไม่ดีนักเมื่อใช้ออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์ของเหล็ก

แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อ ทำความสะอาดน้ำทะเล ใช้เตรียมน้ำในโรงเพาะฟักและน้ำในบ่อเลี้ยงก่อนที่จะ

ปล่อยกึ่งลงไปเพื่อกำจัดศัตรูกึ่งบางชนิดเช่น ตัวอ่อนของแมลง ลูกปลา (พริลิส และคณะ, 2537) ข้อเสียของการเติมแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ลงในน้ำคือการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (side reaction) กับสารอื่นๆ ในน้ำ และทำให้ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคลดน้อยลง (กรรณิการ์, 2525)

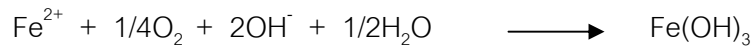
ความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีนในรูปของแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ผลปรากฏว่าค่าความเข้มข้นของคลอรีนที่ทำให้ลูกกึ่งกุลาคามีอัตราการตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือค่า 24 h - LC₅₀ นั้นมีค่า 1.87, 2.12, 0.77, 2.66 และ 2.77 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อ ทดลองกับลูกกึ่งระยะนอเพลีส, โซเอีย 2, ไมซิส 2, โปสลาวาร์ 6 และโปสลาวาร์ 15 ตามลำดับและจากการทดลองผลของคลอรีนที่มีต่อคุณภาพน้ำ พบว่าคุณภาพน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดคือ ปริมาณแอมโมเนีย และ ไนโตรที่ นอกจากนี้คุณภาพน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อยหลังจากการเติมคลอรีน ได้แก่ พีเอช, ค่าความเป็นด่าง และ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (D.O.) ซึ่งคลอรีนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพีเอช, ค่าความเป็นด่าง และ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

การเลี้ยงกึ่งในบ่อดิน ผู้เลี้ยงสามารถใช้คลอรีนในอัตราความเข้มข้นต่ำเพื่อกำจัดแอมโมเนียในน้ำแต่ควรใช้อย่างระมัดระวัง เพราะกึ่งมีความไวต่อความเข้มข้นของคลอรีนในระดับต่ำ หากกึ่งมีขนาดเล็กความไวต่อคลอรีนก็ยิ่งมากกว่ากึ่งที่มีขนาดใหญ่กว่า ปัจจุบันมีผู้เลี้ยงกึ่งเติมผงคลอรีนลงในบ่อขณะเลี้ยงกึ่งอยู่เพราะต้องการฆ่าเชื้อโรคที่ปะปนอยู่ในน้ำ แต่แท้จริงแล้วคลอรีนในระดับความเข้มข้นต่ำสามารถทำลายแบคทีเรียได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เพราะส่วนหนึ่งคลอรีนจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำรวมทั้งแพลงก์ตอนด้วย คลอรีนส่วนที่เหลือจึงออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เมื่อฤทธิ์ของคลอรีนอ่อนตัวลงในเวลาต่อมาจนไม่สามารถทำลายแบคทีเรียได้อีก แต่มันกลับทำให้สภาพแวดล้อมภายในบ่อเหมาะสมกับการเจริญของเชื้อแบคทีเรีนั่นแบคทีเรียจึงเพิ่มปริมาณมากขึ้นกว่าก่อนการเติมคลอรีนเสียอีก ดังนั้นการใช้คลอรีนในน้ำที่จะใช้เลี้ยงกึ่งจึงควรทำในบ่อพักน้ำที่ไม่มีกึ่งจะปลอดภัยกว่า และสามารถทำลายสิ่งปะปนที่ไม่พึงปรารถนา โดยคลอรีนจะไม่เป็นอันตรายต่อกึ่งที่เลี้ยงอยู่หากน้ำที่นำมาใช้นั้นไม่มีคลอรีนหลงเหลืออยู่ (สุวรรณา และ พริลิส, 2539)

อากาศ

ในปัจจุบัน วิธีการกำจัดเหล็กออกจากน้ำใช้หลักการออกซิไดส์เหล็กที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายแล้วจึงกรองแยกออกมา ออกซิไดซิงเอเจนท์ที่เป็นพื้นฐานที่สุดที่รู้จักกันดีคือออกซิเจนหรืออากาศนั่นเอง ออกซิเจนถูกนำเข้าสู่สารละลายด้วยวิธีการเติมอากาศ (aeration) ซึ่งมีอยู่หลายแบบเช่น ใช้กังหันกวนน้ำเพื่อให้ออกซิเจนในอากาศลงไปสัมผัสกับน้ำ หรือการฉีดน้ำให้เป็นละอองขึ้นไปบนอากาศ เพื่อให้สัมผัสกับอากาศโดยตรง เป็นต้น

R.S. Engelrecht, J.T. O'Connor และ M.Ghosh กล่าวว่า การผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านกรองเป็นวิธีการเติมอากาศแบบพื้นฐานง่ายๆ โดยจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



จากปฏิกิริยาดังกล่าว 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของออกซิเจน จะออกซิไดส์เฟอร์รัสได้ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษากลไกการเติมอากาศโดย Stumm และ Lee (1961) พบว่า อัตราการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับเฟอร์รัสนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสและความดันของออกซิเจน (partial pressure of oxygen ; P_{O_2}) ดังนี้

$$\frac{-d(\text{Fe}^{2+})}{dt} = K'(\text{Fe}^{2+})P_{\text{O}_2}$$

ในผลการศึกษาแล้วยังพบว่า ระดับพีเอชมีผลต่ออัตราการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัส โดยเมื่อเพิ่มระดับพีเอชขึ้น 1 หน่วย อัตราการออกซิไดส์จะเพิ่มขึ้น 100 เท่า เนื่องจากปฏิกิริยาลำดับที่สองมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออน ดังสมการ

$$\frac{-d(\text{Fe}^{2+})}{dt} = K(\text{Fe}^{2+})P_{\text{O}_2}(\text{OH}^-)_2$$

$$\text{เมื่อ } K = \frac{K'}{(\text{OH}^-)^2}$$

$$K' = \frac{K_0}{P_{\text{O}_2}}$$

$$K_0 = \frac{-d \ln(\text{Fe}^{2+})}{dt}$$

และ K_0 คือ log ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

Just (1908) ได้สรุปว่าอัตราการออกซิเดชันของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับไอออนของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือ เมื่อไบคาร์บอเนตอัลคาไลนิตี้มากขึ้น อัตราการออกซิเดชันเหล็กเฟอร์รัสจะเร็วขึ้นด้วย ขณะเดียวกันเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น อัตราการออกซิเดชันเหล็กเฟอร์รัสจะช้าลง ความสัมพันธ์ต่างๆ ดังกล่าวเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\frac{-d[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2]}{dt} = \frac{K[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2][\text{O}_2]}{[\text{CO}_2]^2}$$

นอกจากนั้นแล้ว Just ยังได้สรุปต่อไปอีกว่า เมื่อพีเอชของน้ำสูงขึ้น อัตราการออกซิเดชันจะเร็วขึ้นดังสมการ

$$\frac{-d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = \frac{K[\text{Fe}^{2+}][\text{O}_2]}{[\text{H}^+]^2}$$

ต่อมาภายหลัง Stumm และ Lee ได้พบความสัมพันธ์เพิ่มเติมว่า อัตราการออกซิเดชันเหล็กเฟอร์รัสจะเร็วขึ้นเมื่อน้ำมีออกซิเจนอย่างเพียงพอและมี Cu^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} และ (H_2PO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.1.5 ทฤษฎีการรวมตัวของตะกอน

อนุภาคขนาดเล็กที่เรียกกันว่า อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ โดยทั่วไปจะมีขนาด 10^{-6} ถึง 10^{-3} มิลลิเมตร อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ นั้นมาจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุเป็นบวกหรือลบแล้วแต่ชนิดของสาร อนุภาคเหล่านี้มีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิดคือแรงดึงดูดและแรงผลัก แรงดึงดูดเป็นแรงธรรมชาติของอนุภาคระดับโมเลกุลที่ดึงดูดซึ่งกันและกัน ส่วนแรงผลักเป็นแรงที่เกิดจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน บทบาทของแรงทั้งสองชนิดมีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ แรงดึงดูดจะมีผลเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมากซึ่งจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ แต่หากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงดึงดูด จึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคต่างๆกระจายตัวกันอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน

กระบวนการรวมตัวของตะกอน (coagulation) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงในน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์และแขวนลอย เพื่อให้มันรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นโดยการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคเหล่านั้น สารเคมีที่เติมลงไปเรียกว่าโคแอกกูแลนต์ (coagulants) กระบวนการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. ทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) เช่นลดแรงผลักระหว่างอนุภาค กลไกที่เกิดขึ้นเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบ่งเป็น 4 แบบ คือ

1.1 การเพิ่มความหนาแน่นของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของชั้นกระจายลดลง อนุภาคจะสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้นจนแรงดึงดูดส่งผลให้อนุภาคเกาะกันได้

1.2 การดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption and charge neutralization) โดยการเติมสารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ดี กระบวนการนี้มีผลให้ศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ลดลงซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของมันนั่นเอง

1.3 การสร้างผลึกเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (sweep coagulation) เป็นการเติมสารเคมีให้เกิดตะกอนที่มีลักษณะเหนียวเหนอะซึ่งสามารถห่อหุ้มอนุภาค ทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียวและไม่แสดงอำนาจประจุไฟฟ้า เมื่ออนุภาคเหล่านี้สัมผัสกันจึงสามารถเกาะกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่

1.4 การสร้างสะพานเชื่อมต่อบนอนุภาคคอลลอยด์ โดยการใช้โพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เติมลงในน้ำซึ่งจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับโพลิเมอร์สายอื่นๆ เกิดเป็นฟล็อกได้

2. ต้องทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่า ฟล็อกคูเลชัน (Flocculation)

ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมตัวของตะกอน

ก). ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือประจุลบ ดังนั้นหากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกใช้สารช่วยให้ตะกอนรวมตัวได้เหมาะสม

ข). ชนิดของสารที่ใช้ในการช่วยให้ตะกอนรวมตัว สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เท่ากัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการช่วยให้ตะกอนรวมตัว ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีการใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

ค). ระดับพีเอชที่เหมาะสม สารที่ใช้ในการรวมตัวของตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชระดับใดระดับหนึ่ง ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ผลการรวมตัวของตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดีนัก

ง). ปริมาณของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัว เกี่ยวข้องกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะโดยธรรมชาติแล้วสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (Ion product) ไม่เกินค่าคงที่ของการละลาย (K_{sp}) ของสารนั้นๆแล้วก็จะไม่ตกตะกอน แต่ถ้าเกินค่าคงที่ของการละลายสารนั้นก็จะตกตะกอนทันที ดังนั้นปริมาณสารที่ช่วยให้ตะกอนรวมตัวจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนแต่ละครั้ง ถ้าปริมาณมากเกินไปจะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ (มันซิน, 2526)

จ). เวลาและความแรงของการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัว การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้อย่างทั่วถึงและเป็นการประหยัดเวลาด้วย ดังนั้น การกวนตะกอนที่รุนแรงเท่าใดก็ยิ่งประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอนจำเป็นต้องกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อเปิดโอกาสให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกันมากที่สุด

นอกจากสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวแล้ว ยังมีโพลิเมอร์ที่ช่วยทำให้สารเคมีเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการรวมตัวตะกอนดีขึ้น ทำให้ตะกอนแข็งแรงยิ่งขึ้น และทำให้ความสามารถในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการรวมตัวของตะกอนอีก

ด้วย โพลีเมอร์นี้เรียกว่าโคแอกกูแลนต์เอ็ด (coagulant aid) แบ่งเป็น 3 ประเภทตามประจุที่อยู่บนสายโพลีเมอร์ดังนี้

- โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก ใช้สำหรับดูดซับอนุภาคคอลลอยด์หรือตะกอนที่มีประจุลบ
- โพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ ใช้แทนที่อนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ และทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างคอลลอยด์กับโพลีเมอร์
- โพลีเมอร์ไม่มีประจุ (Non-ionic Polymer) เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุรวมตัวตะกอน โดยอาศัยพันธะไฮโดรเจนระหว่างผิวหน้าของอนุภาคและกลุ่มที่มีขั้วของโพลีเมอร์

การใช้โพลีเมอร์ในกระบวนการช่วยให้ตะกอนรวมตัว จะต้องเติมโพลีเมอร์หลังจากการเติมโคแอกกูแลนต์ไปแล้ว 30 วินาที จนถึง 2 นาที (Mayhew and Raman, 1984) โพลีเมอร์ทุกชนิดมักมีราคาแพงและเป็นสารอินทรีย์ที่หมดอายุได้จึงต้องใช้อย่างระมัดระวัง

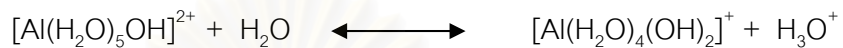
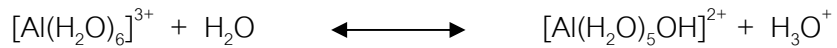
2.1.6 สารเคมีที่ช่วยให้ตะกอนรวมตัว (Coagulants)

สารที่ใช้ในการช่วยให้ตะกอนรวมตัวที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่มีอลูมิเนียม (Aluminium) เป็นองค์ประกอบ หรือกลุ่มสารส้ม ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต อลูมิเนียมคลอไรด์ , โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และโซเดียมอลูมินेट กลุ่มที่สองคือกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เฟอร์รัสคลอไรด์ , เฟอร์ริกคลอไรด์ และ เฟอร์ริกซัลเฟต เป็นต้น

2.1.6.1 สารส้ม (Aluminium sulfate ; $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$)

สารส้มที่คนทั่วไปคุ้นเคยนั้น ในทางเคมีเรียกว่าโพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต (Potassium Aluminium Sulfate ; $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ หรือ $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$) เรียกกันทั่วไปว่า Potash Alum แต่ที่มีขายตามท้องตลาดส่วนใหญ่จะเป็น Ammonium Alum ซึ่งถูกกว่า แต่ใช้ประโยชน์ได้เหมือนกัน สารส้มชนิดนี้มีลักษณะเป็นก้อนใสและมีชื่อทางเคมีว่า แอมโมเนียมอลูมิเนียมซัลเฟต (Ammonium Aluminium Sulfate หรือ $NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) แต่สารส้มที่ผลิตและใช้กันมากที่สุดมีลักษณะเป็นก้อนสีขาวขุ่น สารส้มชนิดนี้คืออลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium Sulfate) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ที่ใช้กันมากเพราะราคาถูกกว่าและได้เนื้อสารมากกว่าสองชนิดแรก สารส้มสองชนิดแรกมีส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์คือโพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium Sulfate) และ แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulfate) รวมอยู่ด้วย ส่วนที่ใช้ประโยชน์จริงๆคืออลูมิเนียมซัลเฟต แต่การเติมโพแทสเซียมซัลเฟตหรือแอมโมเนียมซัลเฟตลงไปก็เพื่อทำให้เป็นก้อนผลึก

เมื่อใส่สารส้มลงไปใต้น้ำที่มีความขุ่น จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำให้ออนุกรมของมัลติวาเลนต์ไฮดรอกไซด์สปีชีส์ (multivalent charged hydrous oxide species) สารประกอบนี้จะมีประจุบวกหรือลบขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ ถ้าพีเอชต่ำ สารประกอบนี้จะมีประจุบวก และถ้าพีเอชสูงก็จะมีประจุลบ สมการการเกิดปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้

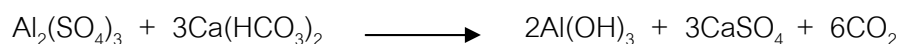


ปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อไปเรื่อยๆ จนได้รูปแบบที่เป็นกลาง (neutral species) คือ $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3]$ หรือรูปแบบที่ให้ประจุลบ คือ $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]^-$ สารประกอบนี้จะมีลักษณะเป็นฟล็อก คือเป็นสารขนาดเล็กที่มีลักษณะเหนียว สารประกอบนี้จะไปดูดซับเอาความขุ่นในน้ำมารวมตัวด้วยและเมื่อทำให้มันมีโอกาสสัมผัสกันมากๆ โดยการกวนช้าๆ ขนาดของฟล็อกก็จะใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากพอที่จะแยกตัวออกมาจากน้ำ (สุคใจ, 2519)

ปัญหาหนึ่งที่เกิดจากการใช้สารส้มคือ ผลกระทบจากค่าพีเอชและค่าความเป็นด่าง (Kemmer, 1988) หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม กระบวนการรวมตัวของตะกอนจะมีประสิทธิภาพต่ำลง ตัวอย่างเช่น การใช้ลูมิเนียมซัลเฟตปริมาณเล็กน้อยแต่ทำให้ค่าพีเอชต่ำลงมากเนื่องจากเกิดกรดดังสมการ



ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอันได้แก่สารประกอบไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะตกตะกอนลงมา และกรดซัลฟิวริก จะทำให้พีเอชต่ำลง มีผลต่อสภาพความเป็นด่างของน้ำ ทุกๆ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของสารส้มสามารถทำลายสภาพความเป็นด่างได้ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน, 2538) ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำเพื่อไม่ให้พีเอชต่ำมากนัก ดังสมการ



จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งบางครั้งก๊าซชนิดนี้จะรบกวนขั้นตอนการรวมตัวของตะกอน เพราะก๊าซจะลอยขึ้นสู่น้ำแล้วดันตะกอนให้ลอยขึ้นมาด้วย หรือทำให้ตะกอนตกสู่เบื้องล่างและทำให้เกิดความกระด้างถาวรขึ้น (กาญจนิกา, 2536)

ประโยชน์ของสารส้มเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือ ใช้เป็นสารลดความขุ่นของน้ำ ในปัจจุบันสารส้มเป็นสารเคมีที่สามารถใช้ได้ดีที่สุดในการกำจัดความขุ่นของน้ำในบ่อปลา

สารส้มจะกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุดเมื่อน้ำมีระดับพีเอช (ภายหลังจากการเติมสารส้มแล้ว) อยู่ใน ช่วง 6-7 ในกรณีที่น้ำในบ่อปลาไม่มีความเป็นด่างต่ำจึงจำเป็นต้องเติมปูนขาว สารส้มไม่ จัดเป็นสารอันตรายต่อปลาและสัตว์น้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำไม่มีความเป็นด่างเพียงพอ ปลาต่างๆ สามารถทนต่อสารส้มในปริมาณที่ใช้กำจัดความขุ่นของน้ำ โดยไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต อันตรายจากสารส้มจะปรากฏเมื่อน้ำมีพีเอชต่ำถึง 4 ซึ่งเป็นระดับที่สารส้มแตกตัว เป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) สัตว์น้ำจึงได้รับอันตรายจากพีเอชต่ำและโลหะหนักในน้ำ

2.1.6.2 โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminiumchloride ; PACl)

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อลดปัญหา ค่าพีเอชที่ลดต่ำลงมากเมื่อใช้สารเคมีพวกอลูมิเนียมซัลเฟตโดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คลอไรด์ ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเข้ารวมกับตะกอนแล้วตกลงสู่พื้นเบื้องล่าง จึงไม่มีปัญหาสภาพความเป็นกรด-ด่างมากเหมือนกับโคแอกกูแลนต์อื่นๆ และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่าง รวมทั้งเกิดผลิตภัณฑ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าจึงไม่มีปัญหาเรื่องตะกอนลอย และไม่เกิด ความกระด้างถาวรเหมือนสารส้ม (Kemmer, 1988) และปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปรับ สภาพน้ำก็ใช้น้อยกว่าด้วยดังแสดงในสมการ



โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ มีอำนาจในการสร้างและรวมตัวตะกอนสูง การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าการใช้สารส้ม นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการใช้งานเนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำดี ค่าพีเอชที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 6-9 แต่บางกรณีก็จะสามารถตกตะกอน ในช่วงพีเอช 5-10

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ อาจอยู่ในรูปของแข็งหรือสารละลาย เป็นสารเคมีที่มี งานวิจัยไม่กว้างขวางนัก จึงมีข้อมูลในเรื่องนี้ไม่มากนัก โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เมื่ออยู่ในน้ำจะ เกิดการแตกตัวให้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เช่นเดียวกับสารส้ม ดังนั้น กลไกการทำปฏิกิริยาน่าจะ ใกล้เคียงกับสารส้ม กล่าวคือ เมื่อโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ แตกตัวได้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีความสามารถในการให้โปรตรอน จึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมได้สารต่าง ๆ เช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_6(OH)_{15}^{3+}$ เป็นต้น ซึ่งเป็นอลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่าโพลิ เมอร์ริคไฮดรอกโซคอมเพล็กซ์ (Polymeric hydroxo complex) ซึ่งมีความสามารถในการทำ ปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียร แล้วเกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่มี ขนาดใหญ่ขึ้นแล้วจึงตกตะกอนออกมา สำหรับการสร้างตะกอนพีเอชของน้ำมี ความสำคัญต่อประจุที่เกิดจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำ สารประกอบเชิงซ้อนที่มี

ประจุบวกจะเกิดขึ้นมากจะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอน นอกจากนี้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้ว มันยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในน้ำกลายเป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) เกิดเป็นตะกอนเล็กๆ และเนื่องจากโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงในการทำละลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้น การเติมต้องเติมและผสมลงในน้ำอย่างรวดเร็วทันทีแล้วจึงลดอัตราการกวนให้ช้าลง เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วจึงแยกตะกอนออกมาโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ (กาญจนิกา, 2536)

โพลิออลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีงานวิจัยไม่กว้างขวางนัก จึงยังมีข้อมูลในเรื่องนี้ไม่มาก ในปี 1984 Dempsey ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารส้มและโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ ในขั้นตอนที่เกิดกลไกของการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค โพลิออลูมิเนียมคลอไรด์มีใช้ในประเทศญี่ปุ่น , เยอรมัน และฝรั่งเศส และกำลังได้รับความสนใจในประเทศไทย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Brown (1950) ได้พบวิธีกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีเติมอากาศตามด้วยการตกตะกอนและการกรอง เครื่องมือที่ใช้ในการเติมอากาศเป็นเครื่องเติมอากาศแบบบาดหลายชั้นซึ่งไม่ได้ใส่ถ่านโค้ก เครื่องมือที่ใช้ในการตกตะกอนเป็นถังตกตะกอนแบบสี่เหลี่ยมซึ่งมีระยะเวลาการเก็บกักประมาณ 3 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าน้ำดิบซึ่งมีเหล็กประมาณ 8.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และแมงกานีสประมาณ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการกำจัดเหล็กโดยไม่มีการเติมสารเคมีใดๆเข้าไปในน้ำแล้ว ปรากฏว่าน้ำที่ผ่านการกำจัดเหล็กจะมีเหล็กเหลืออยู่ประมาณ 1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแมงกานีสเหลืออยู่ประมาณ 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองโดยใช้เครื่องมือแบบเดิมแต่มีการจ่ายน้ำอากาศอินเข้าไปยังน้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้วพบว่า น้ำที่ผ่านการกำจัดเหล็กจะมีเหล็กเหลืออยู่ประมาณ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าการเติมคลอรีนลงไปก่อนจะช่วยกำจัดเหล็กได้ดีขึ้น

Mc.Cracken (1960) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดดี และเหล็กในห้องทดลอง โดยการทำการทดสอบ (Jar test) และใช้แบบทดลอง แบบทดลองประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ 5 ส่วนคือ เครื่องวัดอัตราการไหล , เครื่องจ่ายน้ำยา , ถังสมานตะกอน , ถังตกตะกอน และ ถังกรอง ผลจากการทำการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ปริมาณสารส้มประมาณ 51 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะไม่ทำให้ลดยอดลงเพียงแต่ช่วยให้ค่าพีเอชสูงขึ้น และในขณะที่เดียวกันกลับทำให้ปริมาณเหล็กตกค้างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำผลที่ได้จากการทำการทดสอบมาใช้ในแบบทดลอง ปรากฏว่าได้ผลไม่ดีและไม่สามารถกำจัดเหล็กได้ดีเท่ากับการทำการทดสอบ

Longley , Engelbrecht และ Margrave (1961) ได้ศึกษาวิธีการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการเติมออกซิเจนตามด้วยการทำตะกอน การตกตะกอน และการกรอง ผลการทดลองจากแบบทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1). การเติมอากาศสามารถกำจัดเหล็กได้ 0.1 – 44 %
- 2). การตกตะกอนซึ่งมีระยะเวลาเก็บกัก 1 ชั่วโมงครึ่ง สามารถกำจัดเหล็กได้ประมาณ 13 %
- 3). การกรองสามารถกำจัดเหล็กได้ 96 – 100 %

Willey และ Jennings (1963) ศึกษาการใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสเพื่อให้ตกตะกอนในรูปเหล็กเฟอร์ริก โดยแนะนำว่าเหล็กจะถูกกำจัดออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงไปอย่างต่อเนื่องในน้ำก่อนที่จะผ่านน้ำไปที่ชั้นกรองซึ่งเป็นเม็ดทรายเคลือบผิวด้วยแมงกานีส ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ต้องการใช้พิจารณาได้จากปฏิกิริยา



ในทางทฤษฎีแล้ว โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1 ส่วน จะออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ 1.06 ส่วน แต่ในทางปฏิบัติพบว่าใช้น้อยกว่าทฤษฎี เพราะโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตบางส่วนเกิดปฏิกิริยาแตกตัวได้แมงกานีสไดออกไซด์ดังปฏิกิริยา



นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวออกซิไดส์ชนิดอื่น ๆ ก่อนที่จะใช้อากาศหรือคลอรีน หรือไฮโปคลอไรต์ก็จะให้ประโยชน์มาก เพราะโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ที่แรงมาก มันจะสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆที่ถูกออกซิไดส์ยากเสียก่อนทำให้อากาศ หรือคลอรีนหรือไฮโปคลอไรต์ที่จะใช้ต่อไปสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งข้อแนะนำดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดนั่นเอง

Engelbrecht , O'Connor และ Ghosh (1967) ได้ศึกษาถึงผลทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลในระบบทรายกรอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบทดลองประกอบด้วยถังเติมอากาศแบบใช้อากาศอัดซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำดิบจาก 0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 6.5 – 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงเก็บกักซึ่งสามารถกักน้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้วได้เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และถังกรองซึ่งมีตัวกรองเป็นทรายกรองเร็ว

จากการทดลองโดยควบคุมให้น้ำดิบผ่านการเติมอากาศ , การเก็บกัก และการกรองอย่างต่อเนื่องกัน เป็นเวลานานถึง 8 สัปดาห์ พบว่าค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่กรองแล้วได้ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลเข้าถังกรอง และค่าออกซิเจนละลายของน้ำที่กรองแล้วจะลดลงตามอายุการกรองที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายในน้ำลดลงแต่ปรากฏว่าเหล็กในน้ำที่กรองแล้วกลับมีค่าเพิ่มขึ้นและอยู่ในรูปเฟอร์รัสเป็นส่วนใหญ่ โดยพบว่าเมื่อถึงระยะเวลากรองไว้นานถึง 48 ชั่วโมง เหล็กในน้ำที่กรองแล้วจะมีปริมาณเกือบเท่ากับเหล็กในน้ำก่อนกรอง วิธีแก้ปัญหานี้คณะผู้ทดลองได้แนะนำว่า ต้องกำจัดแบคทีเรียในทรายกรองให้หมดไปด้วยการใช้คลอรีนหรือด่างทับทิม

Robinson (1967) ได้ทำการทดลองและศึกษาเกี่ยวกับการทำตะกอนของเหล็ก และแมงกานีสในน้ำบาดาลที่มีค่าความเป็นด่างต่ำ สรุปได้ดังนี้

- 1). ถ้าต้องการให้เหล็กเฟอร์รัสในน้ำบาดาลที่มีค่าความเป็นด่างต่ำถูกออกซิไดส์ได้ในทันทีที่สัมผัสกับอากาศ จะต้องเพิ่มความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของน้ำให้มีค่าประมาณ 100 ถึง 130 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบกับ CaCO_3 โดยการเติมโซเดียมคาร์บอเนตหรือปูนขาว หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 2). โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตช่วยในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ดีโดยไม่ต้องมีการควบคุมพีเอช หรือค่าความเป็นด่าง
- 3). เหล็กเฟอร์รัสในน้ำบาดาลจะถูกออกซิไดส์ก็ต่อเมื่อพีเอชของน้ำมีค่าตั้งแต่ 6.6 ขึ้นไป และจากการศึกษาโดยทั่วไปพบว่าเหล็กเฟอร์รัสจะถูกออกซิไดส์เมื่อพีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 – 8.2
- 4). สารเคมีที่ดีที่สุดในการเพิ่มพีเอชและค่าความเป็นด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพราะว่าเป็นสารเคมีที่ไม่ทำให้น้ำมีความกระด้างเพิ่มขึ้นและราคาไม่แพงนักเมื่อเทียบกับ โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หนึ่งแนวทางปฏิบัติจะต้องเพิ่มค่าความเป็นด่างให้อยู่ในช่วง 100 ถึง 120 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบกับ CaCO_3

วิทยา และ วรณศรี (2516) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล โดยใช้เครื่องมือที่ประกอบไปด้วยเครื่องเติมอากาศแบบถาดใส่ถ่านไม้ และ ถังกรอง โดยใช้ตัวกรอง 2 ชนิด คือทรายและถ่านกลบที่มีขนาดลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และข้างบนตะแกรงเบอร์ 40 (0.3-0.5 มิลลิเมตร) น้ำดิบมีเหล็ก 5.0 – 9.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ถ่านกลบมีประสิทธิภาพในการกรองเหล็กดีกว่าทราย โดยสามารถกำจัดเหล็กได้ถึง 97.4 % ซึ่งทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลือน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการกรองที่เหมาะสมเมื่อใช้ทราย และถ่านเผาไม่ควรน้อยกว่า 0.5 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต และตัวกรองควรมีความสูง 25 เซนติเมตร

มนตรี (2516) ได้ทดลองการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีไฟฟ้าพบว่า อัตราการตกตะกอนของเหล็กขึ้นอยู่กับขนาดของตะกอนเหล็กกับความเป็นด่างของน้ำ โดยเมื่อค่าความเป็นด่างของน้ำมีค่ามากขึ้นและสามารถเพิ่มพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น รวมทั้งลดอัตราการไหลของน้ำให้น้อยลง จะทำให้สามารถกำจัดเหล็กได้ถึง 98 –99 %

George A.D. และ Chaudhuric (1977) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกรองเหล็กในน้ำบาดาลโดยใช้ตัวกรองที่เป็นถ่านหิน น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำจากบ่อน้ำบาดาลที่มีการเติมเฟอร์รัสซัลเฟตเข้าไปภายหลังจากที่ได้สูบขึ้นมาจนมีปริมาณเหล็ก 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงกรองที่ใช้ทดลองทำด้วยท่อแก้วมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.6 เซนติเมตร จำนวน 2 ถึงถึงหนึ่งมีตัวกรองเป็นทรายกรองเร็วซึ่งมีขนาดตัวกลาง 1 มิลลิเมตร อีกถึงหนึ่งมีตัวกรองเป็นถ่านหินซึ่งมีขนาดเดียวกันกับทรายกรองเร็ว ความสูงของชั้นกรองทั้งสองชนิดเท่ากับ 60 เซนติเมตร ใช้อัตราการกรอง 2 ,4 ,6 และ 10 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ผลการเปรียบเทียบการกรองเหล็กระหว่างตัวกรองที่เป็นทรายกรองเร็วกับตัวกรองที่เป็นถ่านหินสรุปได้ว่า

- 1). ตัวกรองที่เป็นถ่านหินสามารถกำจัดเหล็กในน้ำได้สูงกว่าตัวกรองที่เป็นทรายเล็กน้อย
- 2). เมื่อเปรียบเทียบอัตราการกรองระหว่างตัวกรองที่เป็นทรายกับตัวกรองที่เป็นถ่านหินพบว่า ระยะเวลาในการกรองเท่ากันและคุณภาพน้ำที่กรองแล้วเหมือนกัน ตัวกรองที่เป็นถ่านหินจะสามารถกรองน้ำได้ในอัตราที่สูงกว่าตัวกรองที่เป็นทราย 3-4 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบอายุการกรองระหว่างตัวกรองทั้งสองในอัตราการกรองเดียวกัน อายุการกรองของตัวกรองที่เป็นถ่านหินจะมากกว่าอายุการกรองของตัวกรองที่เป็นทราย
- 3). ตัวกรองที่เป็นถ่านหินสามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่ละลายน้ำได้มากกว่าตัวกรองที่เป็นทราย

วัฒนา (2516) ทดลองใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิม ในการกำจัดเหล็กในกระบวนการผลิตน้ำประปา พบว่าเมื่อเติมด่างทับทิม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรจะลดปริมาณเหล็กลงไปทันที 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณของเหล็กจะลดลงมากที่สุดเมื่อเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตปริมาณ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงไปอย่างต่อเนื่องจะทำให้ความเข้มข้นของเหล็กเปลี่ยนแปลงไปอีกเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง และค่าความกระด้างรวมของน้ำก็มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เติมลงไป

จากการศึกษาสรุปว่า โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเหมาะสมที่จะใช้กำจัดเหล็กออกจากน้ำ ปฏิกริยาของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับเหล็กที่ละลายน้ำได้ทุกรูปแบบก็เกิดขึ้น

อย่างรวดเร็วและเกิดได้ในช่วงพีเอชกว้าง นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสามารถกำจัดเหล็กออกจากน้ำให้มีปริมาณอยู่ในค่าที่ได้รับการยอมรับตามมาตรฐานของ USPHS นอกจากนี้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการนั้นสามารถดูดซับไอออนบวกเช่น Mn^{2+} เหมือนกับเป็นสารช่วยตกตะกอนชนิดหนึ่งด้วย

Albert (1980) พบว่าเฟอร์รัสคาร์บอเนต , เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และเฟอร์รัสซัลไฟด์ สามารถตกตะกอนได้ แต่ในสภาวะที่เป็นกรด เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์จะสามารถละลายกลับเข้าสู่สารละลายได้อีก ส่วนเฟอร์ริกซัลไฟด์เป็นตะกอนที่ไม่อยู่ตัว นอกจากนี้ยังพบว่าในสารละลายที่เป็นกลางหรือเป็นกรดนั้นการออกซิไดส์เฟอร์รัสจะเกิดขึ้นช้า แม้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันจะมีค่าสูงก็ตาม ทั้งนี้เพราะเฟอร์ริกจะอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์ ยกเว้นในสารละลายที่เป็นกรดอย่างแรง

Montgomery (1981) ศึกษาวิธีการกำจัดเหล็กออกจากน้ำด้วยการออกซิเดชันและใช้ฟล็อกของเหล็ก (Iron-floc) เพื่อช่วยให้การตกตะกอนเกิดได้ดีขึ้น กระบวนการกำจัดสารประกอบเหล็ก ขั้นแรกเติมสารส้ม (aluminum sulfate ; $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$) ประมาณ 1-50 มิลลิกรัมลงไปในน้ำ ผ่านน้ำเข้าไปให้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึงเพื่อที่จะกำจัดก๊าซต่างๆ ที่ละลายอยู่และเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบเหล็กให้เป็นเหล็กออกไซด์ หลังจากนั้นเติมปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-9 ที่ระยะเวลาให้เกิดปฏิกิริยาเนื่องจากเวลาที่มีผลต่อการสร้างตัวเป็นตะกอน หลังจากนั้นเติมคลอรีนลงไปให้มีความเข้มข้นสุดท้ายอย่างน้อย 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการแยกตะกอนออก ที่สำคัญคือตะกอนที่แยกได้จากขั้นตอนนี้ให้แบ่งไปเติมในกระบวนการรอบใหม่ในขั้นตอนหลังจากการใช้ปูนขาวปรับพีเอชแล้ว ตะกอนดังกล่าวคือฟล็อกของตะกอนเหล็ก(hydrous aluminum-iron floc) โดยเติมให้มีสัดส่วนประมาณ 2-30 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาตรของน้ำที่จะบำบัด ฟล็อกจะมีสัดส่วนของเหล็กต่ออลูมิเนียมประมาณ 15.7-57.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ระยะเวลาที่ทิ้งให้ตะกอนตกอย่างสมบูรณ์คิดประมาณ 1 นาทีต่อ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของฟล็อกที่เติมลงไป

เมื่อทดลองวิธีการนี้ในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบระหว่างแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ น้ำที่จะบำบัดมีเหล็กอยู่ 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมากำจัดเหล็กโดยเติมอลูมิเนียม 10 มิลลิกรัม คลอรีน 6 มิลลิกรัม ฟล็อก 5 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาตร ปูนขาว 35 มิลลิกรัม ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังจากปล่อยให้ทำปฏิกิริยา 5 นาที และให้เวลาตกตะกอน 5 นาที พบว่าเหลือคลอรีน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็กรวม 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการทดลองอีกแบบหนึ่งคือใช้น้ำจากแหล่งเดียวกันแต่ใช้กระบวนการตามที่ศึกษาวิจัยไว้ คือแตกต่างกันในขั้นตอนหลังจากเติมอลูมิเนียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรแล้วจึงผ่านอากาศเข้าไปผสม ขั้นตอนหลังจากนี้เหมือนกันทุกประการ ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพบว่าคลอรีนเหลือ 3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็กรวมเหลือ 1.4

มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นวิธีนี้สามารถออกซิไดส์เหล็กได้มากกว่าวิธีแรก 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังใช้คลอรีนน้อยลง 3.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นเมื่อใช้วิธีนี้ในการบำบัดน้ำ 4 ล้าน แกลลอนต่อวันจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย 5,800 ดอลลาร์ ต่อปี (อ้างอิงจากค่าใช้จ่ายปี 1980)

Paterson (1984) ศึกษากระบวนการกำจัดเหล็กออกจากน้ำ โดยการทำให้เหล็กเกิดเป็น สารประกอบในรูปคอลลอยด์ ภายใต้สภาวะความดันสูง จะทำให้เกิดเหล็กเฟอร์ริกซึ่งไม่ละลาย น้ำโดยจะเป็นสารประกอบอยู่ในรูปไมเซล (micelles) ซึ่งมีประจุอยู่บนพื้นผิว จากนั้นปรับความดันให้มีค่าประมาณ 10 – 500 psig แล้วผ่านน้ำนั้นเข้าสู่เรซินเพื่อทำการดูดซับสารประกอบ เหล็กดังกล่าว สุดท้ายแล้วจะได้น้ำซึ่งมีปริมาณเหล็กอยู่น้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

พูลสุข (2534) ศึกษาการใช้แร่ Mordenite ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการ เลี้ยงกุ้งกุลาดำและใช้แร่ปรับสภาพดินเนื่องจากเชื่อว่า แร่นี้ทำให้ดินที่มีเหล็กปนอยู่สามารถใช้ เลี้ยงกุ้งได้ ทั้งนี้เพราะแร่สามารถกำจัดก๊าซพิษต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย ไนโตรเจนคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วยลดอ็อกซิเจนเหล็กและมีความคงทน ไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็น พิษ โดยเมื่อทดลองผ่านน้ำทะเลที่มีความเค็ม 15 ppt. และ 30 ppt. หลังจากผ่านการบำบัดโดยแร่ นี้แล้วแทบไม่พบเหล็ก โดยที่ความเค็ม 15 ppt. แร่ Mordenite สามารถลดปริมาณเหล็กได้ มากกว่าน้ำที่ความเค็ม 30 ppt

นภวรรณ (2535) ศึกษาประสิทธิภาพการกรองเหล็กซึ่งมีความเข้มข้น 5 , 10 และ 14 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกจากน้ำบาดาลสังเคราะห์โดยใช้ตัวกรองที่เป็นทรายไม่คัดขนาด ถ่าน ถั่ว ถั่ว ถั่ว ซึ่งมีความหนาของชั้นกรอง 50 เซนติเมตร และตัวกรอง 3 ชั้น (ชั้นของถ่านหนา 10 เซนติเมตร ชั้นของถั่วหนา 20 เซนติเมตร และ ชั้นของทรายไม่คัดขนาดหนา 20 เซนติเมตร) โดยใช้อัตรากรอง 1 และ 2 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ผลการศึกษาพบว่าในทุก ความเข้มข้นและทุกอัตราการกรอง ตัวกรองที่เป็นถั่วมีประสิทธิภาพในการกรองเหล็กดีที่สุด รองลงมาได้แก่ตัวกรอง 3 ชั้น ทรายไม่คัดขนาด และถ่าน ตามลำดับ แต่ในแง่ของอายุการกรอง พบว่าถ่านมีอายุการกรองนานที่สุด รองลงมาได้แก่ตัวกรอง 3 ชั้น ทรายไม่คัดขนาด และถั่ว ถั่วซึ่งมีอายุการกรองสั้นที่สุด ดังนั้นตัวกรองที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวกรอง 3 ชั้นเนื่องจาก สามารถกรองเหล็กในน้ำบาดาลสังเคราะห์ซึ่งความเข้มข้นของเหล็ก 5 , 10 และ 14 มิลลิกรัมต่อ ลิตรให้เหลือน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก โดยมีอายุ การกรองนานที่สุด

Dieter (1996) ทำการกำจัดสารปนเปื้อน เช่น ซัลเฟอร์ หรือ เหล็ก ซึ่งเป็นสาเหตุ ของกลิ่นและรสอันไม่พึงประสงค์ออกจากน้ำโดยมีขั้นตอนอันประกอบไปด้วย การสูบน้ำเข้าไปให้ ผสมเข้ากันดีกับอากาศในภาชนะปิด สารปนเปื้อนเหล่านั้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นสาร

ตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ จึงสามารถกรองออกมาได้ Dieter กล่าวว่า วิธีการนี้ไม่มีการใช้สารเคมีซึ่งไม่ต้องมีภาระค่าใช้จ่าย ไม่ก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และยังไม่ต้องคำนึงถึงการบำบัดอื่นๆที่จะต้องทำหลังจากการกำจัดสารปนเปื้อนแล้ว วิธีการใช้อากาศนี้ค่อนข้างง่ายและเป็นพื้นฐาน โดยน้ำที่ต้องการจะบำบัดจะถูกป้อนให้ผสมกับอากาศอย่างแรงเพื่อให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ และทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึง หลังจากสารปนเปื้อนในน้ำทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศแล้วก็จะทำการแยกน้ำเข้าสู่ถังพัก โดยผ่านตัวกรองเพื่อทำการแยกตะกอนออก การผสมกันระหว่างซัลเฟอร์ หรือ เหล็ก กับออกซิเจนในอากาศนั้นจะเกิดปฏิกิริยาโดยเชื่อว่าเหล็กจะรวมตัวกับออกซิเจนได้เป็นเหล็กออกไซด์ ส่วนไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำก็จะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลเฟตซึ่งเป็นของแข็งที่สามารถกรองแยกออกจากรน้ำได้

กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2542) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาสารกรองชนิดเคลือบผิวเมงกานีสไดออกไซด์โดยนำเม็ดทรายมาเคลือบผิวด้วยโพแทสเซียมเปอร์เมงกาเนตแล้วเผาทรายเคลือบที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส เพื่อสลายโพแทสเซียมเปอร์เมงกาเนตให้เกิดเป็นสารเมงกานีสไดออกไซด์เกาะติดกับเม็ดทราย สารกรองนี้ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสให้ตกตะกอนเป็นเหล็กเฟอร์ริกและยังเป็นตัวกรองตะกอนด้วย เมื่อนำสารกรองที่ผลิตได้ไปทดสอบดูประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำ พบว่าสารกรองดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีเทียบเท่าสารกรองคุณภาพดีจากต่างประเทศ สารกรองชนิดเคลือบผิวเมงกานีสไดออกไซด์เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กลดลง เนื่องจากเมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเหล็กประจุบวกสองที่ละลายอยู่ในน้ำ ให้เป็นเหล็กประจุบวกสามซึ่งตกตะกอนได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เมงกานีสไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นเมงกานิกออกไซด์ ซึ่งถ้ามีจำนวนมากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กจะต่ำลง เพราะเมงกานิกออกไซด์ไม่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเหล็กประจุบวกสองได้ อย่างไรก็ตามสารกรองที่ผ่านการใช้งานจนมีประสิทธิภาพต่ำลงแล้วสามารถนำมาฟื้นฟูประสิทธิภาพให้ดีขึ้นได้อีก โดยการแช่สารกรองในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์เมงกาเนตเป็นเวลา 30 นาที แล้วล้างให้สะอาดก็สามารถนำกลับมาใช้งานได้ตามเดิม ทั้งนี้เพราะโพแทสเซียมเปอร์เมงกาเนตสามารถทำปฏิกิริยากับเมงกานิกออกไซด์กลับคืนมาเป็นเมงกานีสไดออกไซด์ได้นอกจากนี้การตรวจสอบผลพบว่า เมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวสารกรองจะมีการละลายออกมาเจือปนอยู่ในน้ำหรือไม่พบ ว่ามีการละลายของสารเมงกานีสออกมาน้อยมากไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นไปตาม มอก.257 / 2521 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate ; $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- ไฮโดรคลอริกแอซิด (Hydrochloric acid ; HCl)
- น้ำกำจัดไอออน (Deionized water)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide ; NaOH)
- แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide ; $\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate ; KMnO_4)
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide ; H_2O_2)
- แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium hypochlorite ; $\text{Ca}(\text{OCl})_2$)
- สารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)
- โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride ; PACl)
- ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)
- เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange)

3.2 วิธีวิเคราะห์หาค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ตามวิธี 403 (APHA , 1980)

1. ปิ่ตน้ำตัวอย่างในปริมาณที่แน่นอนใส่ลงในขวดรูปกรวย
2. เติมฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ถ้าสารละลายมีสีชมพูให้นำไปไตเตรทกับกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริก (ในงานวิจัยเลือกใช้กรดไฮโดรคลอริก) ไตเตรทจนสารละลายสีบ้นที่กปริมาตรกรดที่ใช้ไป แต่ถ้าสารละลายไม่เป็นสีชมพูให้ดำเนินการตามข้อ 3
3. นำสารละลายจากข้อ 2 มาเติมเมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรทสารละลายจนได้สีส้มอ่อน บ้นที่กปริมาตรกรดที่ใช้แล้วคำนวณหาค่าความเป็นด่างดังนี้

$$\text{ฟีนอล์ฟทาลีน อัลคาไลน์นิตี หรือ P.Alk. (as mg. CaCO}_3\text{/L.)} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{เมทริลลอเรนจ์ อัลคาไลน์นิตี้ หรือ Alk. (as mg. CaCO}_3\text{/L.)} = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{ค่าความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity)} = \text{P.Alk.} + \text{Alk.}$$

โดย A = ปริมาตรของกรดซึ่งใช้ไตเตรทในข้อ 2 (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซึ่งใช้ไตเตรทในข้อ 3 (มิลลิลิตร)

N = นอร์มอลิตี้ (normality) ของกรดที่ใช้ไตเตรท

หมายเหตุ : น้ำที่ใช้เตรียมสารละลายทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับการใช้หาค่าความเป็นด่างต้องผ่านการต้มจนเดือดเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 30 นาที

3.3 วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเมื่อกำหนดสภาวะที่แตกต่างกันไป โดยใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ทั้งหมด 4 ชนิด คือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และ อากาศ เมื่อใช้กับตัวช่วยตกตะกอน 2 ชนิดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนั้นยังใช้สารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารที่ช่วยให้ตะกอนรวมตัวได้เร็วขึ้นเข้ามาทดสอบร่วมด้วย โดยใช้สารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ในปริมาณต่างกัน เพื่อดูว่าสารช่วยให้ตะกอนจมตัวปริมาณเท่าใดจะทำให้ตะกอนเหล็กรวมตัวได้เร็วที่สุด และพิจารณาถึงคุณสมบัติของสารละลายหลังจากผ่านการตกตะกอนแล้วคือ ค่าพีเอช , ความเป็นด่าง และปัจจัยอื่นๆว่าจะเหมาะสมหรือไม่เมื่อนำไปใช้ในการเตรียมน้ำที่จะใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉพาะความเข้มข้นของเหล็กหลังจากการทดสอบต้องไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด (ภาคผนวก ง.)

3.3.1 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6 – 9 โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์

3.3.1.1 เตรียมสารละลายเหล็กความเข้มข้นประมาณ 0.3 โมลต่อลิตรในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

3.3.1.2 แบ่งสารละลายมาทดลองครั้งละ 50.00 มิลลิลิตรปรับพีเอชของสารละลายเป็นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

- 3.3.1.3 ทิ้งให้สารละลายตกตะกอนอย่างสมบูรณ์และกรองเอาตะกอนออก นำสารละลายที่ผ่านการกรองมาวัดค่าพีเอช , ค่าความเป็นด่าง (ตามวิธี 403 : APHA , 1980) และปริมาณเหล็กที่เหลือนับด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (Atomic absorption spectrometry)
- 3.3.1.4 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.3.1.1 – 3.3.1.3 แต่ปรับระดับพีเอช เป็น 7 , 8 และ 9
- 3.3.1.5 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.3.1.1 – 3.3.1.4 แต่เปลี่ยนชนิดของตัวช่วยตกตะกอนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- พบว่าตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.1 นี้ รวมทั้งสิ้นจำนวน 8 ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 1 ภาคผนวก จ.

3.3.2 ทดสอบความสามารถของออกซิไดซิงเอเจนต์แต่ละชนิด และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด ในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6 – 9

- 3.3.2.1 เตรียมสารละลายเหล็กความเข้มข้นประมาณ 0.3 โมลต่อลิตร ในกรดไฮโดรคลอริก เจือจาง
- 3.3.2.2 แบ่งสารละลายเหล็กมาทดลองครั้ง 50.00 มิลลิลิตร ออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในปริมาณที่ทำให้ปฏิกิริยาพอดีกันแล้วปรับพีเอชของสารละลายที่ได้เป็น 6.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.3.2.3 ทิ้งให้เกิดตะกอนอย่างสมบูรณ์แล้วกรองตะกอนออก นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาวัดค่าพีเอช , ค่าความเป็นด่าง (ตามวิธี 403 : APHA , 1980) และปริมาณเหล็กที่เหลือนับด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (Atomic absorption spectrometry)
- 3.3.2.4 ทำซ้ำข้อ 3.3.2.2 – 3.3.2.3 โดยปรับค่าพีเอช เป็น 7 , 8 และ 9
- 3.3.2.5 ทำซ้ำข้อ 3.3.2.2 – 3.3.2.4 โดยเปลี่ยนออกซิไดซิงเอเจนต์เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และ อากาศ
- 3.3.2.6 ทำซ้ำข้อ 3.3.2.2 – 3.3.2.5 โดยเปลี่ยนชนิดตัวช่วยตกตะกอนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- พบว่าตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.2 นี้ รวมทั้งสิ้นจำนวน 32 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก จ.

3.3.3 ทดสอบความสามารถของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิดคือ สารส้ม และ โพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ระดับพีเอช 6 - 9

- 3.3.3.1 เตรียมสารละลายเหล็กเหมือนข้อ 3.3.2.1 – 3.3.2.2

- 3.3.3.2 รอให้เหล็กตกตะกอนสักครู่แล้วเติมสารส้มให้มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้ายลงไป คนให้เข้ากัน
- 3.3.3.3 เทสารละลายทั้งหมดลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร จดบันทึกปริมาตรตะกอนทุกๆ 10 นาทีจนกว่าปริมาตรตะกอนจะค่อนข้างคงที่
- 3.3.3.4 กรองสารละลายที่อ่านปริมาตรได้ค่อนข้างคงที่แล้ว นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาวัดค่าพีเอช , ค่าความเป็นด่าง (ตามวิธี 403 : APHA , 1980) และปริมาณเหล็กที่เหลือนำวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (Atomic absorption spectrometry)
- 3.3.3.5 ทำซ้ำข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.4 แต่ปรับระดับพีเอช เป็น 7 , 8 และ 9
- 3.3.3.6 ทำซ้ำข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.5 โดยเปลี่ยนออกซิไดซิงเอเจนต์เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และ อากาศ
- 3.3.3.7 ทำซ้ำข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.6 โดยเปลี่ยนชนิดของตัวช่วยตกตะกอนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์
- 3.3.3.8 ทำซ้ำข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.7 แต่เปลี่ยนตัวช่วยให้ตะกอนจมตัวจากสารส้มเป็นโพลูอิมินิเยมคลอไรด์
- พบว่าตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3 นี้ รวมทั้งสิ้นจำนวน 64 ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3 ภาคผนวก จ.

3.3.4 ทดสอบความสามารถของตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว เมื่อใช้ในปริมาณต่างกัน

- 3.3.4.1 ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 3.3.3.1 – 3.3.3.7 แต่เปลี่ยนปริมาณสารส้มที่ใช้เป็น 25 , 50 , 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย
- 3.3.4.2 ทำซ้ำข้อ 3.3.4.1 แต่เปลี่ยนจากสารส้มเป็นโพลูอิมินิเยมคลอไรด์
- พบว่าตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 4 นี้ รวมทั้งสิ้นจำนวน 256 ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4 ภาคผนวก จ.

3.3.5 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กจากน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ

- 3.3.5.1 เลือกวิธีการกำจัดเหล็กจากขั้นตอนที่ 3.3.1 – 3.3.4 โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ดูจากความเข้มข้นของเหล็กหลังการทดสอบเหลือไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชหลังการทดสอบประมาณ 7.5 – 8.5 (เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ) และมีค่าความเป็นด่าง 40 – 170 มิลลิกรัมต่อลิตร.
- 3.3.5.2 ทดลองกับน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ
- 3.3.5.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย สรุปให้เป็นแนวทางสำหรับเกษตรกร

3.4 วิธีการหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (%Efficiency)

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (\%)} = \frac{100 (x_i - x_f)}{x_i}$$

โดย x_i คือปริมาณเหล็กเริ่มต้น

x_f คือปริมาณเหล็กที่เหลือหลังจากทดสอบแล้ว



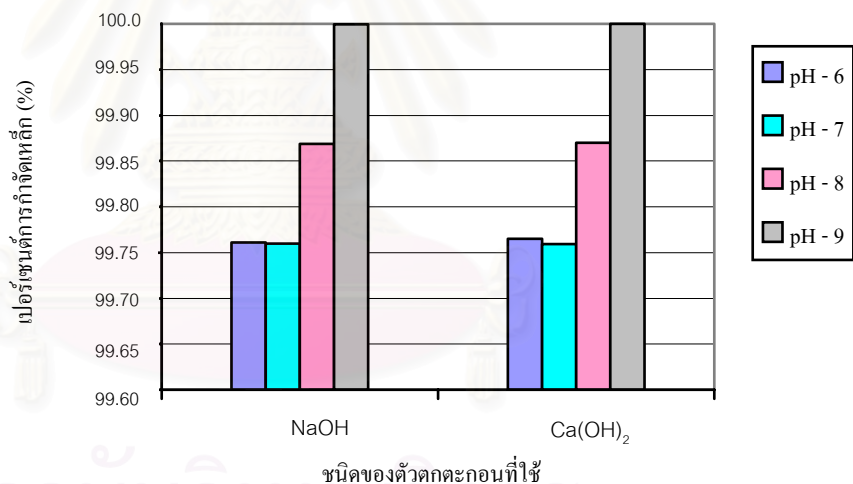
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6-9 โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์

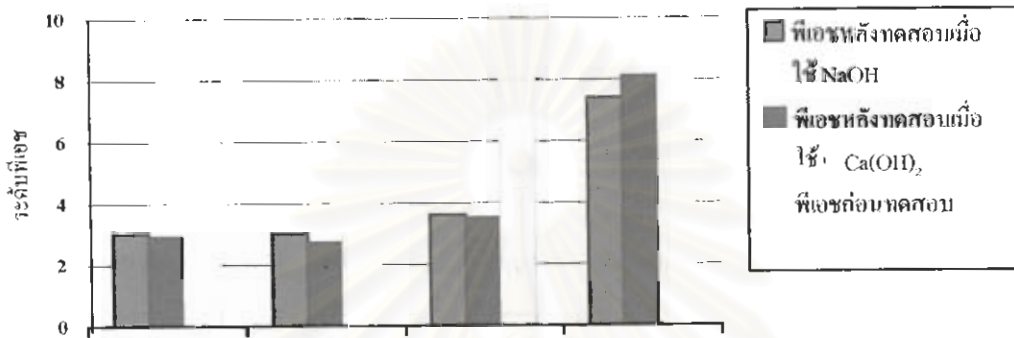
เมื่อนำสารละลายเหล็กเฟอร์รัสมาทดสอบความสามารถในการตกตะกอน ที่พีเอช 6-9 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังวิธีดำเนินงานวิจัยข้อ 3.3.1 บทที่ 3 ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ๓-1 ภาคผนวก ฉ. โดยนำผลการทดสอบดังกล่าวมาพิจารณาแยกเปรียบเทียบในรูปที่ 4.1 และ 4.2 รูปที่ 4.1 แสดงผลของระดับพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก และรูปที่ 4.2 แสดงระดับพีเอชหลังการทดสอบของแต่ละชุดการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงผลของระดับ pH ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (%) เมื่อใช้ตัวช่วยตกตะกอนต่างๆ โดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์

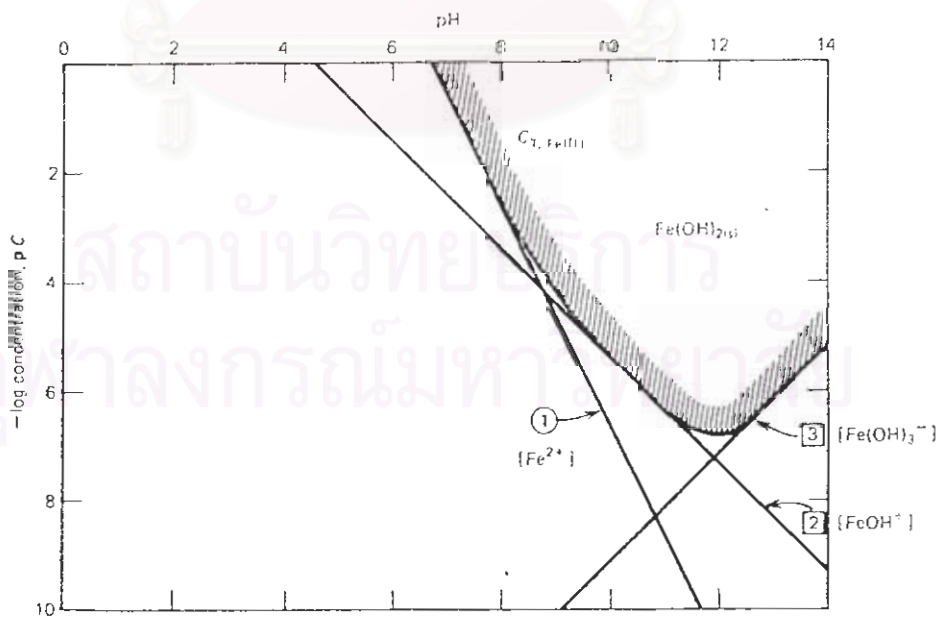
เมื่อนำสารละลายเหล็กเฟอร์รัสมาปรับค่าพีเอชเป็น 6, 7, 8 และ 9 เพื่อให้เกิดการตกตะกอนและวัดปริมาณเหล็กที่เหลืออยู่ในสารละลาย พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กดีขึ้นเมื่อระดับพีเอชเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.1 ตะกอนที่ได้เป็นสีเขียวจนถึงเขียวเทาซึ่งเป็นตะกอนของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์และสอดคล้องกับรูปที่ 2.1 บทที่ 2 ซึ่งอธิบายว่า ในสภาวะที่ไฮโดรเจนแอคทีวิตีต่ำ (พีเอชสูง) และอิเล็กตรอนแอคทีวิตีสูง (สภาวะรีดิวซ์) จะพบเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งที่เสถียรที่สุดในสภาวะนี้

จากการทดสอบ ระดับพีเอชหลังการทดสอบจะลดลงไม่ว่าพีเอชเริ่มต้นจะเป็นเท่าใด ทั้งในกรณีใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากโปรตรอนที่อยู่ในสมดุลของระบบดังสมการ



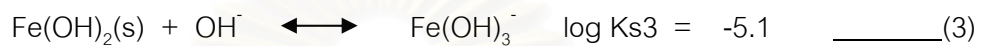
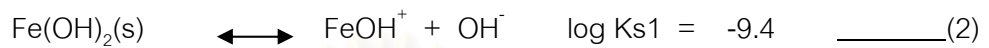
รูปที่ 4.2 แสดงระดับพีเอชหลังการทดสอบ เมื่อตกตะกอนเหล็กด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ โดยไม่ใช้ออกซิโดซิงเจนท์

โดยพบว่าเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์จะเริ่มตกตะกอนออกมาที่ระดับพีเอชใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเหล็กเฟอร์รัสด้วย โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงสมดุลการละลายของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) กับไฮดรอกไซด์เฟอร์รัสไอออนชนิดต่างๆ ที่แต่ละระดับพีเอช ในสภาวะที่ไม่มีคาร์บอนेट (Stumm and O'Melia, 1968 อ้างถึงใน Snoeyink and Jenkins, 1980)

จากรูปที่ 4.3 ในระบบประกอบด้วยเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ , เฟอร์รัสไอออน และ เฟอร์รัสไอออนในรูปที่ถูกล้อมรอบด้วยน้ำในรูปแบบต่างๆ โดยเมื่ออยู่ในสารละลายไอออนเหล่านี้จะอยู่ในสมดุลกัน ดังสมการ



จากกราฟแสดงให้เห็นว่า นอกจากระดับพีเอชจะมีผลต่อการตกตะกอนของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์แล้ว แต่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเฟอร์รัสไอออนที่มากกว่า จะทำให้เกิดการตกตะกอนออกมา ก่อนที่ระดับพีเอชต่ำกว่าระบบที่มีความเข้มข้นของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์น้อยกว่า เนื่องจากถ้าพิจารณาจากสมการที่ (1) ข้างต้นจะเห็นว่า การตกตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์เป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนและความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออน

โดยสรุปแล้วการตกตะกอนเหล็กโดยไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และความเข้มข้นของเหล็กหลังจากการทดสอบทุกสภาวะและเกือบทุกระดับพีเอชจะมีค่ามากกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรยกเว้นที่ระดับพีเอช 9 เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอนเท่านั้น ที่เหลือเหล็กในปริมาณต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 ผลการทดสอบความสามารถของออกซิไดซิงเอเจนต์แต่ละชนิด และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด ในการตกตะกอนเหล็กที่ระดับพีเอช 6-9

ทดสอบผลของออกซิไดซิงเอเจนต์ 4 ชนิดคือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และอากาศ เมื่อนำมาออกซิไดส์สารละลายเฟอร์รัส และปรับพีเอชเพื่อให้ตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังวิธีดำเนินงานวิจัย ข้อ3.3.2 บทที่ 3 ได้ผลการทดสอบซึ่งประกอบด้วย ระดับพีเอชหลังการทดสอบ , ค่าความเป็นด่าง , ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและความเข้มข้นของเหล็กที่เหลือในสารละลายหลังการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ ๓-2 ภาคผนวก ๓. โดยนำผลการทดสอบที่ได้มาแยกพิจารณา ดังนี้

4.2.1 ผลของชนิดของออกซิไดซิงเอเจนต์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก

4.2.2 ผลของระดับพีเอชเริ่มต้น ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเมื่อใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์และตัวช่วยตกตะกอนในสภาวะต่างๆ

4.2.3 ผลของชนิดของตัวช่วยตกตะกอน ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก

4.2.1 ผลของออกซิไดซิงเอเจนต์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก

ออกซิไดซิงเอเจนต์แต่ละชนิด สามารถออกซิไดส์และตกตะกอนเหล็กในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ได้ โดยเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.4 ตามทฤษฎี โพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1 ส่วนสามารถออกซิไดส์เหล็กเฟอร์ริสได้ 1.06 ส่วน แต่จากการทดลองพบว่าใช้ ปริมาณโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตน้อยกว่าทฤษฎีเนื่องจาก แมงกานีสไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการสลายตัวของโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (auto-decomposition) ทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ได้ดังนี้

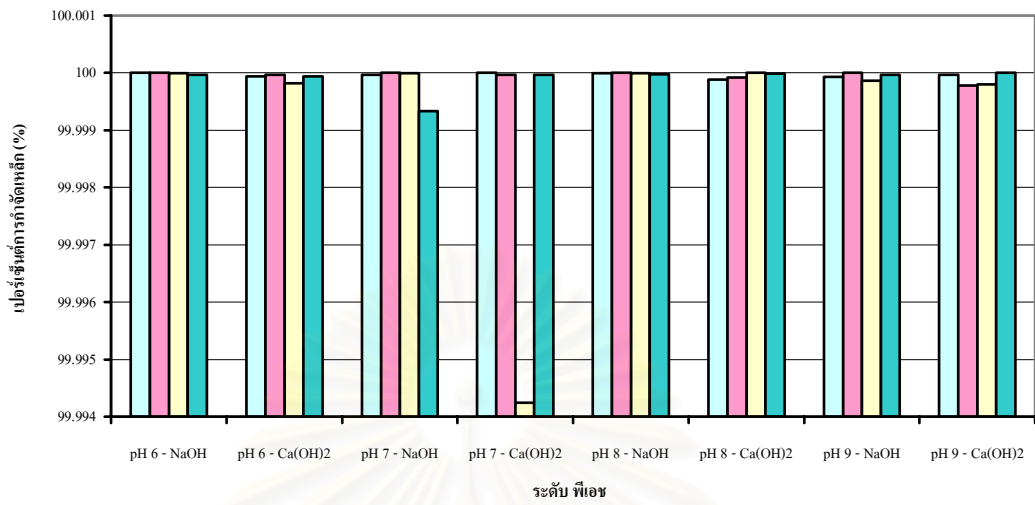


ส่วนปฏิกิริยาการออกซิไดส์เฟอร์ริสด้วยโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตคือ



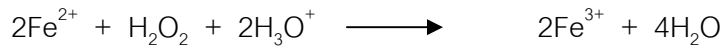
โพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สามารถออกซิไดส์เหล็กที่ละลายน้ำได้ทุกรูปแบบ การเพิ่มหรือลดปริมาณโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช , ค่าความเป็นด่าง และค่าความกระด้าง (วัฒนา, 2516)

สำหรับในน้ำธรรมชาติปฏิกิริยาของโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเกิดได้ดีในพีเอชที่เป็นกลาง การใช้โพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการประมงนั้นใช้เพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ , ทำลายปรสิต , ควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียว , ทำลายพิษของยาฆ่าแมลง และริควิซอินทรีย์สารต่างๆ แม้ว่าในขั้นต้นโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะสามารถใช้ได้ดีกับการกำจัดเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำ แต่สำหรับน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำซึ่งต้องการแคลงค์ตอนพีช การใช้โพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอาจไปทำลายแคลงค์ตอนพีชดังกล่าวอาจทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการทำสีน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งต้องแก้ไขโดยการเติมปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เช่น ยูเรีย เพราะหากน้ำใสเกินไปแสงแดดอาจส่องถึงก้นบ่อทำให้กุ้งเครียดได้ (กรมประมง, 2542) อีกทั้งการใช้ในโพลแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในปริมาณมากอาจทำให้มีแมงกานีสไอออนตกค้างได้



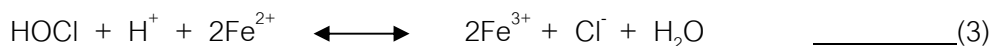
รูปที่ 4.4 แสดงผลของชนิดของออกซิไดซิงเอเจนต์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (%) เมื่อใช้ NaOH และ Ca(OH)₂ เป็นตัวช่วยตกตะกอน

สำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่แรงมาก จากผลการทดสอบเมื่อเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กมากกว่าเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทุกระดับพีเอช ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับเหล็กเฟอร์รัสในสารละลายกรดดังสมการ



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำได้เช่นเดียวกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แต่มีข้อดีคือเป็นอันตรายและเป็นพิษกับสัตว์น้ำน้อยกว่า (มันสิน, 2538) แต่ในแง่ความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้งานเคมีนั้นค่อนข้างต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้ด้วยความร้อน เสี่ยงต่อการติดไฟและระเบิด ที่พีเอชมากกว่า 7 หรือในสารละลายเบส ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ นอกจากนี้การสัมผัสทั้งทางตรงและทางอ้อมเช่นการสัมผัสโดยตรงหรือการสูดไอระเหยจะทำให้ได้รับอันตราย โดยมีค่า TLV (Threshold limit value) เท่ากับ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (Muir, 1997 : 283.)

แคลเซียมไฮโปคลอไรต์หรือผงปูนคลอรีนมีหลายแบบ แต่ส่วนมากที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบที่มีเนื้อคลอรีนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ (ประเทือง, 2534) ไฮโปคลอไรต์ (OCl^-) เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่แรงในสารละลาย และไฮโปคลอไรต์ของโลหะทุกชนิดละลายน้ำได้จากผลการทดสอบ เมื่อใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กมากกว่าเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาการออกซิไดส์เฟอร์รัสด้วยแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ เป็นดังสมการ

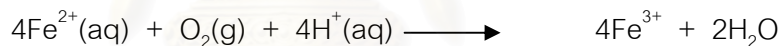


การใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์เพื่อออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัส ปฏิกิริยาเกิดขึ้นแทบจะทันทีทันใดที่ค่าพีเอชประมาณ 7 หรือมากกว่า แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดไฮดรอกซิลไอออนตามปฏิกิริยาที่ (2) และนอกจากนี้ยังทำให้น้ำมีความกระด้างเพิ่มขึ้นเนื่องจากแคลเซียมไอออนที่ได้จากสมการที่ (1) (Vernon and David, 1980) นอกจากนี้ระดับพีเอชหลังการทดสอบจะมีค่าเท่าเดิมหรืออาจเพิ่มขึ้นดังที่ Merken (1958) และ

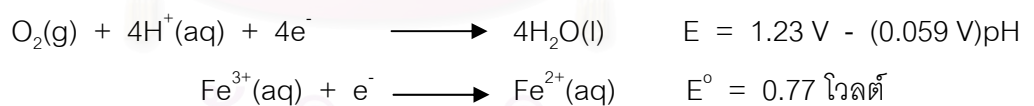
ประมวล (2524) กล่าวว่าสารประกอบคลอรีนมีผลต่อค่าพีเอชของน้ำ โดยถ้าใช้ก๊าซคลอรีน (Cl₂) จะทำให้พีเอชของน้ำลดลง แต่ถ้าใช้ไฮโปคลอไรต์จะทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้น ปัญหาสำคัญที่เกิดจากการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ในการออกซิไดส์เหล็กในน้ำที่ใช้ในการเลี้ยง กุ้งกุลาดำที่สำคัญที่สุดคืออาจทำให้เกิดค่าความเป็นด่างมากเกินไปเกินค่าที่เหมาะสม โดยค่าความเป็น ด่างควรอยู่ระหว่าง 40 – 170 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชูชาติ และ ธนัญช์, 2543)

การออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสด้วยอากาศ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก เกิดขึ้นได้ดีที่พีเอช 8 และ 9 มากกว่าที่พีเอช 6 และ 7 อากาศเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่มี ความสามารถในการออกซิไดส์ต่ำกว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่ สูงกว่า แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ โดยในการทดสอบนี้ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเหล็กเฟอร์รัส 0.3 โมลต่อลิตร ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมงในการหมุนปั่นสารละลายเพื่อให้สัมผัสกับอากาศแล้ว เกิดการออกซิไดส์อย่างสมบูรณ์ การเกิดออกซิเดชันของเหล็กเฟอร์รัสด้วยออกซิเจนในอากาศ พิจารณาได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยา

ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของ Fe³⁺/Fe²⁺ มีค่า 0.77 โวลต์ ซึ่งเมื่อดูจากค่านี้แล้ว ทำให้เราทราบว่าปฏิกิริยารีดักชันของเฟอร์ริกไอออนจะเสถียรในสารละลายน้ำ และการออกซิไดส์ เฟอร์รัสให้เป็นเฟอร์ริกด้วยโปรตรอนก็ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้เมื่อพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้านี้ แต่แท้จริง แล้วในธรรมชาติจะพบเฟอร์ริกเป็นรูปแบบหลักเช่นสินแร่ต่างๆ อันเกิดจากปฏิกิริยา



ซึ่งมาจากครึ่งปฏิกิริยาสองชนิดคือ



ค่าศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในธรรมชาติดังกล่าว มีค่า 0.46 โวลต์ (ที่พีเอช 0) หมายความว่าปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้เองแต่อย่างไรก็ตามค่าศักย์ไฟฟ้า 0.46 โวลต์นี้ก็ยังไม่มากพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด และที่พีเอช 7 ปฏิกิริยานี้จะ มีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.05 โวลต์ แสดงว่าในสารละลายที่เป็นกรดถึงเป็นกลาง (พีเอช 0-7) สารละลายจะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศได้ช้ามากหรือเรียกได้ว่าแทบจะไม่เกิดเลย ดังนั้นในการใช้ออกซิเจนเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ ต้องใช้เวลานานเพื่อให้เกิดการออกซิไดส์เฟอร์ รัสที่สมบูรณ์

โดยสรุปแล้ว ชนิดของออกซิไดซิงเอเจนต์ไม่มีผลมากนักต่อประสิทธิภาพใน การกำจัดเหล็ก โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็น

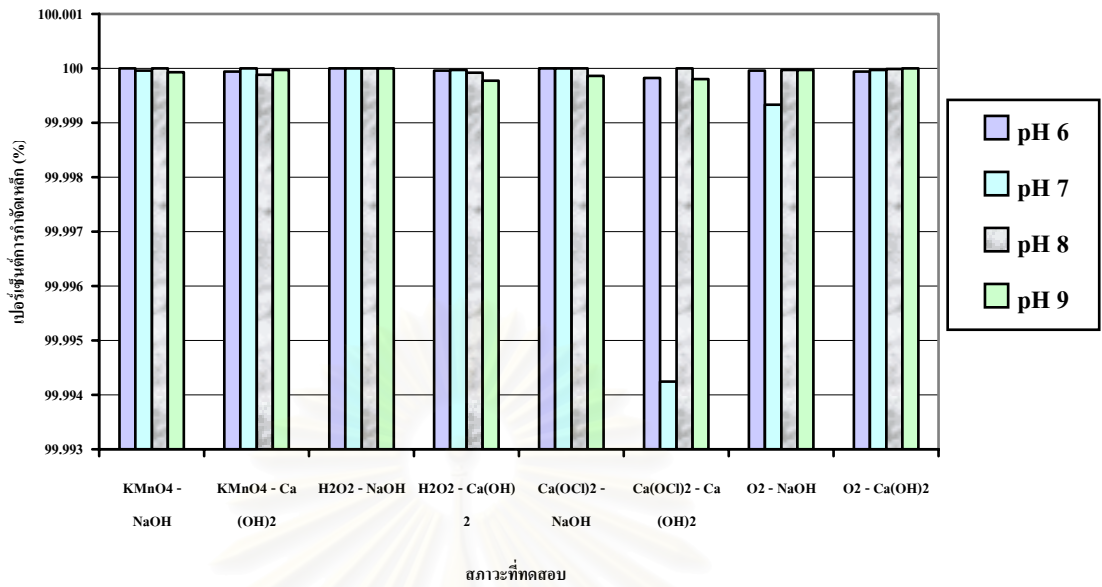
ออกซิไดซิงเอเจนต์เฉลี่ยแล้วมีค่าสูงที่สุดซึ่งเท่ากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รองลงมาคืออากาศ และสุดท้ายคือแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และเกือบทุกสภาวะทำให้เหล็กที่เหลือหลังจากการทดสอบ แล้วมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นการใช้อากาศเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่บาง สภาวะ นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าความเป็นด่างในกรณีที่ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์พบว่าทำ ให้นำมีความเป็นด่างสูง จึงไม่เหมาะสมในกรณีที่สภาพน้ำตามธรรมชาติมีความเป็นด่างมาก อยู่แล้ว โพลีเมอร์เมกานาเตเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก ได้ดี แต่อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้หากใช้ในปริมาณมาก ส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่ง ให้ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กดีที่สุด และมีรายงานว่าป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าโพลีเมอร์ เมกานาเต แต่หากคำนึงถึงเกษตรกรผู้ใช้สารเคมีแล้วพบว่าค่อนข้างเป็นอันตรายเนื่องจาก ยากต่อการใช้และการจัดเก็บอีกทั้งยังเป็นพิษเมื่อสัมผัสทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่วนการใช้อากาศ แม้ว่าจะใช้เวลานานในการออกซิเดชัน แต่มีความปลอดภัยและไม่เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

4.2.2 ผลของระดับพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก

ที่แต่ละระดับพีเอช สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ได้ไม่ เท่ากัน โดยคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.5 พบว่าแต่ละระดับ พีเอชมีผลต่อความสามารถในการกำจัดเหล็กที่แตกต่างกัน

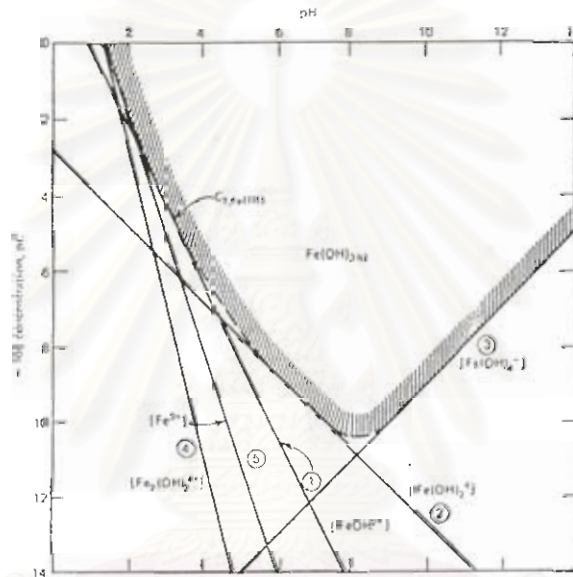
จากรูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ทุกระดับพีเอชมีค่าใกล้เคียงกัน ตามทฤษฎีแล้วเมื่อเพิ่มระดับพีเอช เหล็กจะตกตะกอนได้มากขึ้น แต่จากรูปบางสภาวะก็ไม่ได้เป็น เช่นนั้นเนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นของเหล็กมีค่ามาก ที่ระดับพีเอชที่เริ่มทดลองคือตั้งแต่ 6 ไป จนถึง 9 ก็สามารถกำจัดเหล็กได้เกือบหมดคือ 99.99 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ส่วนที่ต่างกันคือที่ทศนิยม ตำแหน่งที่สาม ดังนั้นความละเอียดที่มากอย่างนี้ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากการ ทดลองได้มากไปด้วย

เมื่อพิจารณาถึงค่าคงที่ในการละลายของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีค่า 4.0×10^{-38} ที่อุณหภูมิห้อง (AWWA, 1999) แสดงว่าตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์มีความคงตัวมากและละลาย ได้ยาก เมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงสมดุลการละลายของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์กับเฟอร์ ริคไอออนหลายรูปแบบ ที่ระดับพีเอชต่างๆ จะเห็นได้ว่าที่ระดับพีเอช 6 ในสารละลายเหล็กเฟอร์ ริคที่ถูกออกซิไดส์กลายเป็นเหล็กเฟอร์ริกหมดแล้ว จะประกอบไปด้วยเฟอร์ริกไฮดรอก ไซด์อยู่ในสมดุลกับ Fe^{3+} , $[Fe(OH)_4^-]$, $[FeOH^{2+}]$ และ $[Fe(OH)_2^+]$ โดยมี $[Fe(OH)_2^+]$ เป็น รูปแบบที่มีความเข้มข้นมากที่สุด ที่พีเอช 7 นั้น Fe^{3+} , $[FeOH^{2+}]$ และ $[Fe(OH)_2^+]$ ละลายได้ น้อยลง ส่วน $[Fe(OH)_4^-]$ ละลายได้มากขึ้น ส่วนที่พีเอช 8 นั้น Fe^{3+} จะเหลืออยู่น้อยมาก และ $[FeOH^{2+}]$ กับ $[Fe(OH)_2^+]$ ก็ละลายได้น้อยลง มีเพียง $[Fe(OH)_4^-]$ เท่านั้นที่ละลายได้มากขึ้น จนกระทั่งที่พีเอช 9



รูปที่ 4.5 แสดงผลของระดับพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (%) เมื่อใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์และตัวช่วยตกตะกอนในสภาวะต่างๆ

ในระบบจะประกอบไปด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์อยู่ในสมดุลกับ $[\text{Fe}(\text{OH})_2^+]$ และ $[\text{Fe}(\text{OH})_4^-]$ โดยที่ไอออนในรูปแบบอื่นๆเหลืออยู่น้อยมาก จนกระทั่งที่ระดับพีเอชสูงๆ ก็จะมีเพียงแต่ $[\text{Fe}(\text{OH})_4^-]$ ที่อยู่ในสมดุลกับเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ นั่นแสดงว่ายิ่งระดับพีเอชเพิ่มขึ้นปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์จะสามารถละลายได้น้อยลงนั่นเอง และนอกจากระดับพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอนแล้ว ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเฟอร์ริกก็มีผลต่อระดับพีเอชที่เริ่มตกตะกอนด้วยเช่นเดียวกับการตกตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Snoeyink and Jenkins, 1980)

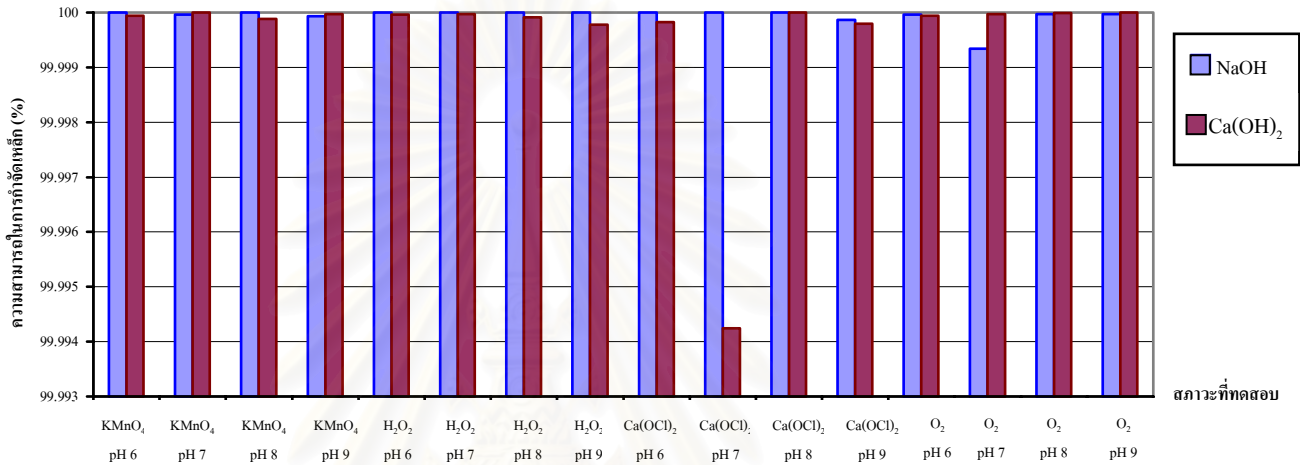


รูปที่ 4.6 แสดงสมดุลการละลายของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) กับ ไฮดรอกไซด์เฟอร์ริก ไอออนชนิดต่างๆที่แต่ละระดับพีเอช ในสภาวะที่ไม่มีคาร์บอนเนต (Stumm and O'Melia, 1968 อ้างถึงใน Snoeyink and Jenkins, 1980)

โดยสรุปแล้วระดับพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กโดยเมื่อเพิ่มระดับพีเอช ความสามารถในการตกตะกอนก็จะเพิ่มขึ้น และเกือบทุกสภาวะทำให้เหล็กที่เหลือหลังจากการทดสอบแล้วมีความเข้มข้นต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรยกเว้นเพียงบางสภาวะ และระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ปรับค่าสำหรับน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือ 7.5 – 8.5 (ชูชาติ และ ธนัญช์, 2543) ดังนั้นควรเลือกปรับค่าพีเอชเป็น 8 หรือประมาณ 8 ในการตกตะกอนเหล็ก ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงค่าความเป็นด่างด้วย เนื่องจากน้ำอาจมีสภาพต่างแตกต่างกันได้ทั้งที่มีพีเอชเท่ากัน ในขณะที่เดียวกัน น้ำที่มีสภาพต่างเท่ากันอาจมีค่าพีเอชต่างกันได้ (มันสิน, 2538)

4.2.3 ผลของตัวช่วยตกตะกอนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก

เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวช่วยตกตะกอน เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่พีเอชต่างๆ จะได้ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.7 พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่



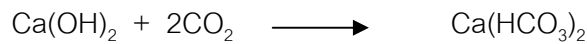
รูปที่ 4.7 แสดงผลของตัวช่วยตกตะกอน ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในสถานะต่างๆ

แตกต่างกัน โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กโดยเฉลี่ยมากกว่า แคลเซียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสแก่ละลายน้ำได้ดีมากจนถือว่าแตกตัวให้ไฮดรอกซิลไอออนร้อยเปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถควบคุมและปรับค่าพีเอชได้ง่าย ในขณะที่แคลเซียมไฮดรอกไซด์นั้นละลายน้ำได้ค่อนข้างยาก โดยมีค่าคงที่ของการละลายเป็น 5.5×10^{-6} ที่อุณหภูมิห้อง (AWWA, 1999) หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักคือ 0.15 เปอร์เซ็นต์ (มันสิน, 2542) ทำให้การควบคุมปริมาณนั้นค่อนข้างยากและอาจทำให้พีเอชของน้ำสูงขึ้นอย่างทันที โดยเมื่อสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้พีเอชสูงถึง 12.2 จากผลการทดสอบในตารางที่ ๓-2 (ภาคผนวก ๓) การทดสอบที่ 1-16 ทดสอบโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอน จะเห็นว่าพีเอชของน้ำหลังการทดสอบมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนการทดสอบที่ 17-32 ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนซึ่งพีเอชของน้ำหลังการทดสอบจะสูงขึ้นเล็กน้อย โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปคือ โซดาไฟ ในทางการบำบัดน้ำนั้น โซดาไฟใช้สำหรับสร้างตะกอนแข็งและเป็นสารปรับพีเอช มีใช้ทั้งแบบชนิดน้ำ (32 หรือ 45 เปอร์เซ็นต์) และชนิดแข็ง (94-98 เปอร์เซ็นต์) ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นที่รู้จักกันดีว่าคือปูนขาว ใช้กัน

แพร่หลายในด้านการเกษตรและใช้สำหรับปรับปรุงดินและน้ำเพื่อการประมงด้วย

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัดสภาพกรดของดินและน้ำอันเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



โดยปกติในการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น จะต้องใช้ในปริมาณมากกว่าปริมาณที่คำนวณได้จากสมการเคมีเสมอ เนื่องจากอาจมีการสูญเสียของแคลเซียมไฮดรอกไซด์บางส่วนที่ตกตะกอนลงกับบ่อโดยไม่ได้ทำปฏิกิริยา (มันสิน, 2538)

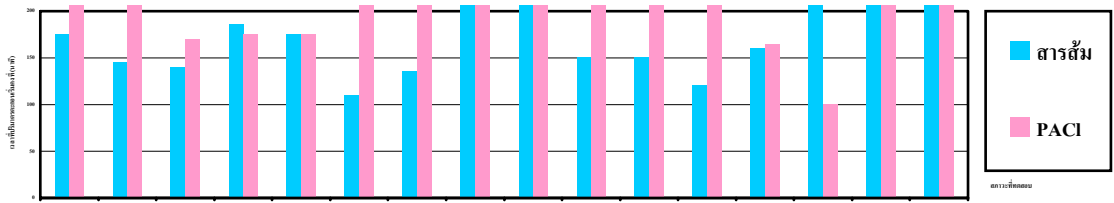
โดยสรุปแล้ว ชนิดของตัวช่วยตกตะกอนคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพดีกว่า แต่การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน ก็สามารถทำให้เหล็กเหลืออยู่ในน้ำหลังการทดสอบน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรยกเว้นบางสถานะ เมื่อใช้อากาศเป็นออกซิไดซิงเอเจนท์เท่านั้น ดังนั้นสำหรับการประยุกต์ใช้กับน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำซึ่งต้องคำนึงถึงภาระค่าใช้จ่ายของเกษตรกรด้วยจึงควรใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์แทนเพราะราคาถูกกว่าและใช้กันอยู่แล้วโดยทั่วไปแม้จะปัญหาเรื่องตะกอนที่อาจมีมากกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

4.3 ผลการทดสอบความสามารถของสารช่วยให้ตะกอนจมตัว คือสารส้ม และโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่ระดับพีเอช 6 – 9

ผลการทดสอบความสามารถของสารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ หรือ PACI ในการช่วยให้ตะกอนรวมตัวได้ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยในการดำเนินงานข้อนี้ใช้ปริมาณสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้ายของสารละลายทั้งหมด วิธีการเป็นไปตามวิธีดำเนินงานวิจัยข้อ 3.3.3 บทที่ 3 จุดประสงค์ก็เพื่อต้องการทราบว่า สารส้มหรือโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่ทำให้ตะกอนใช้เวลารวมตัวน้อยกว่ากัน และที่ระดับพีเอชต่างๆ ผลการทำงานของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวเป็นอย่างไร

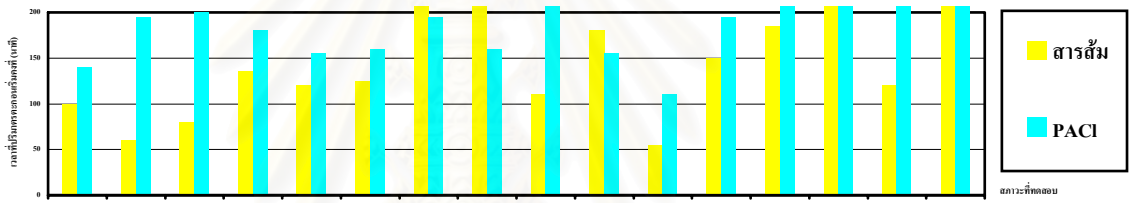
พบว่าสารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ใช้เวลาในการทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่แตกต่างกัน โดยสารส้มจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยกว่าทั้งกรณีเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน แต่ระดับพีเอชไม่มีผลต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่เฉพาะกรณีที่ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์

เมื่อทดสอบความสามารถของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวแต่ละชนิดโดยใช้การจับเวลาทุกๆ 10 นาทีเพื่อบันทึกปริมาตรตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 1 ภาคผนวก ข. โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หลังการทดสอบแสดงในตารางที่ ฉ-3 ภาคผนวก ฉ. และปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ ณ เวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ ฉ-4 ภาคผนวก ฉ. เมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์



KMnO₄ - pH 5 KMnO₄ - pH 6 KMnO₄ - pH 7 KMnO₄ - pH 8 KMnO₄ - pH 9 H₂O₂ - pH 5 H₂O₂ - pH 6 H₂O₂ - pH 7 H₂O₂ - pH 8 H₂O₂ - pH 9 Ca(OCl)₂ - pH 6

รูปที่ 4.8 ก. แสดงผลของสารช่วยให้ตะกอนจมน้ำ ต่อเวลาที่ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ ที่สภาวะต่างๆ เมื่อใช้ NaOH เป็นตัวช่วยตกตะกอน



KMnO₄ - pH 5 KMnO₄ - pH 6 KMnO₄ - pH 7 KMnO₄ - pH 8 KMnO₄ - pH 9 H₂O₂ - pH 5 H₂O₂ - pH 6 H₂O₂ - pH 7 H₂O₂ - pH 8 H₂O₂ - pH 9 Ca(OCl)₂ - pH 6

รูปที่ 4.8 ข. แสดงผลของสารช่วยให้ตะกอนจมน้ำ ต่อเวลาที่ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ ที่สภาวะต่างๆ เมื่อใช้ Ca (OH)₂ เป็นตัวช่วยตกตะกอน

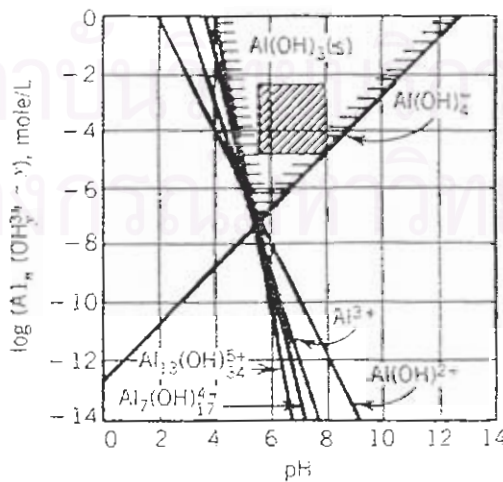
ระหว่างเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ และสภาวะการทดสอบแบบต่างๆ จะได้ดังรูปที่ 4.8 ก. และ 4.8 ข. โดยแต่ละระดับพีเอชใช้เวลาเพื่อทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.10 ก. และ 4.10 ข.

จากผลการทดสอบโดยรวมจะสังเกตได้ว่า เมื่อใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์จะต้องใช้เวลารอให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่มากกว่าการใช้สารส้ม ส่วนปริมาตรสุดท้ายที่อ่านค่าได้แม้จะไม่เท่ากันแต่ก็เป็นผลเนื่องมาจากระดับพีเอชที่ตกตะกอนไม่เท่ากัน นอกจากนี้ในสภาวะที่ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอนจะใช้เวลาในการทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่น้อยกว่าเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ว่าจะเป็นกรณีของการใช้สารส้มหรือโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารช่วยให้ตะกอนรวมตัว ส่วนระดับพีเอชที่ใช้เวลาในการทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่มากที่สุดส่วนมากจะเป็นระดับพีเอชที่สูงหรือเป็นเบสมากกว่า

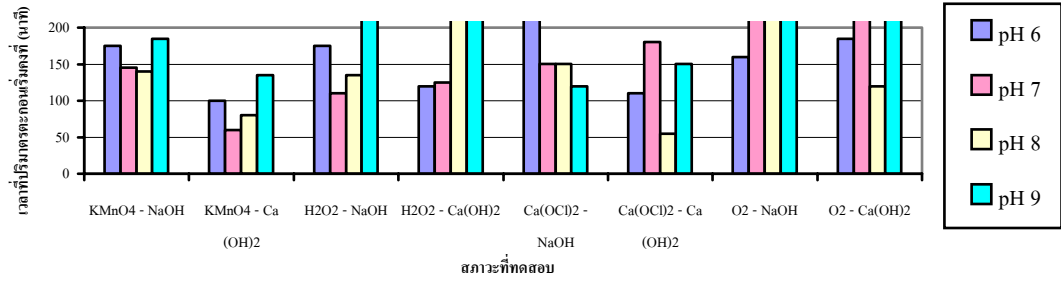
ทั้งสารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารประกอบอลูมิเนียม สามารถทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนเกิดเป็นโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับประจุบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ก่อนที่จะเป็นตะกอน อลูมิเนียมในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังนี้



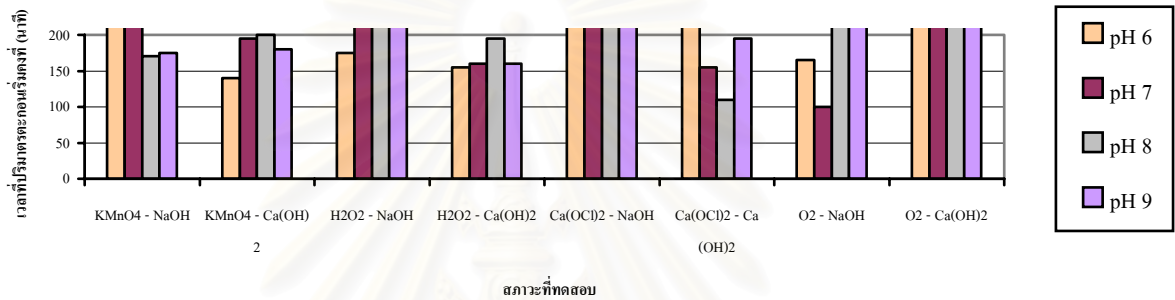
จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับพีเอชและความเข้มข้นของอลูมิเนียม ดังนั้นความสามารถในการทำให้ตะกอนรวมตัวของสารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์จึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมันและระดับพีเอชเป็นสำคัญ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนี้จะสามารถนำไปสู่การเกิดโมโนเมอร์, ไดเมอร์ จนกระทั่งโพลีเมอร์ของอลูมิเนียมซึ่งมีจำนวนอลูมิเนียมไอออนในโมเลกุลถึง 13 ไอออน (เช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$)



รูปที่ 4.9 แสดงสมดุลของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ไฮดรอลูมิเนียมที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) เริ่มต้นเป็น 10-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Stumm and O'Melia, 1968 อ้างถึงใน Montgomery, 1985).



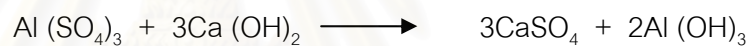
รูปที่ 4.10 ก. แสดงผลของพีเอช ต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ร่วมกับสารส้มในสถานะต่างๆ



รูปที่ 4.10 ข. แสดงผลของพีเอช ต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ร่วมกับ PACI ในสถานะต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงไฮดรอกไซด์ของอลูมิเนียมไอออนชนิดต่างๆเช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al(OH)^{2+}$ ซึ่งอยู่ในสมดุลกับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอชต่างๆ พฤติกรรมของอลูมิเนียมไอออนในน้ำขึ้นอยู่กับพีเอช , ไอออนอนินทรีย์ต่างๆในระบบ , อุณหภูมิ , ชนิดและความเข้มข้นของตะกอน , ความเข้มข้นของอลูมิเนียมที่เติมลงไป และลักษณะการกวนเติมอลูมิเนียมเพื่อให้ผสมกันที่พีเอชต่ำกว่า 6 ไฮดรอกไซด์ของอลูมิเนียมไอออนจะคงอยู่ในระบบได้นานพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์เพื่อทำลายเสถียรภาพระหว่างคอลลอยด์ เพื่อให้คอลลอยด์นั้นเป็นกลางหรือไม่มีประจุ ดังนั้นระหว่างอนุภาคคอลลอยด์จึงไม่มีแรงผลักและสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้น ที่พีเอชมากกว่า 6 เริ่มเกิดกลไกการสร้างผลึกสารให้ตกตะกอนออกมา จึงต้องใช้ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตมากกว่าในแบบที่ใช้ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ดังนั้นหากใช้ปริมาณอลูมิเนียมเท่ากัน ที่ระดับพีเอชสูงกว่าจะเกิดการรวมตัวของตะกอนได้ไม่ดีเท่ากับที่พีเอชต่ำกว่า (Stumm and O'Melia, 1968)

เมื่อสารส้มรวมตัวกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะเกิดอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ดังนี้



ดังนั้นการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารส้มจึงทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น

โดยสรุปแล้ว สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิด คือ สารส้ม และ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ มีผลทำให้ใช้เวลาในการรวมตะกอนต่างกัน โดยพบว่าสารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาตะกอนเริ่มคงที่แตกต่างกัน โดยสารส้มจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยกว่าทั้งกรณีเมื่อใช้ไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยตกตะกอน โดยปริมาณเหล็กหลังการทดสอบมีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นในกรณีที่ใช้อากาศเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ส่วนมากจะได้ปริมาณเหล็กที่เหนือเกินกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งอาจมาจากใช้เวลาในการเติมอากาศยังไม่มากพอทำให้ปฏิกิริยาการออกซิไดซิงไม่สมบูรณ์นัก แต่หากนำปัจจัยเรื่องระดับพีเอชเข้ามาพิจารณาด้วยจะพบว่าโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ใช้ได้ดีกว่าสารส้ม เพราะคุณสมบัติของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ไม่ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชทำให้ใช้ได้ในช่วงที่กว้างและครอบคลุมกว่า ส่วนสารส้มจะใช้ได้ดีที่สุดเฉพาะที่ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดซึ่งตามทฤษฎีคือที่ช่วงพีเอช 5-7

4.4 ผลการทดสอบความสามารถของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวเมื่อใช้ในปริมาณต่างกัน

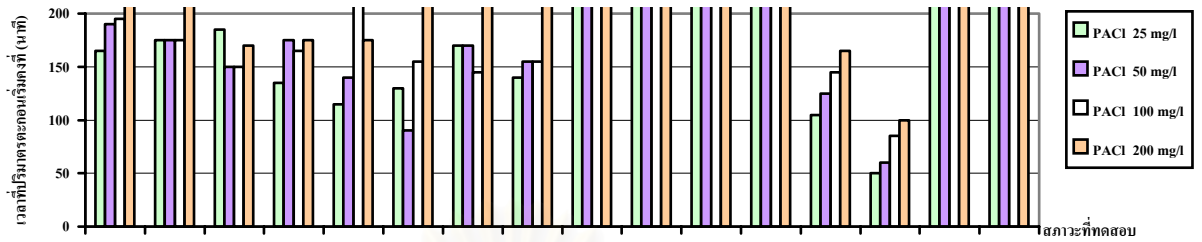
เมื่อนำสารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์มาทดสอบความสามารถในการช่วยให้ตะกอนรวมตัวโดยใช้สารในปริมาณที่ต่างกัน คือ 25 , 50 , 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้ายของสารละลายดังวิธีการดำเนินงานวิจัยข้อ 3.3.4 บทที่ 3 ผลของพารามิเตอร์

ต่างๆหลังการทดสอบและปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ทุกๆ 10 นาที แสดงดังตารางที่ ฌ-5 และ ตารางที่ ฌ-6 ตามลำดับ (ที่ปริมาณสารช่วยให้ตะกอนจมตัว 200 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาจากผลการ ทดลองข้อ 4.3) โดยพบว่าปริมาณที่ต่างกันของสารส้มไม่มีผลต่อเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอน เริ่มคงที่ทั้งในกรณีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวช่วยตกตะกอน แต่ในกรณีที่ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารช่วยให้ตะกอนรวมตัว ปริมาณที่ต่างกันจะทำให้ใช้ เวลาในการทำให้ตะกอนคงที่ต่างกันไม่ว่าจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ตกตะกอน เมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำให้ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ และสภาวะการทดสอบแบบต่างๆ จะเมื่อใช้ปริมาณสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวต่างกันจะได้ดังรูปที่ 4.11 ก. , 4.11 ข. , 4.11 ค. และ 4.11 ง.

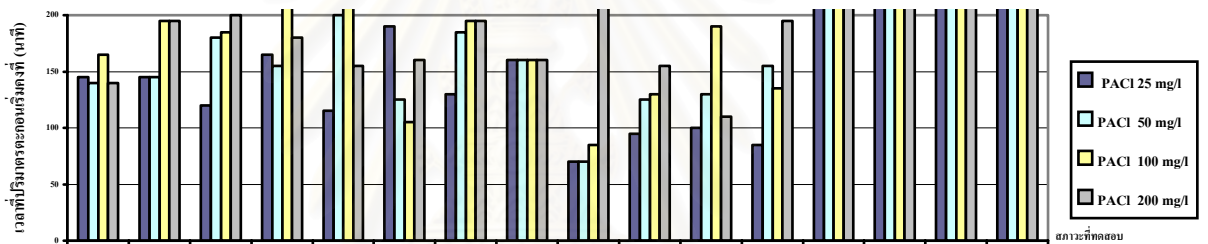
จากรูปที่ 4.11 ก. และ 4.11 ข. จะเห็นว่าการใช้สารส้ม 25 มิลลิกรัมต่อลิตรใช้เวลารวมตะกอนได้เร็วใกล้เคียงกับเมื่อใช้สารส้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้อากาศ เป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ส่วนมากจะใช้เวลามากกว่า 200 นาทีในการทำให้ปริมาตรตะกอนคงที่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากในขั้นตอนการเติมอากาศที่ใช้การปั่นหมุน ทำให้ขนาดตะกอนเล็กกว่าวิธี ออกซิไดส์อื่นๆ ขนาดตะกอนเล็กๆที่ฟุ้งกระจายนี้ทำให้การรวมตัวของตะกอนเกิดได้ยากขึ้น

การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน โดยรวมแล้วใช้น้อยกว่า เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอน ในทุกๆค่าความเข้มข้นของสารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เนื่องมาจากเมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับลูมิเนียมจะได้เป็นลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวชนิดหนึ่ง จากรูปที่ 4.11 ค. และ 4.11 ง. จะเห็นว่าที่ปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ตะกอนรวมตัวได้เร็วกว่าความเข้มข้นอื่นๆเกือบทุก สภาวะทั้งเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน

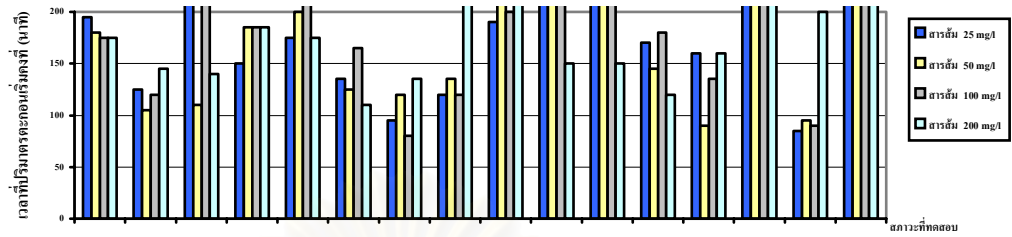
โดยสรุปแล้ว ปริมาณของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวนั้นให้ผลต่อการรวมตัวของ ตะกอนเฉพาะกรณีที่ใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการใช้รวมตะกอน เพอร์ริคไฮดรอกไซด์คือ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย ของสารละลาย ส่วนปริมาณของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบกับ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจจะต้องพิจารณาเป็นกรณีไปสำหรับการใช้ ออกซิไดซิงเอเจนท์ที่ต่างชนิดกัน เช่นถ้าใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นออกซิไดซิงเอเจนท์ และใช้สารส้มเพื่อรวมตะกอน ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อใช้ร่วมกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ควรใช้ปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น



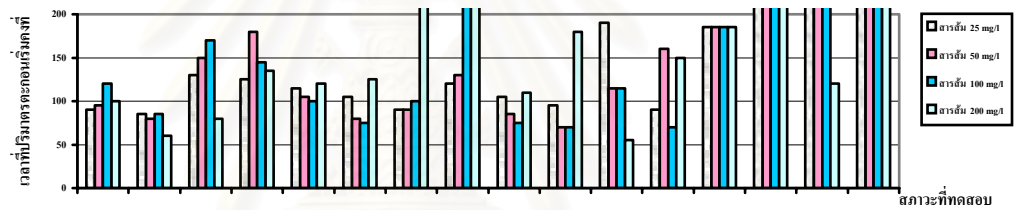
รูปที่ 4.11 ก. แสดงผลของปริมาณ PACI ต่อเวลาที่ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ NaOH เป็นตัวช่วยตกตะกอน



รูปที่ 4.11 ง. แสดงผลของปริมาณ PACI ต่อเวลาที่ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เป็นตัวช่วยตกตะกอน



รูปที่ 4.11 ก. แสดงผลของปริมาณสารส้มต่อเวลาที่ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ NaOH เป็นตัวช่วยตกตะกอน



รูปที่ 4.11 ข. แสดงผลของปริมาณสารส้มต่อเวลาที่ปริมาตรตะกอนเริ่มคงที่ เมื่อใช้ Ca(OH)₂ เป็นตัวช่วยตกตะกอน

จากวิธีดำเนินงานวิจัยทั้ง 4 ข้อ ทำให้ได้ผลการศึกษาและสามารถสรุปได้ดังนี้ สำหรับการเลือกใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ ทั้ง 4 ชนิดคือโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และ อากาศ สามารถออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสให้อยู่ในรูปเฟอร์ริก 99.9 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณเหล็กที่เหลือหลังจากการตกตะกอนตามตารางที่ จ-2 ในภาคผนวก จ.แล้ว ก็พบว่ามียังค่าต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นเพียงการใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดส์ที่ระดับพีเอชต่ำ ดังนั้นสามารถแนะนำให้เกษตรกรใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ชนิดไหนก็ได้แล้วแต่จะเน้นความสำคัญไปทางด้านใดโดยเป็นพิเศษ และขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมด้วย เช่นถ้าน้ำธรรมชาติมีค่าความเป็นด่างค่อนข้างน้อยอยู่แล้วก็สามารถใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ได้ แต่หากต้องการประสิทธิภาพสูงสุดในการออกซิไดส์ก็สามารถใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ และหากต้องการความปลอดภัยและไม่อยากใช้สารเคมีก็ควรใช้อากาศซึ่งต้องให้เวลาอย่างเพียงพอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ ส่วนการเลือกใช้ตัวช่วยตกตะกอนนั้นค่อนข้างเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนว่าควรจะใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ ปูนขาวมากกว่าเพราะให้ผลดีแต่ราคาถูกกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์มาก สำหรับการเลือกปรับค่าพีเอชสำหรับตกตะกอนนั้น ควรจะเลือกค่าที่อยู่ในช่วงที่เป็นเบสมากกว่าเพราะนอกจากจะทำให้เกิดการตกตะกอนได้มากกว่าแล้ว ยังเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนละลายกลับเข้าไปในน้ำได้อีกครั้ง การประยุกต์ใช้น้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นควรเลือกใช้ที่พีเอช 8 หรือประมาณ 8 แต่ไม่ควรเกิน 9 สำหรับการเลือกใช้สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว ควรเลือกใช้สารส้มมากกว่าเพราะได้ผลดีเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แม้จะใช้ได้ในช่วงพีเอชที่แคบกว่าฟอสฟอรัสคลอไรด์ แต่ก็ไม่เป็นปัญหาสำหรับการประยุกต์ใช้น้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำซึ่งมีเวลาในการพักน้ำเพียงพอ นอกจากนี้สารส้มก็ยังมีราคาถูกกว่าด้วย ในที่นี้ควรใช้สารส้มในปริมาณที่ต่ำสุดเท่าที่ได้ศึกษาคือ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดเหล็กแต่ละสภาวะ และเลือกสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้กับน้ำตัวอย่างจากบ่อพักสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

แต่ละสภาวะที่ใช้ในการตกตะกอนเหล็กนั้นใช้สารเคมีต่างชนิดและต่างปริมาณกัน ถ้าคิดเทียบกับปริมาณเหล็กเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร จะต้องใช้สารเคมีเป็นปริมาณต่างๆและมีค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณสารเคมีและค่าใช้จ่ายเมื่อเลือกใช้สารเคมีชนิดต่างๆในการตกตะกอน
เหล็ก 100 กรัมต่อลิตร

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ทำปฏิกิริยา (กรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO ₄)	56.60	3.12
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂)	50.77 มิลลิลิตร	1.42
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Ca(OCl) ₂)	64.00	5.33
อากาศ	18 ชั่วโมง	19.08
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	215	2.80
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH) ₂)	402	1.81

หมายเหตุ : ราคาโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (98 เปอร์เซ็นต์) กิโลกรัมละ 54 บาท

ราคาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (50 เปอร์เซ็นต์) ลิตรละ 28 บาท

ราคาแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (60 เปอร์เซ็นต์) กิโลกรัมละ 50 .บาท

ราคาโซเดียมไฮดรอกไซด์ กิโลกรัมละ 13 .บาท

ราคาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ กิโลกรัมละ 4.50 .บาท

ค่าไฟฟ้า คิดเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงละ 1.06 บาท

ราคาสารเคมีจากบริษัทแอดวานซ์ฟาร์มา จำกัด

หากเลือกสภาวะการตกตะกอนเหล็กต่างกัน จะมีค่าใช้จ่ายต่างกั้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนเหล็กเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร เมื่อเลือกใช้สภาวะในการ
ตกตะกอนแบบต่างๆ

สภาวะที่เลือกใช้ (ออกซิไดซิงเอเจนท์ / ตัวช่วยตกตะกอน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต / โซเดียมไฮดรอกไซด์	5.92
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ / โซเดียมไฮดรอกไซด์	4.22
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ / โซเดียมไฮดรอกไซด์	8.13
อากาศ / โซเดียมไฮดรอกไซด์	21.88
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต / แคลเซียมไฮดรอกไซด์	4.93
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ / แคลเซียมไฮดรอกไซด์	3.23
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ / แคลเซียมไฮดรอกไซด์	7.14
อากาศ / แคลเซียมไฮดรอกไซด์	20.89

ทั้งนี้ในการศึกษาจะทดลองเลือกใช้สภาวะที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเพื่อตกตะกอนเหล็กจากน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากบ่อกักน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่ต่างๆ ในเขตอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา คือใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการออกซิไดส์ร่วมกับการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 8 และใช้สารส้ม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย จากตัวอย่างน้ำทั้งหมดจำนวน 6 ตัวอย่างจาก 6 บ่อ ค่าพีเอชของน้ำแต่ละบ่อและปริมาณเหล็กเริ่มต้นของแต่ละบ่อ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำในอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา , ค่าพีเอชของน้ำ และปริมาณเหล็กในน้ำ ทั้ง 6 ตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำจากบ่อกักที่	สถานที่	พีเอชของน้ำ	ปริมาณเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	ต. บางกระเจ็ด	7.0	2.01
2	ต. บางกระเจ็ด	7.8	0.61
3	ต. บางกระเจ็ด	8.2	0.81
4	ต. บางคา	7.7	0.69
5	ต. บางตลาด	5.9	2.27
6	ต. บางตลาด	6.0	0.87

นำน้ำในบ่อกักน้ำมากำจัดเหล็กด้วยวิธีออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนที่พีเอช 8 และใช้สารส้มปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย ปรากฏว่าวิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง , พีเอชหลังการทดสอบ และปริมาณเหล็กที่เหลือในน้ำได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงระดับพีเอชหลังการตกตะกอน , ค่าความเป็นด่างและปริมาณเหล็กที่เหลือในน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากบ่อกักน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เมื่อตกตะกอนเหล็กด้วยวิธีการออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนที่พีเอช 8 หรือใกล้เคียง และใช้สารส้มปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่างน้ำจากบ่อกักที่	พีเอชที่ตกตะกอน	พีเอชหลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	8.4	8.3	69.29	0.00
2	8.3	8.4	82.26	0.00
3	8.2	8.4	72.58	0.00
4	8.5	8.5	58.07	0.00

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตัวอย่างน้ำ จากบ่อกักที่	พีเอชที่ ตกตะกอน	พีเอชหลัง ทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
5	8.4	8.4	58.07	0.00
6	8.1	7.9	67.75	0.00

นั่นคือ เมื่อตกตะกอนเหล็กด้วยวิธีการออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนที่พีเอชประมาณ 8 และใช้สารส้มปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย เพื่อรวมตะกอน สามารถกำจัดเหล็กออกจากน้ำที่ใช้สำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ โดยเหลือเหล็กในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด อ่างอิงจากเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรน้ำจืด (ภาคผนวก ง.) และมีสภาพต่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำคือ 40 – 170 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการศึกษาการกำจัดเหล็กในน้ำด้วยวิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน โดยทดสอบความสามารถของออกซิไดซิงเอเจนต์ 4 ชนิดคือโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และอากาศ ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และสารช่วยให้ตะกอนรวมตัว 2 ชนิดคือ สารส้ม และโพเทิลลูมิเนียมคลอไรด์หรือ PACI โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัด เหล็กในน้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อให้มีปริมาณเหล็กในน้ำไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรตาม เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด การดำเนินงานวิจัยสรุปผลได้ดังนี้

1. การกำจัดเหล็กโดยการตกตะกอนในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดการ ออกซิไดส์เหล็กก่อนนั้น ให้ผลดีกว่าการไม่ใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ เพราะวิธีการออกซิไดส์นั้น จะทำให้ได้ตะกอนเหล็กในรูปแบบที่มีความเสถียรมากกว่า และยากต่อการละลาย

2. ออกซิไดซิงเอเจนต์ทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ มีความสามารถในการออกซิไดส์เหล็ก และในสภาวะที่เป็นเบสจะทำให้เกิดการตกตะกอนของเหล็กออกจากน้ำ จนเหลือปริมาณเหล็กใน น้ำต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์นั้นต้องใช้เวลาในการ ออกซิไดส์อย่างเต็มที่ ซึ่งอาจใช้เวลานานโดยในงานวิจัยครั้งนี้สำหรับความเข้มข้นเริ่มต้นของ เหล็ก 0.3 โมลต่อลิตร ต้องใช้เวลาในการออกซิไดส์ด้วยอากาศประมาณ 3 ชั่วโมง

3. ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ในการดำเนินงานทั้งสองชนิด คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนเหล็กต่างกัน เนื่องจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสแก่ที่ละลายน้ำดีจึงง่ายต่อการควบคุมและปรับพีเอช ในขณะที่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์นั้น ละลายน้ำได้เพียง 0.15 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเลือกใช้แคลเซียมไฮดรอก ไซด์ร่วมกับการใช้สารส้มเป็นสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวแล้วจะให้ผลดีกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอก ไซด์ เนื่องจากเมื่อสารส้มรวมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะเกิดอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็น สารช่วยรวมตะกอนชนิดหนึ่ง

4. ประสิทธิภาพในการทำงานของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวนั้น นอกจากจะ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญเช่น ระดับพีเอช และปริมาณของสารช่วยให้ตะกอนรวมตัวนั้นแล้ว แต่การ ใช้ร่วมกับออกซิไดซิงเอเจนต์ต่างชนิดกัน ทำให้ปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยให้ตะกอน รวมตัวนั้นแตกต่างกันด้วยแม้จะทดสอบที่ระดับพีเอชเดียวกันก็ตาม ดังนั้นการเลือกใช้สารช่วย

ให้ตะกอนรวมตัวเป็นปริมาณเท่าใดนั้น ก็ควรจะพิจารณาประกอบกับชนิดของออกซิไดซิงเอเจนท์ ที่เลือกใช้ด้วย

5. การจะเลือกใช้ระบบใดในการตกตะกอนเหล็ก ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของผู้เลือกใช้ว่าจะเลือกให้ความสำคัญกับเหตุผลข้อใดเป็นพิเศษ เช่นเหตุผลด้านความปลอดภัย ด้านการพิจารณาค่าใช้จ่าย หรือปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เป็นต้น

6. เมื่อเลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการออกซิไดส์ ร่วมกับการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอชประมาณ 8 และ ใช้สารส้มปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย สามารถกำจัดเหล็กออกจากน้ำตัวอย่างซึ่งเก็บจากบ่อกักน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ โดยเหลือปริมาณเหล็กในน้ำไม่เกินที่กำหนดไว้ในเกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด คือไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการเลือกใช้สภาวะแบบอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

นอกจากจะเลือกใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวแล้วนั้น การใช้ร่วมกันระหว่างออกซิไดซิงเอเจนท์สองชนิดก็อาจทำได้ โดยพิจารณาเลือกตามปัจจัยแวดล้อมและเหตุผลที่เหมาะสม เช่นใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์เนื่องจากเป็นสารเคมีที่เกษตรกรใช้กันโดยทั่วไปอยู่แล้ว แต่เมื่อเกิดปัญหาที่คุณภาพน้ำหลังจากการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ในการออกซิไดส์แล้วจะมีค่าความเป็นด่างสูงเกินไป ดังนั้นจึงอาจลดปริมาณแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ที่จะใช้ลงเพื่อให้มีค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และใช้วิธีเติมอากาศหรือออกซิไดส์ด้วยอากาศร่วมด้วยเพื่อให้เกิดการออกซิไดส์เหล็กอย่างสมบูรณ์ เป็นต้น ในที่นี้จึงขอยกตัวอย่างการเลือกใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์สองชนิดร่วมกัน คือการใช้อากาศร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สารส้มปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย โดยมีความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้นเป็น 0.3 โมลต่อลิตร ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.1

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 5.1 นี้ พบว่า เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับอากาศในการออกซิไดส์เหล็กและตกตะกอนที่ระดับพีเอช 8 โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยลงก็ต้องใช้เวลาเติมอากาศมากขึ้น ความเข้มข้นของเหล็กที่เหลือหลังจากการทดสอบในทุกๆ อัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับอากาศ มีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าความเป็นด่างเกินกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเล็กน้อย แต่ก็ยังอยู่ในช่วง 40 – 170 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นส่วนใหญ่ สำหรับค่าพีเอชหลังการทดสอบนั้นต่ำกว่าระดับพีเอชที่

เหมาะสมซึ่งควรจะอยู่ในช่วง 7.5–8.5 ดังนั้นการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นในการตกตะกอนอาจต้องมากกว่า 8 เพื่อให้ค่าพีเอชหลังการตกตะกอนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.1 การตกตะกอนเหล็ก ด้วยวิธีออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับอากาศและตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 8 โดยใช้สารส้ม ปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเทียบกับปริมาตรสุดท้าย

ตัวอย่างที่	พีเอชที่ตกตะกอน	พีเอชหลังตกตะกอน	สัดส่วน H ₂ O ₂ และ อากาศ		ค่าความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
			H ₂ O ₂ (%)	เวลาในการให้อากาศ		
1	8.0	7.7	100	0	208.08	0.03
2	8.0	7.3	83	15 นาที	237.11	0.00
3	8.0	7.3	67	25 นาที	145.17	0.02
4	8.0	7.3	50	50 นาที	159.69	0.00
5	8.0	7.3	33	1ชม. 30 นาที	174.2	0.00
6	8.0	7.3	17	2 ชม.	150.01	0.00
7	8.0	7.3	0	2ชม. 45 นาที	135.49	0.02

นั่นคือ นอกจากการใช้ออกซิไดซิงเอเจนท์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวแล้ว ยังอาจเลือกใช้สองชนิดร่วมกันได้ โดยต้องมีการศึกษาทดลองในรายละเอียดปลีกย่อยลงไปอีกว่า สภาวะที่เลือกใช้นั้นจะมีผลกระทบต่อพารามิเตอร์ใดบ้าง เช่นการออกซิไดส์ด้วยอากาศร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสามารถทำได้ และจะช่วยลดปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่จะต้องใช้ แต่การใช้คลอรีนร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอาจทำไม่ได้หากในน้ำที่ต้องการกำจัดเหล็กนั้นมีสารประกอบอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ เช่น สารประกอบฟีนอล เนื่องจากการออกซิไดส์ด้วยคลอรีนก่อนจะทำให้มีโอกาที่จะเกิดผลผลิตที่เป็นอนุพันธ์ของคลอรีน (chloro-derivative) ซึ่งจะมีผลต่อกลิ่นและรสของน้ำ เป็นต้น (วัฒนา, 2516) ดังนั้นหากมีการทดสอบการใช้งานร่วมกันของออกซิไดซิงเอเจนท์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปในสภาวะต่างๆ ก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญจนา ครอบธรรมชาติ. การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ควบคุมมลพิษ, กรม. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ, 2540.

คณิต ไชยคำ และคณะ. คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ความรู้เบื้องต้นและวิธีวิเคราะห์. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา : มงคลการพิมพ์, 2537.

ชัยวัฒน์ ธานีรัตน์. การผลิตสารกรองสนิมเหล็กในน้ำ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. วิทยาศาสตร์สำหรับประชาชนครั้งที่ 567, 2542.

ทรงสร แก้วสีปลาต. การประยุกต์ถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้งในการกำจัดเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

นภวรรณ รัตสุข. ประสิทธิภาพการกรองเหล็กออกจากน้ำบาดาลสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกรองที่เป็นทรายไม่คัดขนาด ถ่าน และถั่วแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ประจวบ ลีรักษาเกียรติ. การสำรวจและประเมินพื้นที่เสี่ยงกึ่งกลาดำ ป่าชายเลนจังหวัดฉะเชิงเทรา และชลบุรี ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9 /2543, 2543.

ประดิษฐ์ วัลยะเสวี. การใช้สารเคมี. เอกสารสัมมนาเชิงปฏิบัติการ, 2527.

พัฒนาที่ดิน, กรม. แผนที่แสดงข้อจำกัดในการกำหนดเขตให้และห้ามเลี้ยงกึ่งกลาดำ. กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาที่ดิน, 2543.

พูลสุข วงศ์สมุทร. การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยการใช้แร่ Modernite. รายงานวิชา Special Problem ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

มนตรี อุทัยภัตรากร. การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลด้วยวิธีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2517.

มันสิน ตันจุลเวศม์. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

วัฒนา ยุกแผน. การใช้ถังทับทิมกำจัดเหล็กในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต แผนกวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2516.

สมชาย เหล่านิยมไทย. การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการกรองแบบไหลขึ้น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2526.
อัญริ เรืองเดช. ผลของดินกรดต่อคุณภาพน้ำและกึ่งกลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขา
วิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.
อนันต์ ต้นสุตะพานิช. แนวทางการฟื้นฟูการเลี้ยงกึ่งกลาดำระบบปิดหรือระบบรีไซเคิล (กอง
เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง , กรมประมง) (ม.ท.ป.), 2538.

ภาษาอังกฤษ

American Water Works Association. Water Quality and Treatment. 5th ed.
New York : McGraw-Hill , 1999.

Brown, R.L. "Aeration Experiments at Memphis, Tenn." Journal AWWA
44 (April 1952) : 336-344.

Cotton, F.A. and Wilkinson, G. Advanced inorganic chemistry : A comprehensive text. 4th
rd. New York : John Wiley & Sons , 1980.

Dieter , J.R. Method for removing dissolved impurities from water. United States Patent :
US5494583 , 1996.

Engelbrecht, R.S., O'Connor, J.T. and Ghost, M. "Iron Removal by Aeration and
Filtration." Water and Sewage Works Journal 114 (April 1965) : 123 – 128.

Ghosh, M.M. "Removal of Iron from Ground Water by Filtration through Coal." Journal
AWWA (July 1965) : 385 – 389.

Lederer, H.L. Regulatory Chemicals of Health and Environmental Concern. New York : Van Nostrand Reinhold ,
1985.

McCracken, R.A. "Study of Colour and Iron Removal by means of Pilot Plant at Amesbury." Journal NEWWA
75 (1960) : 102 – 114.

Montgomery, J.M. Water treatment and design. New York : John Wiley & Sons ,
1985.

Montgomery and John R. Use of specially prepared iron floc to oxidize and
remove iron in water treatment processes. United States Patent : US4288328 , 1981.

Shriver, D.F. and Atkins, P.W. Inorganic Chemistry. 3rd ed. Belgium : Snoeck-
Ducaju & Zoon Nv. Ghent , 1999.

Snoeyink, V.L., and Jenkins, D.L. Water Chemistry. New York : John
Wiley & Sons , 1980.

Vernon, L.S. and David, J. Water Chemistry. U.S.A. : John Wiley & Sons , 1980.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

สถิติจำนวนผู้เลี้ยง เนื้อที่เพาะเลี้ยง ปริมาณและมูลค่าผลผลิตกุ้งทะเล ปี พ.ศ.2519 – 2541

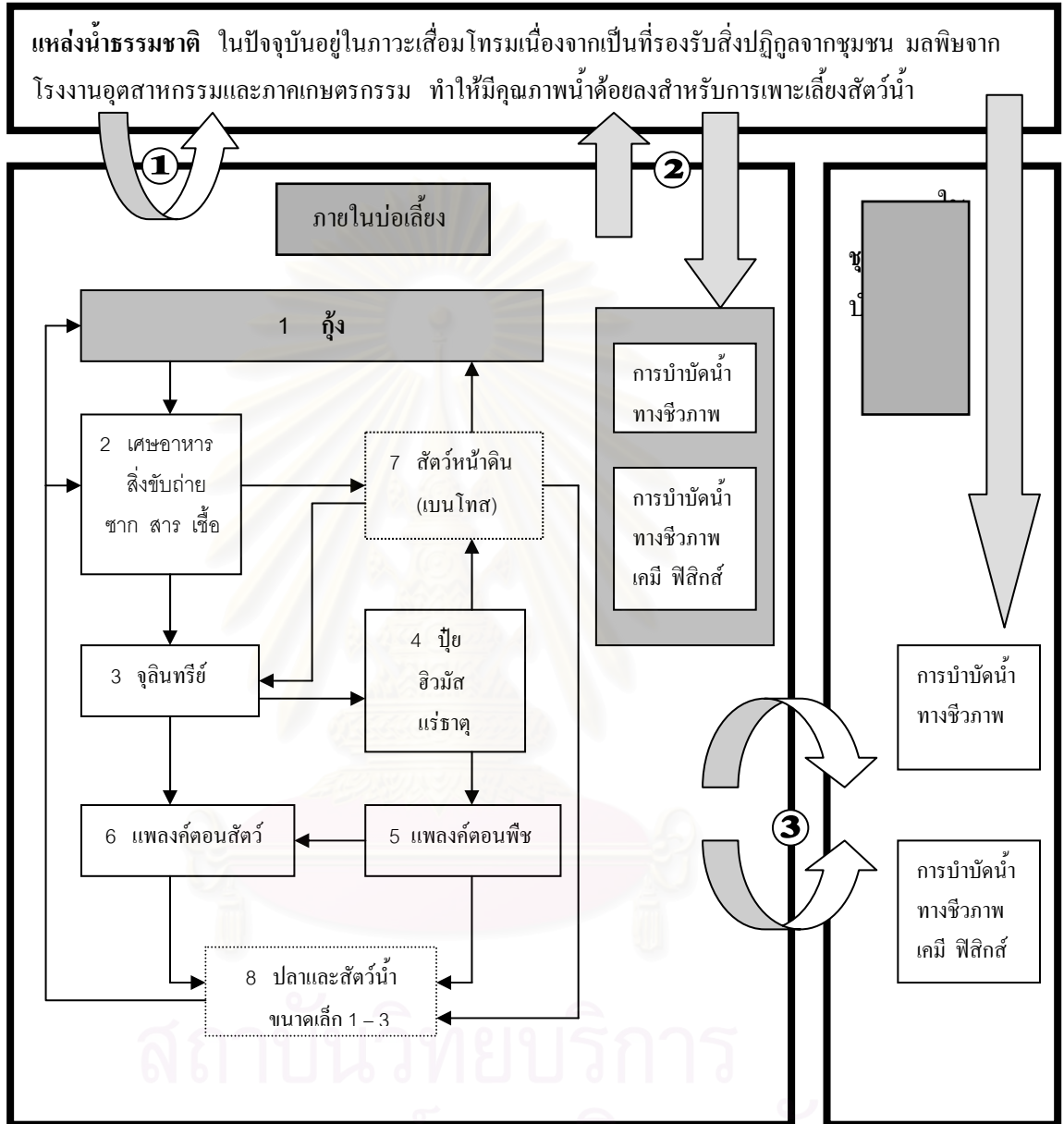
ตารางที่ ก-1. แสดงจำนวนผู้เลี้ยง เนื้อที่เพาะเลี้ยง ปริมาณและมูลค่าผลผลิตกุ้งทะเล ปี พ.ศ. 2519 ถึง 2541

ปี	จำนวนราย	เนื้อที่ (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ผลผลิต/ไร่ (กก.)
2519	1,544	76,850	2,533	79.45	32.96
2520	1,437	77,567	1,590	56.09	20.49
2521	3,045	151,055	6,395	349.16	42.33
2522	3,378	154,222	7,064	460.59	45.80
2523	3,572	162,727	8,063	458.91	49.55
2524	3,657	171,619	10,728	657.26	62.51
2525	3,943	192,453	10,091	765.68	52.43
2526	4,327	222,107	11,550	950.37	52.00
2527	4,519	229,949	13,007	1,024.01	56.56
2528	4,939	254,805	15,841	1,348.42	62.19
2529	5,534	283,548	17,886	1,737.58	63.08
2530	5,899	279,812	23,566	3,449.32	84.22
2531	10,246	342,364	55,633	7,900.55	162.50
2532	12,545	444,785	93,495	11,072.19	210.20
2533	15,072	403,787	118,227	14,365.36	292.80
2534	18,998	470,826	162,070	19,834.11	344.22
2535	19,403	454,975	184,884	25,500.14	406.36
2536	20,027	449,292	225,514	32,425.34	501.93
2537	22,198	457,793	263,446	39,845.25	575.47
2538	26,145	468,386	259,541	39,544.65	554.12
2539	22,913	434,148	229,000	35,000.00	527.47
2540	23,723	457,000	227,560	49,104.50	497.94

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม ,2542

ภาคผนวก ข.

ภาพแสดงการเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบระบบเปิด ระบบกึ่งเปิด และระบบปิด



- ① ระบบเปิด มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ไม่สร้างหรือส่งเสริมองค์ประกอบข้อ 7 และ 8 มีการทิ้งน้ำและเลนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
- ② ระบบกึ่งเปิด ไม่มีการถ่ายเทน้ำระหว่างการเลี้ยง แต่มีการเติมน้ำเข้าไปให้ระดับความลึกที่ต้องการ และมีการถ่ายน้ำทิ้งในตอนที่จับกุ้ง
- ③ ระบบปิด ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยง มีการสร้างหรือส่งเสริมองค์ประกอบข้อ 7 และ 8 เพื่อช่วยบำบัดน้ำทางชีวภาพโดยมีบ่อบำบัดน้ำแยกต่างหาก ใช้น้ำจากบ่อเลี้ยงทำการบำบัดเพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ต่อไป

รูปที่ ข-1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ ภายในบ่อเลี้ยง กุ้ง และข้อเปรียบเทียบของการจัดการคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้ง ระหว่างการเลี้ยงแบบดั้งเดิม (ระบบเปิด) กับแบบใหม่(ระบบปิด) (อนันต์, 2538)

ภาคผนวก ก.

พื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำและป้าชายเลนจังหวัดฉะเชิงเทรา ปี พ.ศ.2540

ตารางที่ ก-1. พื้นที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำจังหวัดฉะเชิงเทรา ปี พ.ศ.2540 (ประจวบ, 2543)

พื้นที่ อำเภอ	เขตอนุรักษ์	เขต เศรษฐกิจ ก.	เขต เศรษฐกิจ ข.	พื้นที่อื่นๆ	รวม
บางปะกง	-	-	10,747.00	10,456.50	21,203.50
เมือง	-	-	-	13,533.75	13,533.75
บ้านโพธิ์	-	-	138.00	35,570.00	35,708.00
บางคล้า	-	-	-	21,688.00	21,688.00
บางน้ำเปรี้ยว	-	-	-	2,933.25	2,933.25
แปลงยาว	-	-	-	1,325.50	1,325.50
ราชสาส์น	-	-	-	144.00	144.00

มติคณะรัฐมนตรี วันที่ 15 ธันวาคม 2530 เรื่องการกำหนดเขตพื้นที่ป่าชายเลน

คณะรัฐมนตรี ลงมติเห็นชอบกับแนวทางและผลการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าชายเลน ในรายงานผลการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชายเลนประเทศไทย ตามที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์เสนอ และให้หน่วยราชการที่เกี่ยวข้องถือปฏิบัติโดยกำหนดพื้นที่ป่าชายเลนเป็น 3 เขต ดังนี้

1. เขตอนุรักษ์

หมายถึงพื้นที่ป่าชายเลนที่หวงห้ามไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ใดๆ นอกจากปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติ เพื่อรักษาไว้ซึ่งสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศน์ได้แก่

- 1.1 พื้นที่แหล่งเพาะพันธุ์สัตว์ พืช และสัตว์น้ำที่มีค่าทางเศรษฐกิจ
- 1.2 พื้นที่แหล่งเพาะพันธุ์พืช และสัตว์น้ำ
- 1.3 พื้นที่ง่ายต่อการถูกทำลาย และการพังทลายของดินได้แก่ หาดทราย สันทราย หาดเลน เลนงอก ทรายงอก เกาะ ถ้ำ และแนวปะการัง
- 1.4 พื้นที่ที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี
- 1.5 สถานที่ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของท้องถิ่น

- 1.6 เขตอุทยานแห่งชาติ วนอุทยาน แหล่งท่องเที่ยว เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า และเขตห้ามล่า
- 1.7 พื้นที่ป่าสมควรสงวนไว้เป็นแนวป้องกันลม
- 1.8 พื้นที่ป่าที่มีความเหมาะสมต่อการสงวนไว้เพื่อเป็นสถานที่ศึกษาวิจัย
- 1.9 พื้นที่ป่าสมควรสงวนไว้เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศน์
- 1.10 พื้นที่ที่อยู่ห่างไม่น้อยกว่า 20 เมตร จากริมฝั่งแม่น้ำลำคลองธรรมชาติไม่น้อยกว่า 75 เมตร จากชายฝั่งทะเล

ทั่วประเทศมีเนื้อที่ประมาณ 426.78 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 266,737 ไร่

2. เขตเศรษฐกิจ

2.1 เขตเศรษฐกิจ ก.

หมายถึง พื้นที่ป่าชายเลนที่ยอมให้มีการใช้ประโยชน์เฉพาะกิจการด้านป่าไม้ เพื่อผลิตที่สม่ำเสมอตามหลักวิชาการป่าไม้ ได้แก่

2.1.1 พื้นที่ป่าสัมปทาน และป่าโครงการ

2.1.2 พื้นที่ป่าชายเลนนอกเขตป่าสัมปทานที่เหมาะสมแก่การอนุรักษ์ไว้ เพื่อเป็นป่าชุมชน

2.1.3 พื้นที่สวนป่าเพื่อผลิตด้านป่าไม้ของรัฐบาลและเอกชน

ทั่วประเทศมีเนื้อที่ประมาณ 1,996.89 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 1,248,056 ไร่

2.2 เขตเศรษฐกิจ ข.

หมายถึง พื้นที่ป่าชายเลนที่ยอมให้มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพัฒนาด้านอื่นๆ ได้แต่ต้องคำนึงถึงผลดีและผลเสียทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย พื้นที่ลักษณะนี้ได้แก่

2.2.1 พื้นที่เกษตรกรรม เพื่อ

2.2.1.1 การกสิกรรม

2.2.1.2 การเลี้ยงสัตว์

2.2.1.3 การประมง

2.2.1.4 การทำนาเกลือ

2.2.2 พื้นที่อุตสาหกรรม เพื่อ

2.2.2.1 การทำเหมืองแร่

2.2.2.2 การสร้างโรงงานอุตสาหกรรม

2.2.3 พื้นที่แหล่งชุมชน

2.2.2.1 พื้นที่ที่เป็นแหล่งการค้า

2.2.2.2 พื้นที่ที่เป็นแหล่งท่าเทียบเรือ

2.2.2.3 พื้นที่อื่นๆ

พื้นที่ทั่วประเทศมีเนื้อที่ประมาณ 1,300.81 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 813,006ไร่

การจัดทำแผนที่ทางวิชาการแสดงเขตให้และห้ามเลี้ยงกึ่งกุลาดำ

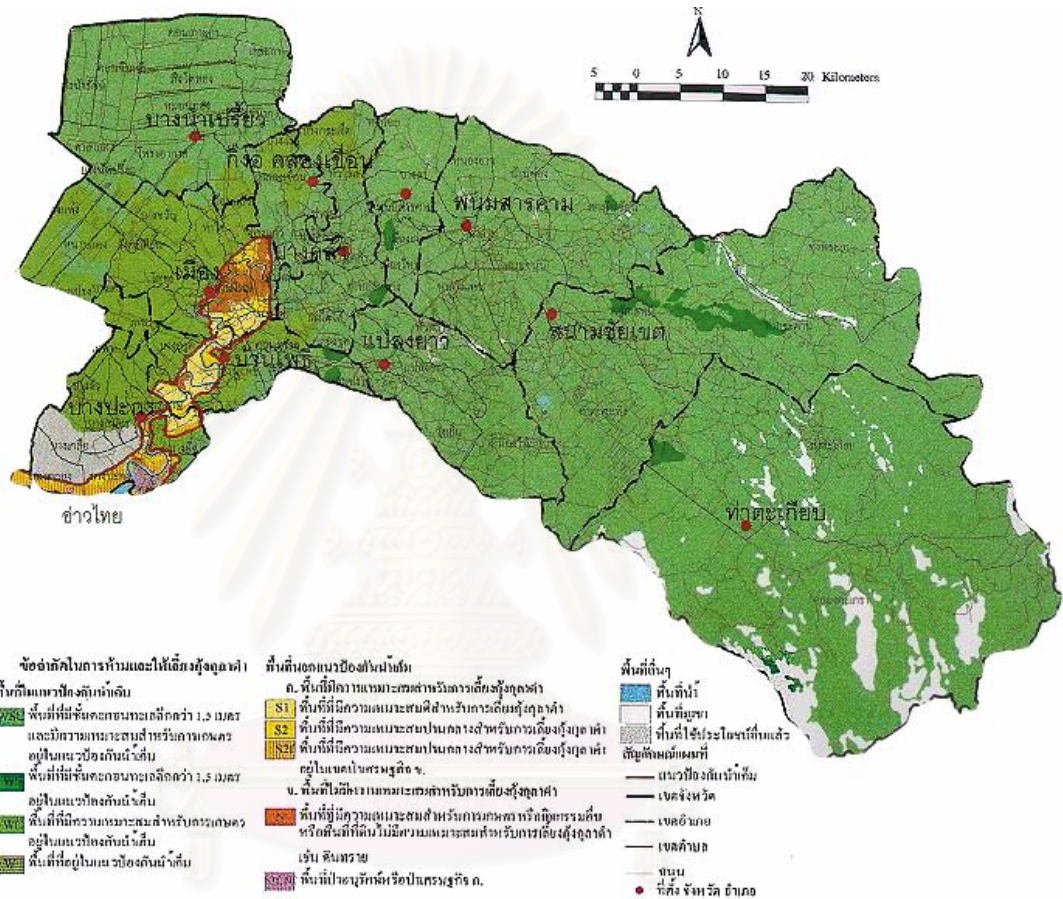
คณะรัฐมนตรี มีมติเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2541 ให้ยกเลิกการเลี้ยงกึ่งกุลาดำระบบความเต็มด้าในพื้นที่น้ำจืด โดยให้มีผลบังคับใช้ภายใน 120 วัน นับจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา และเห็นชอบตามมติคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 5 /2541 เมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2541 ซึ่งได้เสนอให้ใช้อำนาจมาตรา 9 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 โดยให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ที่ผ่านการเลี้ยงกึ่งกุลาดำมาแล้ว และพิจารณาจัดทำแผนงานและโครงการส่งเสริมอาชีพทดแทนสำหรับผู้ทำการเพาะเลี้ยงกึ่งกุลาดำระบบความเต็มด้าในเขตพื้นที่น้ำจืดและให้ปฏิบัติตามแผนการใช้ที่ดินที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยเคร่งครัด

หลักเกณฑ์ในการห้ามเลี้ยงกึ่งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืด

ในการประกาศเขตห้ามการเลี้ยงกึ่งกุลาดำในเขตพื้นที่น้ำจืดนั้นได้กำหนดตามข้อจำกัด 6 ประการที่ได้เสนอโดยกรมพัฒนาที่ดินและได้รับการยอมรับแล้วคือ

1. มีชั้นตะกอนทะเลลึกกว่า 1.5 เมตร
2. เป็นพื้นที่น้ำจืด
3. อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทาน
4. อยู่ในเขตพื้นที่ที่มีคันป้องกันน้ำเค็ม
5. เป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการเกษตร
6. มีนโยบายของจังหวัดหรือประเทศในการใช้ที่ดินด้านใดด้านหนึ่งเป็นพิเศษ

ถ้ามีคุณสมบัติข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อ พื้นที่เหล่านั้นก็จะไม่มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกึ่งกุลาดำ เพราะเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการเกษตรที่มีความยั่งยืนมากกว่า สำหรับจังหวัดจะเข็งเทรมีพื้นที่ที่อยู่ในหลักเกณฑ์ดังกล่าว และพื้นที่นอกเหนือจากกฎเกณฑ์ดังรูปที่ ก-1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑-1. แผนที่แสดงข้อจำกัดในการกำหนดเขตให้และห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำในจังหวัดฉะเชิงเทรา (อัตราส่วน 1 : 50,000)

ตารางที่ ค-2. คำนิยามและเหตุผลในการห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำในแต่ละข้อจำกัด

ข้อจำกัด	คำนิยาม	เหตุผลในการห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
1. มีชั้นตะกอนทะเลลึกกว่า 1.5 เมตร	ชั้นตะกอนทะเล (marine sediment) หมายถึงตะกอนอนุภาคขนาดเล็ก ขนาดอนุภาคดินเหนียว เกิดจากการทับถมตกตะกอนในพื้นที่ที่เป็นทะเลเก่าหรือบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง ดินมีความเค็มหรือมีสารประกอบกำมะถันที่อยู่ในสภาพลดออกซิเจน (reduction) เป็นองค์ประกอบสำคัญ	ดินที่มีชั้นตะกอนทะเลลึกกว่า 1.5 เมตรเป็นดินที่ปัจจุบันดินบนจะเป็นดินที่มีศักยภาพทางการเกษตรสูงเพราะอิทธิพลจากชั้นตะกอนทะเลจะอยู่พื้นผิว ความลึกของรากพืช จึงสมควรอนุรักษ์พื้นที่เหล่านี้ไว้สำหรับการใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรกรรมที่ยั่งยืน และไม่ก่อปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดินและสภาพแวดล้อม
2. เป็นพื้นที่น้ำจืด	พื้นที่น้ำจืดหมายถึง พื้นที่ที่มีน้ำทำเป็นน้ำจืดคือ ก. ไม่ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลขึ้นถึง หรือ ข. มีความเค็มของดินวัดจากค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ds/m.) หรือความเค็มของน้ำที่มีค่าต่ำกว่า 0.75 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (ds/m.) ในกรณีที่เป็นพื้นที่น้ำฝน (rainfed area) แต่น้ำผิวดินอาจจะเค็มเนื่องจากเกลือที่อยู่ใต้ดินเช่นดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือจังหวัดในภาคกลางบางจังหวัด แต่ปัจจุบันไม่มีการท่วมถึงของน้ำทะเล พื้นที่เหล่านี้จึงถือเป็นพื้นที่น้ำจืด	การนำน้ำเค็มเข้ามาหักล้างในพื้นที่น้ำจืดปริมาณมากๆย่อมเกิดการรั่วซึมปนเปื้อนสู่ภายนอกทำให้น้ำทำบริเวณข้างเคียงมีความเค็ม คุณภาพไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชทำให้พืชตายหรือผลผลิตลดลง น้ำเค็มที่นำมาเก็บไว้ในบ่อกึ่งนั้นนอกจากจะปนเปื้อนในน้ำทำแล้วยังปนเปื้อนลงในชั้นน้ำใต้ดินและทำให้ดินบริเวณข้างเคียงเค็มไปด้วย
3. อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทาน	หมายถึงพื้นที่โครงการชลประทานที่ทางกรมชลประทานเป็นผู้รับผิดชอบหรือเป็นพื้นที่ที่รัฐได้ลงทุนเพื่อการชลประทานสำหรับการเกษตรกรรม	เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงทางการเกษตรและรัฐได้ลงทุนไปแล้วจึงสมควรที่จะใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรกรรมที่มีความยั่งยืน

ตารางที่ ค-2. (ต่อ)

ข้อจำกัด	คำนิยาม	เหตุผลในการห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
4. อยู่ในเขตพื้นที่ที่มี คันป้องกันน้ำเค็ม	เป็นพื้นที่ที่มีระบบป้องกันน้ำเค็ม ท่วมถึง เป็นพื้นที่ที่ใช้เพื่อการ เกษตรกรรม	เพื่อ ไม่ให้เกิดการปนเปื้อนแพร่กระจาย ของน้ำเค็มในพื้นที่ที่มีการป้องกัน น้ำเค็มไว้แล้ว
5. เป็นพื้นที่ที่มีความ เหมาะสมสำหรับ การเกษตร	เป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับ การเกษตรหรือการปลูกพืชชนิดใด ชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดที่มี ความสำคัญทางเศรษฐกิจ	พื้นที่ที่มีความเหมาะสมด้านการเกษตร มีจำกัด จึงจำเป็นต้องอนุรักษ์ไว้เพื่อ ความมั่นคงทางด้านการผลิตอาหาร ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ ตลอดจน วัฒนธรรมในการประกอบอาชีพและ การอยู่ร่วมกันอย่างสมานฉันท์ของ สังคมชนบท
6. มิน โยบายของ จังหวัดหรือประเทศ ในการใช้ที่ดินด้าน ใดด้านหนึ่งเป็น พิเศษ	หมายถึงนโยบายในการใช้ที่ดินเพื่อ กิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งที่ได้ วางแผนไว้แล้วและสามารถปฏิบัติ ได้ซึ่งเป็นโครงการที่มีประโยชน์ และมีความจำเป็นต่อชุมชนท้องถิ่น ตลอดจนประเทศชาติ	การนำน้ำเค็มเข้ามาในพื้นที่ดังกล่าว ย่อมเกิดผลกระทบต่อระบบการใช้ ประโยชน์ที่ดินที่ได้มีการเตรียมการ หรือได้พัฒนาไปแล้ว การห้ามเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตนี้ จึงเป็นการป้องกันความขัดแย้งในการ ใช้ที่ดินและความเสื่อมโทรมของที่ดิน ที่จะเกิดขึ้นอันจะนำไปสู่ความไม่ สัมฤทธิ์ผลของนโยบายการใช้ที่ดินที่ ได้กำหนดไว้แต่แรก

ภาคผนวก ง.

เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด

ตารางที่ ง-1. เกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม	หมายเหตุ
1	อุณหภูมิ (Temperature)	⁰ ซ	23 – 32	มีการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
2	ความเป็นกรด – ด่าง (pH)		5 – 9	มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่ควรเกินกว่า 2.0 หน่วย
3	ออกซิเจนละลาย (DO)	มก./ล.	ต่ำสุด 3	
4	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	มก./ล.	สูงสุด 30	
5	ความขุ่น (Turbidity)			
	- ความโปร่งใส (transparency)	ชม.	30 – 60	วัดด้วย Secchi disc
	- สารแขวนลอย (suspended solids)		สูงสุด 25	

ที่มา : เอกสารวิชาการ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 75/2530 เรื่องเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด

ตารางที่ ง-2. เกณฑ์คุณภาพน้ำที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มี	หมายเหตุ
1	โลหะหนัก			
	- แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.001	
	- ทองแดง (Cu)	„	0.02	
	- ตะกั่ว (Pb)	„	0.05	
	- ปรอท (Hg)	„	0.0005	
	- เหล็ก (Fe)	„	0.3	
	- สังกะสี (Zn)	„	0.1	

ตารางที่ ง-2. (ต่อ)

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มี	หมายเหตุ
2	สารพิษกลุ่ม Organochlorine - DDT - Dieldrin - Endrin - Heptachlor	มก./ล. ,, ,, ,,	0.5×10^{-3} 0.2×10^{-2} 0.01×10^{-3} 0.4×10^{-3}	
3	สารพิษกลุ่ม Organophosphate - Fenitrothion - Malathion - Methyl parathion - Parathion	มก./ล. ,, ,, ,,	0.06 0.02 0.2 0.04	
5	สารพิษกลุ่ม Carbamate - Caarbaryl - Carbofuran	มก./ล. ,,	0.1 0.008	
6	สารเคมีกำจัดวัชพืช - Glyphosate - Paraquat - Propanil - 2,4-D	มก./ล. ,, ,, ,,	4.8 0.5 0.5 45.0	
7	แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$)	มก./ล.	0.02	คิดในรูป un-ionized ammonia
8	คลอรีน (Chlorine)	มก./ล.	0.005	คิดในรูปของ total residual chlorine
9	สารซักฟอก (Detergent) - Soft detergent - Hard detergent	มก./ล. ,,	0.3 0.5	คิดในรูปของสารลดแรงตึงผิว (surfactant)

ตารางที่ ง-2. (ต่อ)

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้น สูงสุดที่ยินยอมให้มี	หมายเหตุ
10	ซัลไฟด์ (Sulfides)	มก./ล	0.2	คิดในรูปของ undissociated hydrogen sulfide

ที่มา : เอกสารวิชาการ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 75/2530 เรื่อง เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากร
สัตว์น้ำจืด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ตารางแสดงชุดการทดลองสภาวะต่างๆ ตามวิธีดำเนินงานวิจัย บทที่ 3

ตารางที่ จ-1. แสดงตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.1 บทที่ 3

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ตัวช่วยตกตะกอน
1	6.0	NaOH
2	7.0	NaOH
3	8.0	NaOH
4	9.0	NaOH
5	6.0	Ca(OH) ₂
6	7.0	Ca(OH) ₂
7	8.0	Ca(OH) ₂
8	9.0	Ca(OH) ₂

ตารางที่ จ-2. แสดงตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.2 บทที่ 3

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนต์	ตัวช่วยตกตะกอน
1	6.0	KMnO ₄	NaOH
2	7.0	KMnO ₄	NaOH
3	8.0	KMnO ₄	NaOH
4	9.0	KMnO ₄	NaOH
5	6.0	H ₂ O ₂	NaOH
6	7.0	H ₂ O ₂	NaOH
7	8.0	H ₂ O ₂	NaOH
8	9.0	H ₂ O ₂	NaOH
9	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH
10	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH
11	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH
12	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH
13	6.0	O ₂	NaOH
14	7.0	O ₂	NaOH
15	8.0	O ₂	NaOH
16	9.0	O ₂	NaOH
17	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂

ตารางที่ จ-2. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน
18	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂
19	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂
20	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂
21	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂
22	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂
23	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂
24	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂
25	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂
26	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂
27	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂
28	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂
29	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂
30	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂
31	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂
32	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂

ตารางที่ จ-3. แสดงตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.3 บทที่ 3

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว
1	6.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม
2	7.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม
3	8.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม
4	9.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม
5	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม
6	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม
7	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม
8	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม
9	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม
10	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม
11	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม
12	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม
13	6.0	O ₂	NaOH	สารส้ม
14	7.0	O ₂	NaOH	สารส้ม

ตารางที่ จ-3. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว
15	8.0	O ₂	NaOH	สารส้ม
16	9.0	O ₂	NaOH	สารส้ม
17	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม
18	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม
19	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม
20	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม
21	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
22	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
23	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
24	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
25	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
26	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
27	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
28	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
29	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
30	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
31	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
32	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม
33	6.0	KMnO ₄	NaOH	PACI
34	7.0	KMnO ₄	NaOH	PACI
35	8.0	KMnO ₄	NaOH	PACI
36	9.0	KMnO ₄	NaOH	PACI
37	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACI
38	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACI
39	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACI
40	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACI
41	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACI
42	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACI
43	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACI
44	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACI
45	6.0	O ₂	NaOH	PACI
46	7.0	O ₂	NaOH	PACI
47	8.0	O ₂	NaOH	PACI

ตารางที่ จ-3. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว
48	9.0	O ₂	NaOH	PACI
49	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACI
50	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACI
51	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACI
52	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACI
53	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
54	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
55	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
56	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
57	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACI
58	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACI
59	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACI
60	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACI
61	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
62	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
63	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACI
64	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACI

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-4. แสดงตัวอย่างที่จะต้องทดลองตามวิธีการทดสอบข้อ 3.3.4 บทที่ 3

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยให้ตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยให้ตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	6.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	25
2	6.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	50
3	6.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	100
4	6.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	200
5	7.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	25
6	7.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	50
7	7.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	100
8	7.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	200
9	8.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	25
10	8.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	50
11	8.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	100
12	8.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	200
13	9.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	25
14	9.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	50
15	9.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	100
16	9.0	KMnO ₄	NaOH	สารส้ม	200
17	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	25
18	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	50
19	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	100
20	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	200
21	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	25
22	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	50
23	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	100
24	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	200
25	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	25
26	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	50
27	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	100
28	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	200
29	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	25
30	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	50
31	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	100
32	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	สารส้ม	200
33	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	25
34	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	50
35	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	100
36	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	200
37	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	25
38	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	50

ตารางที่ จ-4. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิง เอเจนท์	ตัวช่วย ตกตะกอน	สารช่วยยี้ ตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยยี้ ตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
39	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	100
40	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	200
41	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	25
42	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	50
43	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	100
44	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	200
45	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	25
46	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	50
47	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	100
48	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	สารส้ม	200
49	6.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	25
50	6.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	50
51	6.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	100
52	6.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	200
53	7.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	25
54	7.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	50
55	7.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	100
56	7.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	200
57	8.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	25
58	8.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	50
59	8.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	100
60	8.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	200
61	9.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	25
62	9.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	50
63	9.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	100
64	9.0	O ₂	NaOH	สารส้ม	200
65	6.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	25
66	6.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	50
67	6.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	100
68	6.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	200
69	7.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	25
70	7.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	50
71	7.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	100
72	7.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	200
73	8.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	25

ตารางที่ จ-4. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยยี้ห้ตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยยี้ห้ตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
76	8.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	200
77	9.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	25
78	9.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	50
79	9.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	100
80	9.0	KMnO ₄	NaOH	PACl	200
81	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	25
82	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	50
83	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	100
84	6.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	200
85	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	25
86	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	50
87	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	100
88	7.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	200
89	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	25
90	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	50
91	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	100
92	8.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	200
93	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	25
94	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	50
95	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	100
96	9.0	H ₂ O ₂	NaOH	PACl	200
97	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	25
98	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	50
99	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	100
100	6.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	200
101	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	25
102	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	50
103	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	100
104	7.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	200
105	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	25
106	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	50
107	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	100
108	8.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	200
109	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	25
110	9.0	Ca(OCl) ₂	NaOH	PACl	50

ตารางที่ จ-4. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยยั้งตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยยั้งตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
113	6.0	O ₂	NaOH	PACl	25
114	6.0	O ₂	NaOH	PACl	50
115	6.0	O ₂	NaOH	PACl	100
116	6.0	O ₂	NaOH	PACl	200
117	7.0	O ₂	NaOH	PACl	25
118	7.0	O ₂	NaOH	PACl	50
119	7.0	O ₂	NaOH	PACl	100
120	7.0	O ₂	NaOH	PACl	200
121	8.0	O ₂	NaOH	PACl	25
122	8.0	O ₂	NaOH	PACl	50
123	8.0	O ₂	NaOH	PACl	100
124	8.0	O ₂	NaOH	PACl	200
125	9.0	O ₂	NaOH	PACl	25
126	9.0	O ₂	NaOH	PACl	50
127	9.0	O ₂	NaOH	PACl	100
128	9.0	O ₂	NaOH	PACl	200
129	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
130	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
131	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
132	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
133	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
134	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
135	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
136	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
137	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
138	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
139	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
140	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
141	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
142	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
143	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
144	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
145	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
146	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
147	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100

ตารางที่ จ-4. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับที่เอช	ออกซิไดซิง เอเจนท์	ตัวช่วย ตกตะกอน	สารช่วยยี้ ตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยยี้ ตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
150	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
151	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
152	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
153	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
154	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
155	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
156	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
157	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
158	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
159	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
160	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
161	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
162	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
163	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
164	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
165	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
166	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
167	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
168	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
169	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
170	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
171	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
172	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
173	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
174	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
175	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
176	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
177	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
178	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
179	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
180	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
181	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
182	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
183	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
184	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200

ตารางที่ จ-4. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับพีเอช	ออกซิไดซิงเอเจนท์	ตัวช่วยตกตะกอน	สารช่วยยั้งตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยยั้งตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
187	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
188	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
189	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	25
190	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	50
191	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	100
192	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	สารส้ม	200
193	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	25
194	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	50
195	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	100
196	6.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	200
197	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	25
198	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	50
199	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	100
200	7.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	200
201	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	25
202	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	50
203	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	100
204	8.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	200
205	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	25
206	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	50
207	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	100
208	9.0	KMnO ₄	Ca(OH) ₂	PACl	200
209	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
210	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
211	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
212	6.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
213	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
214	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
215	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
216	7.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
217	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
218	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
219	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
220	8.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
221	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25

ตารางที่ จ-4. (ต่อ)

การทดสอบที่	ระดับที่เอช	ออกซิไดซิง เอเจนท์	ตัวช่วย ตกตะกอน	สารช่วยยี้ ตะกอนรวมตัว	ปริมาณสารช่วยยี้ ตะกอนรวมตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
224	9.0	H ₂ O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
225	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
226	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
227	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
228	6.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
229	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
230	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
231	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
232	7.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
233	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
234	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
235	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
236	8.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
237	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
238	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
239	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
240	9.0	Ca(OCl) ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
241	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
242	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
243	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
244	6.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
245	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
246	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
247	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
248	7.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
249	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
250	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
251	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
252	8.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200
253	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	25
254	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	50
255	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	100
256	9.0	O ₂	Ca(OH) ₂	PACl	200

ภาคผนวก จ.
ตารางแสดงผลการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 4

ตารางที่ จ-1 แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบตามวิธีดำเนินการในบทที่ 3 ข้อ 3.3.1

(ดูรายละเอียดของสภาวะการทดสอบใน ตารางที่ จ-1 ภาคผนวก จ)

การทดสอบ ที่	ระดับพีเอช หลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการ กำจัดเหล็ก (%)
1	3.0	-	274.19	99.76
2	3.0	-	276.10	99.76
3	3.6	-	150.48	99.87
4	7.4	203.24	0.66	99.99
5	2.9	-	277.58	99.76
6	2.7	-	276.74	99.76
7	3.5	-	146.79	99.87
8	8.1	1059.74	0.05	99.99

ตารางที่ จ-2 แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบตามวิธีดำเนินการในบทที่ 3 ข้อ 3.3.2

(ดูรายละเอียดของสภาวะการทดสอบใน ตารางที่ จ-2 ภาคผนวก จ)

การทดสอบ ที่	ระดับพีเอช หลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการ กำจัดเหล็ก (%)
1	6.1	46.45	0.00	100.00
2	7.1	106.46	0.04	99.99
3	7.9	604.88	0.00	99.99
4	9.1	508.10	0.07	99.99
5	6.0	43.55	0.00	100.00
6	7.0	116.14	0.00	100.00
7	8.2	474.22	0.00	100.00
8	8.8	2646.93	0.00	100.00
9	6.1	725.85	0.00	99.99
10	7.0	745.21	0.00	99.99
11	8.0	1052.48	0.00	99.99
12	9.2	2717.10	0.11	99.99
13	6.2	47.42	0.04	99.99
14	6.8	56.13	0.76	99.99

ตารางที่ จ-2. (ต่อ)

การทดสอบ ที่	ระดับพีเอช หลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการ กำจัดเหล็ก (%)
15	8.0	429.70	0.03	99.99
16	8.7	2064.21	0.04	99.99
17	6.3	72.59	0.05	99.99
18	7.2	203.24	0.00	100.00
19	8.3	1306.53	0.11	99.99
20	9.1	6485.60	0.03	99.99
21	6.4	75.00	0.04	99.99
22	7.3	316.95	0.03	99.99
23	8.2	450.03	0.08	99.99
24	9.0	1742.34	0.22	99.99
25	6.1	471.80	0.14	99.99
26	7.1	881.91	4.58	99.99
27	8.1	1589.61	0.00	100.00
28	9.0	3384.34	0.14	99.99
29	6.5	28.07	0.07	99.99
30	7.1	187.11	0.04	99.99
31	8.0	835.53	0.02	99.99
32	9.0	5943.39	0.00	100.00

ตารางที่ จ-3 แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทดสอบตามวิธีดำเนินการในบทที่ 3 ข้อ 3.3.3

(ดูรายละเอียดของสภาวะการทดสอบใน ตารางที่ จ-3 ภาคผนวก จ)

การทดสอบ ที่	ระดับพีเอช หลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการ กำจัดเหล็ก (%)
1	5.3	16.94	0.04	99.99
2	6.3	29.03	0.08	99.99
3	7.5	91.13	0.00	99.99
4	8.7	856.50	0.00	100.00
5	4.5	-	0.00	100.00
6	5.8	24.20	0.20	99.99
7	7.7	306.47	0.00	100.00
8	9.0	609.71	0.00	100.00
9	5.3	70.97	0.31	99.99

ตารางที่ ๓-3. (ต่อ)

การทดสอบ ที่	ระดับพีเอช หลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการ กำจัดเหล็ก (%)
10	6.4	515.35	0.17	99.99
11	7.6	714.96	0.05	99.99
12	9.0	3019.54	0.12	99.99
13	4.3	-	2.36	99.99
14	4.4	-	1.64	99.99
15	4.7	-	0.35	99.99
16	8.4	1024.42	0.00	100.00
17	6.1	73.39	0.14	99.99
18	7.0	106.46	0.01	99.99
19	8.0	609.71	0.10	99.99
20	9.0	637.54	0.10	99.99
21	6.3	70.17	0.09	99.99
22	6.9	372.60	0.06	99.99
23	7.9	508.10	0.05	99.99
24	8.9	1800.47	0.28	99.99
25	6.2	638.75	0.07	99.99
26	6.8	834.73	0.10	99.99
27	7.8	1161.60	0.06	99.99
28	8.9	5210.00	0.06	99.99
29	4.2	-	5.09	99.99
30	4.3	-	3.47	99.99
31	4.7	-	0.48	99.99
32	8.5	900.05	0.18	99.99
33	5.7	67.75	0.06	99.99
34	6.8	62.91	0.00	100.00
35	7.8	373.81	0.14	99.99
36	9.0	2047.26	0.06	99.99
37	5.7	22.58	0.08	99.99
38	6.7	38.71	0.05	99.99
39	7.9	301.23	0.02	99.99
40	9.0	2251.74	0.04	99.99
41	6.2	377.44	0.08	99.99
42	6.7	389.54	0.04	99.99
43	7.9	747.63	0.06	99.99

ตารางที่ ๓-3. (ต่อ)

การทดสอบ ที่	ระดับพีเอช หลังทดสอบ	ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ / L.)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการ กำจัดเหล็ก (%)
44	9.0	3697.65	0.11	99.99
45	5.0	21.78	2.84	99.99
46	6.0	19.36	1.05	99.99
47	7.4	140.33	0.04	99.99
48	8.4	1248.66	0.10	99.99
49	6.8	111.30	0.08	99.99
50	7.3	183.88	0.41	99.99
51	8.1	581.89	0.25	99.99
52	8.9	1865.43	0.66	99.99
53	6.7	84.68	0.57	99.99
54	7.4	220.17	0.28	99.99
55	7.7	314.54	0.04	99.99
56	8.8	2690.97	0.12	99.99
57	6.3	275.82	19.61	99.97
58	7.4	725.85	0.08	99.99
59	8.0	1154.10	0.13	99.99
60	9.0	4496.19	0.17	99.99
61	5.8	19.36	1.22	99.99
62	6.8	61.29	0.07	99.99
63	7.6	358.09	0.05	99.99
64	8.8	2378.79	0.02	99.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-4 แสดงการอ่านค่าปริมาตรตะกอนในเวลาต่างๆ เมื่อใช้สารช่วยให้ตะกอนรวมตัวในปริมาณต่างๆกันตามวิธีการทดสอบ บทที่ 3

การทดสอบที่	ปริมาณตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1	200	60.0	59.0	59.0	59.0	58.0	58.0	57.0	57.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	53.5	53.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	51.5
2	200	60.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.0	49.5	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	45.0
3	200	59.0	53.0	53.0	52.5	51.0	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	46.5	46.0
4	200	60.0	59.0	58.0	57.5	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.5	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5
5	200	58.5	57.0	55.0	54.0	52.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0	43.0	42.5	42.5	42.0	42.0
6	200	58.0	56.0	54.0	52.0	49.5	48.0	47.0	46.0	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
7	200	59.5	57.5	55.0	53.0	51.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	45.0	45.0	45.0	45.0
8	200	59.0	58.5	58.0	57.0	56.0	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	52.0	52.0	51.5	49.0	48.5	48.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.0
9	200	76.0	75.0	75.0	73.0	72.0	71.0	70.0	69.0	67.5	67.0	65.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	61.0	60.0	60.0	60.0	60.0
10	200	76.5	75.0	74.0	72.0	70.0	69.0	67.5	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	62.0	61.0	60.5	60.0	60.0	59.5	59.5	59.0	59.0
11	200	75.5	76.0	74.0	72.0	70.0	68.0	66.0	65.0	63.5	62.5	62.0	61.0	60.0	59.5	59.0	59.0	58.5	58.0	58.0	58.0	57.5
12	200	79.0	79.0	79.0	78.5	78.5	78.5	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	77.5	77.5	77.5	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
13	200	56.0	55.5	53.5	49.0	45.5	40.0	32.0	32.0	28.0	26.0	25.0	24.0	23.0	23.0	22.0	22.0	21.5	21.0	21.0	20.0	20.0
14	200	56.0	55.5	55.0	55.0	55.0	54.5	54.0	54.0	54.0	53.5	53.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0
15	200	60.0	55.0	51.5	48.0	44.5	41.0	38.0	36.0	33.0	31.0	29.5	28.0	26.5	25.0	24.5	23.5	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5
16	200	56.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	51.5	51.0	50.5	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0	48.0	48.0	47.5	47.5	47.0	47.0
17	200	65.0	55.0	52.0	49.0	47.0	46.5	45.0	44.0	43.5	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	42.5	42.5	42.5	42.5	42.0	42.0
18	200	65.0	54.5	48.0	46.0	44.5	44.0	43.0	43.0	43.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
19	200	65.5	56.0	53.0	50.5	49.0	48.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.5

ตารางที่ ๓-4 (ต่อ)																						
การทดสอบที่	ปริมาณตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
20	200	67.0	66.0	63.5	61.0	59.5	57.0	56.0	54.0	53.0	51.5	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.5	48.5	48.0	48.0	48.0
21	200	60.5	54.0	52.0	51.5	49.0	47.5	47.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
22	200	60.5	58.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
23	200	59.5	59.5	59.0	59.0	58.5	58.0	58.0	58.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.0
24	200	60.0	59.0	59.0	58.0	57.0	57.0	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	53.0	52.5	52.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0
25	200	77.5	68.5	62.0	58.0	55.0	52.0	52.0	51.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
26	200	77.5	71.0	68.0	65.0	63.0	62.0	60.5	59.0	57.5	56.0	55.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	50.5
27	200	78.0	58.0	52.0	48.0	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
28	200	79.5	75.0	72.0	70.5	68.5	66.5	65.0	63.0	61.0	59.5	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	52.0
29	200	55.0	53.0	50.0	48.5	47.0	45.0	44.0	42.5	41.0	40.0	39.0	38.5	37.5	37.0	36.5	36.0	35.5	35.0	35.0	34.5	34.0
30	200	58.0	58.0	56.5	55.0	54.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.0	43.0	42.0	41.5	41.0	40.0	39.5	39.0
31	200	56.0	53.0	50.0	48.5	47.0	46.0	45.5	44.5	44.0	43.0	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	40.0	40.0	39.5
32	200	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0	42.5	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.5
33	200	61.0	60.5	59.5	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0
34	200	61.0	60.0	58.0	57.5	56.0	55.0	54.0	53.0	52.5	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0
35	200	61.0	61.0	60.0	59.0	58.0	57.0	56.5	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.5	50.0	50.0
36	200	62.0	61.5	61.0	60.0	58.5	57.0	56.5	55.5	55.0	54.0	53.5	52.5	52.0	52.0	51.0	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0	50.0
37	200	58.5	58.0	57.0	56.0	54.5	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5
38	200	58.5	59.5	58.5	58.5	58.0	57.5	57.0	57.0	56.5	56.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	54.0	54.0	53.5	53.5	53.0	53.0
39	200	59.0	58.5	58.0	58.0	57.0	56.0	55.5	55.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓-4 (ต่อ)																						
การทดสอบที่	ปริมาณตะกอนรวม	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
40	200	59.5	59.0	58.0	57.0	56.0	55.5	55.0	54.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0
41	200	80.0	77.5	76.5	75.5	75.0	74.0	73.0	72.0	71.5	71.0	70.0	70.0	69.0	68.5	68.0	67.0	67.0	66.0	66.0	65.0	65.0
42	200	75.5	73.5	74.0	73.5	72.0	71.0	70.0	69.0	69.0	68.0	67.0	66.5	66.0	65.0	64.5	64.0	63.0	63.0	62.0	61.5	61.0
43	200	75.0	74.0	74.0	73.0	71.0	70.0	69.0	68.0	67.0	66.0	65.0	64.0	63.5	63.0	62.0	61.5	61.0	60.5	60.0	60.0	59.0
44	200	76.5	76.0	74.5	73.0	72.0	71.0	70.5	70.0	69.5	69.0	68.5	68.0	67.5	67.0	67.0	66.5	66.0	66.0	66.0	65.5	65.5
45	200	54.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	51.0	49.0	48.0	46.0	44.0	42.0	40.0	38.0	35.0	33.0	32.0	31.0	31.0	30.0	29.5
46	200	51.0	51.0	49.0	47.0	44.0	40.0	37.0	34.0	30.0	27.5	26.5	26.0	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	22.0	22.0
47	200	50.5	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	49.5	49.5	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	47.5	47.5	47.5
48	200	57.0	57.0	56.5	56.0	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	52.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5
49	200	62.0	58.0	54.0	52.0	50.5	49.0	47.5	46.5	45.5	45.5	44.5	44.5	43.5	43.5	42.5	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
50	200	62.0	61.0	60.0	58.0	57.0	55.5	54.5	54.0	52.0	51.5	50.5	49.5	49.0	49.0	47.5	47.5	47.5	46.0	46.5	46.5	46.0
51	200	62.5	62.0	61.0	60.0	59.0	57.0	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	52.0	51.5	51.0	50.0	49.5	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0
52	200	62.0	62.0	61.0	60.0	59.0	58.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0
53	200	59.0	55.0	55.0	53.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	44.0	44.0	43.0	43.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5
54	200	59.0	56.0	55.0	53.5	52.0	51.0	49.5	48.5	47.5	46.5	46.0	44.0	43.5	43.0	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5	41.0	41.0
55	200	59.5	57.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.0	49.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0
56	200	59.5	58.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.5	49.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0
57	200	74.5	72.0	70.5	69.0	67.0	65.5	64.0	62.0	61.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	52.0
58	200	74.5	71.0	69.0	65.5	64.0	63.0	61.0	60.0	59.0	57.5	57.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	54.0	54.0	54.0	53.5	53.0
59	200	75.0	66.0	62.0	59.0	57.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓-4 (ต่อ)																						
การทดสอบที่	ปริมาณตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
60	200	75.5	73.0	71.5	70.0	68.0	67.0	66.0	64.5	63.5	62.0	61.0	60.0	59.0	59.0	58.0	57.5	57.0	56.5	56.0	56.0	55.5
61	200	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.5	45.5	45.0	44.0	44.0	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	39.5	39.0
62	200	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0
63	200	55.0	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5
64	200	48.5	48.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓-5. แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากการทดสอบตามวิธีการในบทที่ 3 ข้อ 3.3.4				
(ดูรายละเอียดของสภาวะการทดสอบในตารางที่ ๓-4. ภาคผนวก จ.)				
การ	ระดับที่เฝ้า	ค่าความแตกต่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ /L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
1	5.5	15.00	0.12	99.99
2	5.5	14.52	0.07	99.99
3	5.3	11.61	0.05	99.99
4	5.3	16.94	0.04	99.99
5	6.9	64.52	0.02	99.99
6	6.5	53.23	0.08	99.99
7	6.6	62.91	0.05	99.99
8	6.3	29.03	0.08	99.99
9	7.8	300.02	0.27	99.99
10	7.6	183.88	0.03	99.99
11	7.6	198.40	0.03	99.99
12	7.5	91.13	0.00	99.99
13	8.7	1528.57	0.02	99.99
14	8.7	1521.32	0.12	99.99
15	8.7	1639.08	0.12	99.99
16	8.7	856.50	0.00	100.00
17	5.2	18.39	0.00	100.00
18	5.2	16.94	0.03	99.99
19	5.0	13.71	0.00	100.00
20	4.5	-	0.00	100.00
21	6.7	43.55	0.00	100.00
22	6.4	45.97	0.09	99.99
23	5.9	25.81	0.20	99.99
24	5.8	24.20	0.20	99.99
25	7.8	246.79	0.07	99.99
26	7.9	343.57	0.29	99.99
27	7.5	169.37	0.03	99.99
28	7.7	306.47	0.00	100.00
29	9.0	2547.73	0.07	99.99
30	8.9	1857.29	0.07	99.99
31	8.8	1437.42	0.03	99.99
32	9.0	609.71	0.00	100.00
33	6.1	168.40	0.03	99.99
34	6.3	322.28	0.00	100.00

ตารางที่ ๕-5. (ต่อ)				
การ	ระดับพิษ	ค่าความเป็นด่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ / L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
36	5.3	70.97	0.32	99.99
37	6.2	307.76	0.01	99.99
38	6.2	280.66	0.00	100.00
39	6.2	304.86	0.00	100.00
40	6.4	515.35	0.17	99.99
41	7.1	312.12	0.00	99.99
42	6.8	290.34	0.00	100.00
43	6.5	314.54	0.00	100.00
44	7.6	714.96	0.05	99.99
45	8.6	1318.63	0.00	100.00
46	8.8	2043.60	0.00	100.00
47	8.5	1169.99	0.00	100.00
48	9.0	3019.54	0.12	99.99
49	4.6	-	0.91	99.99
50	4.5	-	1.44	99.99
51	4.4	-	1.76	99.99
52	4.3	-	2.36	99.99
53	5.5	-	0.32	99.99
54	4.7	-	0.44	99.99
55	4.5	-	0.90	99.99
56	4.4	-	1.64	99.99
57	7.8	300.02	0.09	99.99
58	7.7	193.56	0.02	99.99
59	7.0	69.36	0.00	99.99
60	4.7	-	0.35	99.99
61	8.7	1879.46	0.04	99.99
62	8.7	1472.92	0.01	99.99
63	8.7	1430.97	0.06	99.99
64	8.4	1024.42	0.00	100.00
65	5.4	15.97	0.00	100.00
66	6.0	26.13	0.00	100.00
67	5.1	22.26	0.00	100.00
68	5.7	67.75	0.07	99.99
69	6.8	56.62	0.00	100.00
70	6.8	59.52	0.00	100.00

ตารางที่ ๑-5. (ต่อ)				
การ	ระดับที่ขอ	ค่าความเป็นด่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ / L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
73	7.8	275.82	0.00	100.00
74	7.8	280.66	0.00	100.00
75	7.4	116.14	0.00	100.00
76	7.8	373.81	0.14	99.99
77	8.5	1132.33	0.00	100.00
78	8.8	2018.22	0.00	100.00
79	8.2	722.22	0.00	100.00
80	9.0	2047.26	0.07	99.99
81	6.0	48.39	0.00	100.00
82	5.5	26.13	0.00	100.00
83	5.5	26.13	0.00	100.00
84	5.7	22.58	0.08	99.99
85	7.1	116.14	0.00	100.00
86	6.7	72.59	0.00	100.00
87	6.7	62.91	0.00	100.00
88	6.7	38.71	0.05	99.99
89	7.9	382.28	0.00	100.00
90	7.4	191.14	0.00	100.00
91	7.6	214.13	0.00	100.00
92	7.9	301.23	0.02	99.99
93	9.0	3217.34	0.00	100.00
94	9.1	3332.28	0.00	100.00
95	8.7	1422.91	0.00	100.00
96	9.0	2251.74	0.05	99.99
97	5.0	18.63	82.42	99.90
98	6.0	162.91	0.08	99.99
99	6.0	136.46	0.00	100.00
100	6.2	377.44	0.08	99.99
101	6.8	344.05	0.00	100.00
102	6.7	345.50	0.00	100.00
103	6.6	313.57	0.00	100.00
104	6.7	389.54	0.05	99.99
105	7.6	420.99	0.00	100.00
106	7.9	624.23	0.00	100.00
107	7.7	479.06	0.00	100.00

ตารางที่ ๑-5. (ต่อ)				
การ	ระดับพิษ	ค่าความเป็นด่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ /L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
110	9.1	3087.81	0.00	100.00
111	8.7	1437.38	0.00	100.00
112	9.0	3697.65	0.12	99.99
113	6.4	36.78	0.26	99.99
114	5.5	17.42	0.59	99.99
115	5.2	15.48	1.29	99.99
116	5.0	21.78	2.84	99.99
117	6.8	56.46	0.05	99.99
118	6.6	37.74	0.05	99.99
119	6.3	25.65	0.19	99.99
120	6.0	19.36	1.05	99.99
121	7.7	303.24	0.02	99.99
122	7.6	206.14	0.04	99.99
123	7.6	186.30	0.00	100.00
124	7.4	140.33	0.04	99.99
125	8.5	1343.87	0.01	99.99
126	8.5	1134.92	0.00	100.00
127	8.5	1321.26	0.00	100.00
128	8.4	1248.66	0.10	99.99
129	6.6	64.52	0.00	100.00
130	6.6	61.29	0.00	100.00
131	6.5	58.87	0.00	100.00
132	6.1	73.39	0.14	99.99
133	7.3	217.76	0.00	100.00
134	7.3	208.08	0.00	100.00
135	7.3	198.40	0.00	100.00
136	7.0	106.46	0.01	99.99
137	8.2	1258.32	0.00	100.00
138	8.3	1258.34	0.00	100.00
139	8.1	648.51	0.00	100.00
140	8.0	609.71	0.10	99.99
141	9.0	4493.85	0.00	100.00
142	9.2	5662.71	0.00	100.00
143	9.0	3638.39	0.00	100.00
144	9.0	637.54	0.09	99.99

ตารางที่ ๕-5. (ต่อ)				
การ	ระดับพิษ	ค่าความเป็นด่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ / L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
147	6.7	91.94	0.00	100.00
148	6.3	70.17	0.09	99.99
149	7.3	227.43	0.00	100.00
150	7.6	387.12	0.00	100.00
151	7.2	237.11	0.00	100.00
152	6.9	372.60	0.06	99.99
153	8.3	1407.56	0.00	100.00
154	8.2	1087.33	0.00	100.00
155	8.5	1955.28	0.00	100.00
156	7.9	508.10	0.05	99.99
157	9.1	4438.19	0.00	100.00
158	8.8	2877.30	0.00	100.00
159	8.9	3475.04	0.00	100.00
160	8.9	1800.47	0.28	99.99
161	6.1	246.79	0.53	99.99
162	6.4	496.00	0.46	99.99
163	6.2	309.70	0.17	99.99
164	6.2	638.75	0.07	99.99
165	7.3	677.46	0.09	99.99
166	6.8	614.55	0.19	99.99
167	6.9	619.39	0.23	99.99
168	6.8	834.73	0.10	99.99
169	8.0	1016.19	0.04	99.99
170	8.3	1611.39	0.24	99.99
171	8.1	1137.17	0.62	99.99
172	7.8	1161.60	0.06	99.99
173	9.1	5127.84	0.15	99.99
174	9.2	5655.41	0.00	99.99
175	9.1	5410.95	0.00	99.99
176	8.9	5210.00	0.06	99.99
177	5.8	14.52	0.00	99.99
178	4.7	-	0.50	99.99
179	4.4	-	1.88	99.99
180	4.2	-	5.09	99.99
181	6.5	38.71	0.03	99.99

ตารางที่ ๑-5. (ต่อ)				
การ	ระดับพิษ	ค่าความเป็นด่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ / L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
184	4.3	-	3.47	99.99
185	7.7	307.76	0.03	99.99
186	7.5	270.98	0.02	99.99
187	7.2	159.69	0.04	99.99
188	4.7	-	0.48	99.99
189	8.6	2402.17	0.00	100.00
190	8.6	2348.14	0.03	99.99
191	8.6	2227.95	0.04	99.99
192	8.5	900.05	0.18	99.99
193	6.7	90.33	0.00	100.00
194	6.8	95.17	0.00	100.00
195	6.7	87.91	0.00	100.00
196	6.8	111.30	0.08	99.99
197	7.6	278.24	0.01	99.99
198	7.4	249.69	0.00	100.00
199	7.5	246.79	0.00	100.00
200	7.3	183.88	0.41	99.99
201	8.0	653.27	0.00	100.00
202	8.2	901.80	0.00	100.00
203	8.3	963.10	0.00	100.00
204	8.1	581.89	0.25	99.99
205	9.1	3104.82	0.00	100.00
206	9.2	3287.93	0.00	100.00
207	9.1	3046.73	0.00	100.00
208	8.9	1865.43	0.66	99.99
209	6.6	65.33	0.00	100.00
210	6.8	137.91	0.00	100.00
211	6.7	133.07	0.00	100.00
212	6.7	84.68	0.57	99.99
213	7.4	290.34	0.00	100.00
214	7.4	275.82	0.00	100.00
215	7.4	275.82	0.00	100.00
216	7.4	220.17	0.28	99.99
217	8.3	1743.93	0.00	100.00
218	8.3	1562.04	0.00	100.00

ตารางที่ ๓-5. (ต่อ)				
การ	ระดับพิษ	ค่าความเป็นด่าง	ปริมาณเหล็ก	ประสิทธิภาพใน
ทดสอบ	หลัง	(mg. CaCO ₃ / L)	ที่เหลือ	การกำจัดเหล็ก
ที่	ทดสอบ		(มิลลิกรัมต่อลิตร)	(%)
221	9.0	5570.76	0.00	100.00
222	9.1	7218.80	0.00	100.00
223	9.1	7050.42	0.00	100.00
224	8.8	2690.97	0.12	99.99
225	6.2	420.99	0.00	100.00
226	6.3	558.90	0.00	100.00
227	6.3	457.29	0.05	99.99
228	6.3	275.82	19.61	99.97
229	7.1	733.11	0.03	99.99
230	7.2	762.14	0.00	99.99
231	7.1	704.07	0.01	99.99
232	7.4	725.85	0.08	99.99
233	8.0	1415.41	0.04	99.99
234	8.0	1452.00	0.00	100.00
235	8.0	1452.00	0.01	99.99
236	8.0	1154.10	0.13	99.99
237	8.9	5436.36	0.01	99.99
238	9.0	5850.35	0.11	99.99
239	8.8	5387.96	0.25	99.99
240	9.0	4496.19	0.17	99.99
241	6.1	28.07	0.06	99.99
242	6.0	23.23	0.16	99.99
243	5.9	34.84	0.41	99.99
244	5.8	19.36	1.22	99.99
245	6.8	119.36	0.06	99.99
246	6.8	111.30	0.05	99.99
247	6.7	82.26	0.04	99.99
248	6.8	61.29	0.07	99.99
249	7.7	488.74	0.03	99.99
250	7.7	464.54	0.02	99.99
251	7.7	445.19	0.01	99.99
252	7.6	358.09	0.05	99.99
253	8.7	2771.62	0.01	99.99
254	8.8	2623.20	0.01	99.99
255	8.8	2569.97	0.02	99.99

ตารางที่ ๑-6 แสดงการอ่านค่าปริมาตรตะกอนในเวลาต่างๆ เมื่อใช้ปริมาตรตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัวในปริมาณต่างๆกัน																						
หลังจากทดสอบตามวิธีดำเนินการในบทที่ 3 ข้อ 3.3.4																						
การ	ปริมาณตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบที่	ตะกอนรวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1	25	60.5	60.0	59.0	58.0	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0
2	50	60.5	59.0	57.5	56.0	54.5	53.5	52.0	51.5	50.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5
3	100	60.5	59.0	58.0	57.0	56.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	49.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5
4	200	60.0	59.0	59.0	58.0	58.0	57.0	57.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	53.5	53.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	51.5
5	25	60.5	60.0	59.0	57.0	55.0	54.0	52.5	51.5	51.0	50.0	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0
6	50	60.5	58.5	55.0	53.0	51.5	50.0	49.5	49.0	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0
7	100	60.5	58.0	56.0	54.0	53.0	51.5	50.0	49.5	49.0	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
8	200	60.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.0	49.5	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	45.0
9	25	60.0	60.0	58.0	57.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	50.0	49.0	48.5	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5
10	50	60.0	60.0	58.0	56.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	50.0	49.5	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
11	100	60.0	59.5	58.0	57.0	55.0	53.5	52.5	51.5	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.5	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.5
12	200	59.0	53.0	53.0	52.5	51.0	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	46.0
13	25	60.5	59.0	56.5	55.0	53.0	52.0	50.5	49.0	48.5	47.5	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
14	50	61.0	60.0	59.0	57.5	56.0	55.0	54.0	53.0	51.0	51.0	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0
15	100	61.0	60.5	59.0	58.0	55.5	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0
16	200	60.0	59.5	58.0	57.5	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.5	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5
17	25	57.5	56.5	55.0	54.0	52.0	51.0	50.5	49.5	49.0	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0
18	50	57.5	57.5	56.5	55.0	54.0	53.5	53.0	52.0	51.0	51.0	50.0	50.0	49.5	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0
19	100	58.0	58.0	57.0	56.0	54.5	54.0	52.0	52.0	51.0	50.0	50.0	49.0	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.5

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
20	200	58.5	57.0	55.0	54.0	52.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0	43.0	42.5	42.5	42.0	42.0
21	25	57.5	56.0	54.0	53.0	51.5	50.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.0
22	50	57.5	54.5	52.0	51.0	49.5	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5
23	100	57.5	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.0	50.0	49.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
24	200	58.0	56.0	54.0	52.0	49.5	48.0	47.0	46.0	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
25	25	57.5	56.0	53.5	52.0	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	47.0	47.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0
26	50	57.5	57.0	55.0	54.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.5	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
27	100	57.5	55.0	52.0	50.0	49.0	48.0	47.0	47.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0
28	200	59.5	57.5	55.0	53.0	51.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	45.0	45.0	45.0	45.0
29	25	57.5	56.0	54.0	52.5	51.0	49.0	48.0	47.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0
30	50	58.0	57.0	55.5	54.0	53.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0
31	100	57.5	56.0	54.0	52.5	51.0	49.5	48.5	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.0	44.0
32	200	59.0	58.5	58.0	57.0	56.0	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	52.0	52.0	51.5	49.0	48.5	48.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.0
33	25	75.0	71.0	68.0	66.0	64.0	62.0	60.0	59.0	58.0	56.5	56.0	55.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.0	52.0	52.0	51.5	51.0
34	50	75.0	74.0	72.0	70.0	68.0	66.0	65.0	63.5	62.0	61.0	60.0	59.0	58.0	57.5	57.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	54.0
35	100	74.5	73.0	71.0	67.5	65.0	63.5	62.0	61.0	60.0	58.0	57.5	57.0	56.0	55.5	55.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	52.0
36	200	76.0	75.0	75.0	73.0	72.0	71.0	70.0	69.0	67.5	67.0	65.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	61.0	60.0	60.0	60.0	60.0
37	25	74.5	74.0	72.0	70.5	70.0	69.0	68.5	68.0	67.0	67.0	66.0	66.0	66.0	65.5	65.0	64.5	64.0	64.0	63.5	63.5	63.0
38	50	75.0	74.5	74.0	73.5	72.5	72.0	71.5	71.0	70.5	70.0	69.0	69.0	68.5	68.0	67.5	67.5	67.0	66.5	66.5	66.0	65.5
39	100	75.0	73.0	71.0	70.0	69.0	67.5	66.5	65.0	64.0	64.0	63.0	62.0	61.5	61.0	60.0	60.0	59.0	59.0	58.0	58.0	58.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
40	200	76.5	75.0	74.0	72.0	70.0	69.0	67.5	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	62.0	61.0	60.5	60.0	60.0	59.5	59.5	59.0	59.0
41	25	76.0	75.0	75.5	75.0	74.5	74.0	73.5	73.0	72.5	72.0	72.0	71.0	71.0	71.0	71.0	70.5	70.5	70.5	70.0	70.0	70.0
42	50	75.0	75.0	74.0	73.0	73.0	72.0	71.0	71.0	70.0	70.0	69.5	69.5	69.0	69.0	68.5	68.0	68.0	68.0	68.0	67.0	67.0
43	100	75.0	74.5	74.0	73.5	73.0	72.5	72.0	72.0	71.0	71.0	71.0	70.5	70.0	70.0	70.0	69.0	69.0	69.0	68.5	68.5	68.0
44	200	76.0	75.5	74.0	72.0	70.0	68.0	66.0	65.0	63.5	62.5	62.0	61.0	60.0	59.5	59.0	59.0	58.5	58.0	58.0	58.0	57.5
45	25	75.5	75.0	75.0	74.0	74.0	74.0	74.0	73.5	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	72.0
46	50	75.5	75.0	74.0	74.0	73.5	73.0	72.5	72.0	72.0	72.0	71.5	71.0	71.0	71.0	71.0	70.5	70.5	70.5	70.0	70.0	70.0
47	100	75.0	75.0	74.0	74.0	73.5	73.0	73.0	72.5	72.5	72.0	72.0	72.0	72.0	71.5	71.5	71.5	71.5	71.5	71.0	71.0	71.0
48	200	79.0	79.0	79.0	78.5	78.5	78.5	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0	77.5	77.5	77.5	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
49	25	53.0	52.0	48.0	43.0	39.0	34.0	30.0	25.0	24.0	23.0	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	20.0	19.0	19.0	19.0	18.5	18.0
50	50	43.0	42.0	40.5	38.0	35.0	31.0	28.0	24.5	20.5	19.0	18.5	18.0	17.5	17.0	17.0	16.0	16.0	16.0	15.5	15.0	15.0
51	100	48.0	48.0	45.5	41.0	38.0	33.0	30.0	25.0	23.0	22.0	21.0	20.5	20.0	19.5	19.0	18.5	18.0	18.0	17.5	17.5	17.0
52	200	56.0	55.5	53.5	49.0	45.5	40.0	32.0	32.0	28.0	26.0	25.0	24.0	23.0	23.0	22.0	22.0	21.5	21.0	21.0	20.0	20.0
53	25	57.0	56.5	56.0	55.5	55.0	55.0	53.5	53.0	52.0	50.5	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.5
54	50	57.0	55.0	55.0	54.5	54.0	54.0	53.0	53.0	52.0	51.5	51.0	50.5	49.5	49.0	49.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	44.5
55	100	56.0	55.0	55.0	54.0	54.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0
56	200	56.0	55.5	55.0	55.0	55.0	54.5	54.0	54.0	54.0	53.5	53.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0
57	25	58.0	29.0	21.5	19.5	18.0	17.5	17.0	16.0	15.5	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0	13.5	13.5	13.0	13.0	13.0	12.5	12.5
58	50	58.0	36.0	25.0	21.0	19.0	18.0	17.0	16.5	16.0	15.5	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0	13.5	13.0	13.0	13.0	13.0	12.5
59	100	60.0	36.0	24.0	21.5	20.0	18.5	17.5	17.0	16.0	16.0	15.5	15.0	14.5	14.0	14.0	14.0	13.5	13.5	13.0	13.0	13.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
60	200	60.0	55.0	51.5	48.0	44.5	41.0	38.0	36.0	33.0	31.0	29.5	28.0	26.5	25.0	24.5	23.5	22.5	22.0	21.5	21.0	20.5
61	25	55.0	55.0	54.5	54.5	54.0	53.5	53.0	52.5	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	49.5	49.0	49.0
62	50	58.0	57.5	57.0	57.0	56.5	56.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.5	52.0	51.5	51.5	51.0
63	100	54.0	53.5	53.0	52.5	51.5	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	44.5	44.0	43.5
64	200	56.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	51.5	51.0	50.5	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0	48.0	48.0	47.5	47.5	47.0	47.0
65	25	62.0	61.0	59.0	57.5	55.0	54.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.5	44.0	44.0	43.5	43.0
66	50	60.0	59.0	58.0	56.0	55.0	53.5	52.5	52.0	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5
67	100	60.5	59.5	57.5	56.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0
68	200	61.0	60.5	59.5	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0
69	25	60.0	59.0	57.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0
70	50	60.0	60.0	58.0	57.0	56.0	54.0	53.0	52.5	51.5	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	47.0	47.0	46.5	46.5	46.0
71	100	60.0	59.0	57.5	56.0	54.5	53.5	52.5	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0
72	200	61.0	60.0	58.0	57.5	56.0	55.0	54.0	53.0	52.5	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0
73	25	60.0	59.0	58.5	57.5	56.5	55.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	47.0	47.0	47.0	46.0	46.0	46.0
74	50	60.0	58.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.0	50.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5
75	100	60.0	58.0	57.0	55.0	54.0	52.5	51.5	51.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	46.0	46.0
76	200	61.0	61.0	60.0	59.0	58.0	57.0	56.5	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.5	50.0	50.0
77	25	60.0	59.5	58.0	56.0	55.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5	46.0	46.0
78	50	60.0	60.0	59.0	57.5	57.0	55.0	54.0	53.5	52.5	51.5	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0
79	100	60.0	59.0	57.5	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
80	200	62.0	61.5	61.0	60.0	58.5	57.0	56.5	55.5	55.0	54.0	53.5	52.5	52.0	52.0	51.0	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0	50.0
81	25	56.5	55.5	53.0	51.0	50.0	48.5	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.5	44.0	44.0
82	50	56.5	56.0	54.0	53.0	51.0	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
83	100	57.0	56.0	55.0	54.5	52.0	51.5	51.0	50.0	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0
84	200	58.5	58.0	57.0	56.0	54.5	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5
85	25	57.0	57.0	55.0	53.0	52.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
86	50	57.0	55.5	52.0	49.5	47.0	46.0	45.0	44.0	43.5	43.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5	41.0
87	100	57.0	56.0	54.0	52.5	51.5	51.0	50.0	49.0	48.0	48.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0
88	200	59.5	58.5	58.5	58.5	58.0	57.5	57.0	57.0	56.5	56.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	54.0	54.0	53.5	53.5	53.0	53.0
89	25	57.0	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	50.5	50.0	49.0	48.0	47.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0	43.5
90	50	57.0	56.0	55.5	54.0	53.0	51.5	50.5	50.0	48.5	47.5	47.0	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	42.5
91	100	57.0	56.0	54.0	51.5	50.0	48.5	47.0	46.0	45.0	44.0	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	41.0	41.0	40.5	40.5	40.0
92	200	59.0	58.5	58.0	58.0	57.0	56.0	55.5	55.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0
93	25	57.0	56.0	54.0	52.0	51.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0
94	50	57.0	57.0	55.0	54.0	52.0	51.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	42.5	42.5	42.0
95	100	57.5	56.5	55.5	54.0	52.5	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0	43.5	43.5	43.0	43.0
96	200	59.5	59.0	58.0	57.0	56.0	55.5	55.0	54.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0
97	25	71.0	71.0	70.0	69.0	68.5	67.5	67.0	66.0	65.0	64.5	64.0	63.0	62.0	61.5	61.0	60.0	59.0	58.5	58.0	57.0	56.5
98	50	71.0	71.0	70.0	69.0	67.0	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	60.0	59.0	59.0	58.0	57.0	57.0	56.0	56.0	55.0	55.0
99	100	71.0	71.0	70.0	69.0	68.0	67.0	66.5	66.5	65.0	64.0	63.0	63.0	62.0	61.0	60.5	60.0	59.5	59.0	58.0	58.0	57.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ	ตะกอน	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
ที่	รวม																					
100	200	80.0	77.5	76.5	75.5	75.0	74.0	73.0	72.0	71.5	71.0	70.0	70.0	69.0	68.5	68.0	67.0	67.0	66.0	66.0	65.0	65.0
101	25	71.0	70.5	69.0	68.0	67.0	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	60.5	59.5	59.0	58.0	58.0	57.0	57.0	56.0	55.5	55.0
102	50	71.0	70.5	69.5	68.0	67.0	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	60.0	59.0	58.5	58.0	57.0	57.0	56.0	56.0	55.0	55.0
103	100	71.0	71.0	70.0	69.0	68.0	67.0	66.0	65.5	65.0	64.0	63.0	62.5	62.0	61.0	60.5	60.0	59.5	59.0	58.5	58.0	57.5
104	200	75.5	75.5	74.0	73.5	72.0	71.0	70.0	69.0	69.0	68.0	67.0	66.5	66.0	65.0	64.5	64.0	63.0	63.0	62.0	61.5	61.0
105	25	71.0	70.5	69.5	69.0	68.0	67.0	66.0	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.5	61.0	60.0	60.0	59.0	58.5	58.0	57.5	57.0
106	50	71.5	71.0	70.0	68.0	66.5	65.5	65.0	63.5	62.5	61.5	61.0	60.0	59.5	59.0	58.0	57.5	57.0	56.5	56.0	55.5	55.0
107	100	71.0	71.5	70.5	69.0	68.0	67.0	66.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	60.5	60.0	59.0	58.5	58.0	57.5	57.0	56.5	56.0
108	200	75.0	74.0	74.0	73.0	71.0	70.0	69.0	68.0	67.0	66.0	65.0	64.0	63.5	63.0	62.0	61.5	61.0	60.5	60.0	60.0	59.0
109	25	72.0	71.5	71.0	70.0	69.5	68.5	68.0	67.0	66.0	66.0	65.0	65.0	64.0	64.0	63.5	63.0	63.0	62.5	62.5	62.0	62.0
110	50	71.5	70.0	69.0	68.0	67.5	67.0	66.0	65.5	65.0	64.0	64.0	63.0	63.0	62.5	62.0	62.0	61.5	61.5	61.0	61.0	61.0
111	100	72.0	71.5	71.0	70.5	69.5	69.0	68.5	68.0	67.5	67.0	66.0	65.5	65.0	64.4	64.5	64.0	63.5	63.0	63.0	63.0	62.5
112	200	76.5	76.0	74.5	73.0	72.0	71.0	70.5	70.0	69.5	69.0	68.5	68.0	67.5	67.0	67.0	66.5	66.0	66.0	66.0	65.5	65.5
113	25	51.0	50.0	49.5	49.0	48.0	45.0	41.0	37.0	33.0	29.0	27.0	26.0	25.0	25.0	24.0	24.0	23.0	23.0	22.5	22.0	22.0
114	50	52.0	52.0	51.5	51.0	50.0	47.0	46.0	44.0	41.0	38.0	34.0	31.0	29.5	29.5	28.0	27.0	27.0	26.0	26.0	25.5	25.0
115	100	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	51.0	50.5	49.0	47.0	45.0	42.0	39.5	36.0	33.0	31.0	30.5	29.5	29.0	28.0	28.0	27.0
116	200	54.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	51.0	49.0	48.0	46.0	44.0	42.0	40.0	38.0	35.0	33.0	32.0	31.0	31.0	30.0	29.5
117	25	56.0	52.0	40.0	32.0	26.0	24.0	23.5	21.5	21.0	20.0	19.5	19.0	19.0	18.5	18.0	17.5	17.5	17.0	17.0	16.5	16.5
118	50	56.0	54.5	50.0	43.0	36.0	29.0	28.5	26.0	25.0	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	21.0	20.5	20.0	20.0	19.5
119	100	56.0	55.0	53.5	50.0	46.0	41.5	36.5	30.5	29.0	27.5	27.0	26.0	25.5	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.5	22.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การทดสอบที่	ปริมาณตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
120	200	51.0	51.0	49.0	47.0	44.0	40.0	37.0	34.0	30.0	27.5	26.0	25.0	24.5	24.0	23.5	23.0	22.5	22.0	22.0	22.0	
121	25	48.0	47.0	46.0	45.5	44.5	44.0	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	40.5	40.0	40.0	39.5	39.0	38.5	38.0	38.0	38.0	37.5
122	50	47.0	46.5	46.0	46.0	45.0	44.5	44.0	44.0	43.0	43.0	42.5	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.5	40.0	40.0	39.5
123	100	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0
124	200	50.5	50.5	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0	49.5	49.5	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	47.5	47.5	47.5
125	25	55.0	54.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	48.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	44.0	44.0	43.0	42.0	42.0
126	50	60.0	59.5	59.0	58.0	58.0	57.0	56.5	56.0	55.0	55.0	54.0	53.5	52.5	52.0	51.5	51.0	50.0	50.0	49.0	48.5	48.0
127	100	57.0	57.0	56.5	56.0	55.5	55.0	54.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0
128	200	57.0	57.0	56.5	56.0	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	52.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5
129	25	62.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0
130	50	62.5	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0
131	100	62.5	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0
132	200	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
133	25	62.5	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
134	50	63.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
135	100	64.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
136	200	65.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5
137	25	62.5	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
138	50	62.5	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0
139	100	62.5	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
140	200	65.5	56.0	53.0	50.5	49.0	48.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.5
141	25	62.5	60.0	58.0	56.0	53.5	51.5	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
142	50	65.5	65.0	64.0	63.0	61.5	60.0	59.0	58.0	57.0	56.0	54.5	53.5	53.0	52.0	51.5	51.0	51.0	50.0	50.0	50.0	49.5
143	100	65.0	64.0	63.0	60.5	59.0	56.5	55.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0
144	200	67.0	66.0	63.5	61.0	59.5	57.0	56.0	54.0	53.0	51.5	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.5	48.5	48.0	48.0	48.0
145	25	58.5	54.0	50.0	48.0	46.0	44.0	43.0	42.0	41.0	40.5	40.0	40.0	40.0	39.5	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0
146	50	58.5	54.0	51.0	49.0	47.0	46.0	45.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	42.0	42.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
147	100	59.0	51.0	48.0	46.0	44.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.5	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.5	39.5	39.5
148	200	60.5	54.0	52.0	51.5	49.0	47.5	47.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
149	25	59.0	56.0	54.0	52.0	49.5	48.0	47.5	46.5	46.0	45.5	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
150	50	59.0	55.0	51.0	48.5	47.0	45.0	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5	41.5	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
151	100	59.0	54.0	49.5	48.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
152	200	60.5	58.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
153	25	58.5	54.0	50.0	48.5	46.5	45.0	44.0	43.0	42.0	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
154	50	59.0	56.0	53.0	51.0	49.0	47.0	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
155	100	59.0	57.0	54.5	52.0	50.0	48.5	47.0	46.0	45.0	44.5	44.0	44.0	44.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
156	200	59.5	59.5	59.0	59.0	58.5	58.0	58.0	58.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.0
157	25	59.5	57.0	54.0	51.0	50.0	48.0	47.0	45.5	44.5	44.0	43.0	43.0	43.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5
158	50	59.5	57.0	54.0	53.0	51.0	50.5	49.0	48.0	47.0	46.5	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.0	43.0	43.0	43.0
159	100	59.5	57.5	57.5	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.5	50.0	50.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
160	200	60.0	59.0	59.0	58.0	57.0	57.0	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	53.0	52.5	52.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0
161	25	72.0	64.0	59.0	56.0	52.5	50.0	49.0	47.0	46.5	46.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
162	50	72.0	61.0	56.0	52.0	49.5	47.5	46.0	45.5	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
163	100	72.0	61.5	54.0	51.0	49.0	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
164	200	77.5	68.5	62.0	58.0	55.0	52.0	52.0	51.0	49.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
165	25	72.0	65.0	61.5	58.0	55.0	53.0	51.0	50.0	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.5	47.5
166	50	72.0	62.0	56.0	54.0	49.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5
167	100	72.0	61.0	55.0	51.0	49.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.5	44.0
168	200	77.5	71.0	68.0	65.0	63.0	62.0	60.5	59.0	57.5	56.0	55.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	50.5
169	25	72.5	70.0	67.0	65.0	64.0	62.0	61.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0
170	50	72.5	68.0	65.0	63.0	60.0	58.5	57.0	55.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	52.0	52.0	51.5	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0
171	100	72.5	67.0	65.0	62.0	60.0	58.0	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	52.0	51.0	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0
172	200	78.0	58.0	52.0	48.0	48.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
173	25	73.5	66.0	62.0	59.0	57.0	54.0	53.0	51.5	50.5	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	47.5
174	50	73.0	71.5	69.5	67.5	65.0	63.5	62.0	61.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	55.0	54.0	54.0	53.0	53.0	53.0	52.5	52.0
175	100	73.0	64.5	58.0	55.0	53.0	51.5	51.0	50.5	49.5	49.0	49.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
176	200	79.5	75.0	72.0	70.5	68.5	66.5	65.0	63.0	61.0	59.5	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	52.0
177	25	58.0	51.0	47.0	45.0	43.0	41.5	41.0	40.0	39.0	38.5	38.0	37.5	37.0	37.0	36.5	36.5	36.0	36.0	36.0	35.5	35.5
178	50	57.0	53.0	49.5	48.0	46.0	44.5	43.5	42.0	41.0	40.0	39.5	38.5	38.0	37.5	37.0	36.5	36.0	36.0	35.5	35.0	35.0
179	100	55.0	52.0	48.0	46.5	45.0	43.0	42.0	40.5	39.5	38.5	38.0	37.5	36.5	36.0	36.0	35.5	35.0	35.0	34.5	34.5	34.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
180	200	55.0	53.0	50.0	48.5	47.0	45.0	44.0	42.5	41.0	40.0	39.0	38.5	37.5	37.0	36.5	36.0	35.5	35.0	35.0	34.5	34.0
181	25	53.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.5	44.0	43.0	42.0	41.0	40.5	40.0	39.0	38.5	38.0	37.0
182	50	55.0	54.5	53.0	50.5	49.0	48.0	46.5	45.0	44.0	43.0	42.0	41.0	40.5	39.5	39.0	38.0	37.5	37.0	37.0	36.0	36.0
183	100	54.0	52.5	51.0	49.0	48.5	46.0	45.0	43.5	42.5	41.5	40.5	40.0	39.0	38.0	37.5	37.0	36.0	36.0	35.5	35.0	35.0
184	200	58.0	58.0	56.5	55.0	54.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.0	43.0	42.0	41.5	41.0	40.0	39.5	39.0
185	25	51.0	51.0	50.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0	43.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.0
186	50	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.5	50.0	49.0	49.0	48.0	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.0	44.0	43.5
187	100	56.0	56.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.0	51.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.0	46.0	46.0	46.0
188	200	56.0	53.0	50.0	48.5	47.0	46.0	45.5	44.5	44.0	43.0	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	40.0	40.0	39.5
189	25	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.0	41.5	41.0	40.0	40.0	39.5	39.0	38.5	38.0	38.0	37.5	37.0	37.0	37.0
190	50	47.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.0	44.0	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	39.0	39.0	38.5	38.0	38.0
191	100	49.0	49.0	48.5	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.0	44.0	43.0	43.0	42.0	42.0	41.0	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0
192	200	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0	42.5	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.5
193	25	61.5	59.0	57.0	55.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	48.0	47.0	47.0	46.0	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
194	50	61.0	58.0	55.5	53.0	51.0	50.0	48.5	47.0	46.0	45.0	44.5	44.0	43.0	43.0	43.0	42.0	42.0	42.0	42.0	41.5	41.0
195	100	62.0	57.0	55.0	52.5	51.0	49.0	48.0	46.5	45.0	44.5	44.0	43.0	42.0	42.0	41.0	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	40.0
196	200	62.0	58.0	54.0	52.0	50.5	49.0	47.5	46.5	45.5	45.5	44.5	44.5	43.5	43.5	42.5	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
197	25	61.5	58.0	55.0	53.0	51.0	50.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
198	50	61.5	59.0	57.0	55.0	53.0	51.5	50.0	48.5	47.0	46.0	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	43.0	42.5	42.5	42.0	42.0	42.0
199	100	61.5	60.0	59.0	57.0	55.0	54.0	52.5	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.5	46.0	45.0	44.5	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖-๖ (ต่อ)																						
การทดสอบที่	ปริมาณตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
200	200	62.0	61.0	60.0	58.0	57.0	55.5	54.5	54.0	52.0	51.5	50.5	49.5	49.0	49.0	47.5	47.5	47.5	46.0	46.5	46.5	46.0
201	25	62.0	57.5	54.5	52.0	50.5	49.0	47.0	46.5	45.5	45.0	44.5	44.5	44.5	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	42.5
202	50	62.5	62.0	61.0	59.5	58.0	56.5	55.0	54.0	52.5	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0	48.0	48.0	47.5
203	100	62.0	61.0	60.0	59.0	57.0	56.0	55.0	53.0	52.0	51.0	50.5	50.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5
204	200	62.5	62.0	61.0	60.0	59.0	57.0	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	52.0	51.5	51.0	50.0	49.5	49.0	49.0	48.5	48.0	48.0
205	25	63.0	62.0	61.0	59.0	58.0	56.0	55.0	53.5	52.5	51.0	50.0	49.5	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0
206	50	63.0	62.0	60.0	58.5	56.5	54.5	53.0	51.5	50.5	49.5	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5
207	100	63.5	63.5	63.0	62.0	60.5	60.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.5	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	53.0	52.5	52.0	52.0	52.0
208	200	62.0	62.0	61.0	60.0	59.0	58.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0
209	25	57.5	54.0	51.0	48.0	47.0	45.5	44.0	43.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.5	39.0	39.0	39.0
210	50	58.5	58.0	56.0	55.5	55.0	53.5	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.5	47.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	44.5	44.0
211	100	58.5	57.0	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.5	47.0	46.0	45.5	45.0	45.0	44.0	44.0	43.0	43.0
212	200	59.0	55.0	55.0	53.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	44.0	44.0	43.0	43.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5
213	25	59.5	59.0	58.0	57.5	57.0	56.0	56.0	55.0	55.0	54.5	54.0	54.0	54.0	53.5	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	52.5	52.5
214	50	59.5	58.0	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	52.0	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0	49.5	49.5	49.0	49.0	49.0
215	100	60.0	55.0	52.5	51.0	50.0	49.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
216	200	59.0	56.0	55.0	53.5	52.0	51.0	49.5	48.5	47.5	46.5	46.0	44.0	43.5	43.0	42.0	42.0	42.0	41.5	41.5	41.0	41.0
217	25	58.5	54.0	52.0	50.5	49.0	48.0	47.5	46.0	45.0	44.0	43.5	43.0	42.5	42.5	42.0	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	41.0
218	50	59.0	56.0	54.0	53.0	52.0	50.5	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0
219	100	58.5	56.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
220	200	59.5	57.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.0	49.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0
221	25	58.5	57.0	55.5	54.0	53.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0
222	50	59.0	56.5	54.5	53.0	51.0	50.0	48.5	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	44.0	43.5	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0
223	100	59.0	56.0	55.0	53.5	52.0	51.0	50.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.0	45.5	45.5	45.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0
224	200	59.5	58.0	56.0	55.0	54.0	52.5	51.5	50.5	49.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0
225	25	72.5	65.0	54.0	50.5	48.0	47.0	46.0	46.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
226	50	73.0	58.0	52.0	48.5	47.0	46.0	45.0	45.0	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
227	100	73.0	64.0	56.5	53.0	50.5	49.0	48.0	47.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5
228	200	74.5	72.0	70.5	69.0	67.0	65.5	64.0	62.0	61.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	52.0
229	25	73.0	65.5	61.0	57.5	54.5	52.0	50.5	49.0	48.5	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	45.5	45.5
230	50	73.5	67.0	64.0	61.5	59.0	57.0	55.0	54.0	53.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	49.5	49.5	49.0	49.0	49.0
231	100	73.5	68.0	64.5	61.5	58.5	56.0	54.0	52.0	51.0	50.0	48.5	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0
232	200	74.5	71.0	69.0	65.5	64.0	63.0	61.0	60.0	59.0	57.5	57.0	56.0	55.5	55.0	55.0	54.0	54.0	54.0	54.0	53.5	53.0
233	25	73.5	64.0	59.0	55.0	52.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	45.0	45.0	45.0	44.5	44.5	44.5	44.0	44.0	44.0
234	50	73.5	69.0	66.0	63.0	61.0	59.0	57.0	56.0	55.0	54.0	53.0	53.0	53.0	52.0	52.0	52.0	52.0	51.0	51.0	51.0	51.0
235	100	73.5	70.0	68.0	66.5	64.5	63.0	61.0	60.0	58.5	57.0	56.5	55.5	55.0	54.0	54.0	53.0	53.0	53.0	53.0	52.5	52.0
236	200	75.0	66.0	62.0	59.0	57.0	55.0	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	50.0	50.0
237	25	73.5	67.0	60.0	56.0	53.0	51.0	50.0	49.0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.5
238	50	74.0	72.0	70.5	68.5	66.5	65.0	63.0	61.5	60.5	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	55.0	54.0	54.0	53.0	53.0	53.0	52.0
239	100	74.0	71.0	69.0	67.0	65.0	63.5	62.0	61.0	59.5	58.5	57.5	57.0	56.0	56.0	55.0	55.0	54.5	54.5	54.0	54.0	54.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓-๖ (ต่อ)																						
การ	ปริมาณ ตัว	ปริมาตรตะกอนที่อ่านค่าได้ (cm ³) ณ เวลาต่างๆ (นาที)																				
ทดสอบ ที่	ตะกอน รวม	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
240	200	75.5	73.0	71.5	70.0	68.0	67.0	66.0	64.5	63.5	62.0	61.0	60.0	59.0	59.0	58.0	57.5	57.0	56.5	56.0	56.0	55.5
241	25	49.0	48.5	47.0	46.0	44.5	44.0	43.0	42.0	41.0	40.5	40.0	39.0	38.5	38.0	37.5	37.0	37.0	36.0	36.0	35.5	35.5
242	50	51.0	50.5	50.5	49.0	48.5	47.5	47.0	46.0	45.5	45.0	44.0	43.5	43.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.0	40.0	39.0	39.0
243	100	52.0	50.0	48.0	46.0	45.0	44.0	43.0	42.0	41.5	41.0	40.5	40.0	39.5	39.0	39.0	38.5	38.0	38.0	38.0	37.5	37.0
244	200	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.5	45.5	45.0	44.0	44.0	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0	39.5	39.0
245	25	50.0	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.0	47.0	47.0	46.0	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0
246	50	51.5	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	44.0	43.5
247	100	52.0	51.5	51.5	51.0	50.5	50.5	50.0	49.5	49.0	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0	45.0
248	200	52.0	52.0	51.5	51.0	51.0	50.5	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	47.0	47.0	47.0	46.5	46.0	46.0	45.5	45.0
249	25	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	40.5
250	50	55.0	54.5	54.0	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	50.5	50.0	50.0	48.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	46.0	45.0
251	100	55.0	55.0	54.0	54.0	53.0	53.0	52.0	52.0	51.0	51.0	50.5	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	48.0	47.0	47.0	46.0	46.0
252	200	55.0	55.0	54.5	54.0	53.5	53.0	52.5	52.0	51.5	51.0	51.0	50.0	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	47.0	46.5
253	25	51.0	50.0	50.0	49.0	48.5	48.0	47.0	46.0	45.5	45.0	44.0	43.5	42.5	42.0	42.0	41.0	41.0	40.0	40.0	40.0	39.0
254	50	50.0	49.5	49.0	49.0	48.0	47.5	47.0	46.0	45.5	45.0	44.0	44.0	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.0	40.0	40.0
255	100	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	43.0	43.0	42.0	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5
256	200	48.5	48.0	48.0	47.5	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0	40.5	40.0	40.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

รูปแสดงการอ่านปริมาตรตะกอน ณ เวลาต่างๆ ตามวิธีดำเนินงานวิจัยบทที่ 3 ข้อ 3.3.3 และ 3.3.4



รูปที่ ข-1. การอ่านปริมาตรตะกอน ณ เวลาต่างๆ ตามวิธีดำเนินงานวิจัยบทที่ 3 ข้อ 3.3.3 และ 3.3.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกุลลดา บรรลือวงศ์ เกิดวันที่ 8 กันยายน พ.ศ.2521 ที่อำเภอเมือง จังหวัด
ลำพูน สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย